

INFORME

v. 29 - n. 246 - set./out. 2008 ISSN 0100-3364

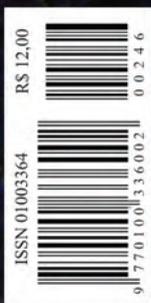
AGROPECUÁRIO



EPAMIG

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Efeito das mudanças climáticas na agricultura



INFORME AGROPECUARIO



Tecnologias para o agronegócio



Assinatura e vendas avulsas
publicacao@epamig.br
(31) 3489-5002



EPAMIG

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento



**GOVERNO
DE MINAS**

Informe Agropecuário

Uma publicação da EPAMIG
v.29 n.246 set./out. 2008
Belo Horizonte-MG



Apresentação

A comunidade científica vem, há muito tempo, pesquisando as várias fases do ciclo global do carbono. É provável que o aumento da temperatura média global seja causado pelos gases de efeito estufa provocados por atividades humanas. A hipótese do aquecimento global antropogênico carece de pesquisa científica, pois há muitas controvérsias sobre o assunto.

O aquecimento global é um fato comprovado pela ciência, mas as análises de suas consequências atuais e futuras na agricultura dividem os cientistas. A possibilidade de grande seca, das chuvas intensas e outros fenômenos adversos ocorrer com mais frequência são motivos de estudos e polêmicas. Em todas as regiões do mundo, existem grandes preocupações quanto aos impactos das mudanças climáticas na agricultura, os quais estão diretamente relacionados com a segurança alimentar.

A necessidade de mapear, simular, viabilizar e otimizar sistemas de produção agrícola faz dos modelos agrometeorológicos uma ferramenta importante na tomada de decisões, como instrumentos para dimensionar a cadeia produtiva, no espaço e no tempo. A visualização dos fenômenos climáticos, por meio da espacialização dos dados, facilita a interpretação, o entendimento e a percepção desses fenômenos em escala local, contribuindo para o planejamento agrícola diante das adversidades climáticas e da sustentabilidade de vida no Planeta.

Esta edição da revista Informe Agropecuário analisa a polêmica das mudanças climáticas globais e seus impactos na agricultura mineira, vindo ao encontro das necessidades prementes de perspectivas futuras em termos de pesquisa e desenvolvimento relacionados com a política pública.

Wilson Jesus da Silva
Jeferson Antonio de Souza

Sumário

Editorial	3
Entrevista	4
Considerações sobre o aquecimento global antropogênico <i>Luiz Carlos Baldicero Molion</i>	7
Variabilidades climáticas e seus impactos na agricultura de Minas Gerais <i>Rubens Leite Vianello, Gilberto Chohaku Sedyama, Anete dos Santos Fernandes e Lizandro Gemiacki</i>	19
Sistemas e modelos em agrometeorologia: estado atual e desafios para o futuro <i>Luiz Cláudio Costa e Marcelo Cid de Amorim</i>	38
Zoneamento agrícola de riscos climáticos do Brasil: base teórica, pesquisa e desenvolvimento <i>Eduardo Delgado Assad, Fabio Ricardo Marin, Hilton Silveira Pinto e Jurandir Zullo Júnior</i>	47
Geotecnologias aplicadas à agrometeorologia <i>Margarete Marin Lordelo Volpato, Helena Maria Ramos Alves e Tatiana Grossi Chquiloff Vieira</i>	61
Agrometeorologia e otimização do uso da água na irrigação <i>Reinaldo Lúcio Gomide e Paulo Emílio Pereira de Albuquerque</i>	72
Escassez e qualidade da água no século 21 <i>André Luís Teixeira Fernandes, Márcio Augusto de Souza Nogueira e Paulo Veloso Rabelo</i>	86
Bioenergia e fontes de energias alternativas <i>Wilson Jesus da Silva</i>	102

ISSN 0100-3364

Informe Agropecuário	Belo Horizonte	v.29	n.246	p. 1-112	set./out.	2008
----------------------	----------------	------	-------	----------	-----------	------

© 1977 EPAMIG

ISSN 0100-3364

INPI: 006505007

CONSELHO DE DIFUSÃO DE TECNOLOGIA E PUBLICAÇÕES

Baldonado Arthur Napoleão

Luiz Carlos Gomes Guerra

Enilson Abrahão

Maria Lélia Rodriguez Simão

José Roberto Enoque

Juliana Carvalho Simões

Mairon Martins Mesquita

Vânia Lacerda

COMITÊ EDITORIAL DA REVISTA INFORME AGROPECUÁRIO

Mairon Martins Mesquita

Departamento de Transferência e Difusão de Tecnologia

Vânia Lacerda

Divisão de Publicações

Maria Lélia Rodriguez Simão

Departamento de Pesquisa

Antônio de Pádua Alvarenga

Programa Silvicultura e Meio Ambiente

Antônio Álvaro Corsetti Purcino

Embrapa

Trazilbo José de Paula Júnior

Editor-técnico

PRODUÇÃO

**DEPARTAMENTO DE TRANSFERÊNCIA E DIFUSÃO DE
TECNOLOGIA**

DIVISÃO DE PUBLICAÇÕES

EDITOR-EXECUTIVO

Vânia Lacerda

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Wilson Jesus da Silva e Jeferson Antonio de Souza

REVISÃO LINGÜÍSTICA E GRÁFICA

Marlene A. Ribeiro Gomide e Rosely A. R. Battista Pereira

NORMALIZAÇÃO

Fátima Rocha Gomes e Maria Lúcia de Melo Silveira

PRODUÇÃO E ARTE

Diagramação/formatação: *Maria Alice Vieira, Fabriciano Chaves
Amaral e Letícia Martinez*

Capa: *Letícia Martinez*

Foto da capa: *Eduardo Hanazaki*

Impressão: *Lastro Editora*

PUBLICIDADE

Décio Corrêa

Av. José Cândido da Silveira, 1.647 - Cidade Nova

CEP 31170-000 Belo Horizonte-MG

Telefone: (31) 3489-5088

deciocorrea@epamig.br

Informe Agropecuário é uma publicação da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais EPAMIG

É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização escrita do editor. Todos os direitos são reservados à EPAMIG.

Os artigos assinados por pesquisadores não pertencentes ao quadro da EPAMIG são de inteira responsabilidade de seus autores.

Os nomes comerciais apresentados nesta revista são citados apenas para conveniência do leitor, não havendo preferências, por parte da EPAMIG, por este ou aquele produto comercial. A citação de termos técnicos seguiu a nomenclatura proposta pelos autores de cada artigo.

O prazo para divulgação de errata expira seis meses após a data de publicação da edição.

Assinatura anual: **6 exemplares**

Aquisição de exemplares

Departamento de Negócios Tecnológicos

Divisão de Produção e Comercialização

Av. José Cândido da Silveira, 1.647 - Cidade Nova

CEP 31170-000 Belo Horizonte - MG

Telefax: (31) 3489-5002

E-mail: publicacao@epamig.br - Site: www.epamig.br

CNPJ (MF) 17.138.140/0001-23 - Insc. Est.: 062.150146.0047

Informe Agropecuário. - v.3, n.25 - (jan. 1977) - . - Belo Horizonte: EPAMIG, 1977 - .
v.: il.

Cont. de Informe Agropecuário: conjuntura e estatística. - v.1, n.1 - (abr.1975).

ISSN 0100-3364

1. Agropecuária - Periódico. 2. Agropecuária - Aspecto Econômico. I. EPAMIG.

CDD 630.5

O Informe Agropecuário é indexado na
AGROBASE, CAB INTERNATIONAL e AGRIS

Governo do Estado de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura,
Pecuária e Abastecimento
Sistema Estadual de Pesquisa Agropecuária
EPAMIG, UFLA, UFMG, UFV

Governo do Estado de Minas Gerais

Aécio Neves

Governador

Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Gilman Viana Rodrigues

Secretário



EPAMIG

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

Conselho de Administração

Gilman Viana Rodrigues
Baldonado Arthur Napoleão
Silvio Crestana
Adauto Ferreira Barcelos
Osmar Aleixo Rodrigues Filho
Décio Bruxel
Sandra Gesteira Coelho
Elijás Nunes de Alcântara
Vicente José Gamarano
João Campos Júnior
Helton Mattana Saturnino

Conselho Fiscal

Carmo Robilota Zeitune
Heli de Oliveira Penido
José Clementino dos Santos
Evandro de Oliveira Neiva
Márcia Dias da Cruz
Celso Costa Moreira

Presidência

Baldonado Arthur Napoleão

Diretoria de Operações Técnicas

Enilson Abrahão

Diretoria de Administração e Finanças

Luiz Carlos Gomes Guerra

Gabinete da Presidência

Jairo Pereira da Silva Júnior

Assessoria de Comunicação

Roseney Maria de Oliveira

Assessoria de Desenvolvimento Organizacional

Jairo Pereira da Silva Júnior

Assessoria de Informática

Renato Damasceno Netto

Assessoria Jurídica

Nuno Miguel Branco de Sá Viana Rebelo

Assessoria de Planejamento e Coordenação

Bethânia Elisa Amaral Rocha

Assessoria de Relações Institucionais

Júlia Salles Tavares Mendes

Assessoria de Unidades do Interior

Álvaro Sevarolli Capute

Auditoria Interna

Carlos Roberto Dítadi

Departamento de Transferência e Difusão de Tecnologia

Mairon Martins Mesquita

Departamento de Pesquisa

Maria Lélia Rodrigues Simão

Departamento de Negócios Tecnológicos

José Roberto Enoque

Departamento de Estudos Econômicos e Prospecção

Juliana Carvalho Simões

Departamento de Recursos Humanos

Flávio Luiz Magela Peixoto

Departamento de Patrimônio e Administração Geral

Mary Aparecida Dias

Departamento de Obras e Transportes

Luiz Fernando Drummond Alves

Departamento de Contabilidade e Finanças

Celina Maria dos Santos

Instituto de Laticínios Cândido Tostes

Gérson Occhi e Nelson Luiz Tenchini de Macedo

Instituto Técnico de Agropecuária e Cooperativismo

Marcílio Valadares

Centro Tecnológico do Sul de Minas

Edson Marques da Silva

Centro Tecnológico do Norte de Minas

Marco Antonio Viana Leite

Centro Tecnológico da Zona da Mata

Plínio César Soares

Centro Tecnológico do Centro-Oeste

Cláudio Egon Facion

Centro Tecnológico do Triângulo e Alto Paranaíba

Roberto Kazuhiko Zito

Efeito das mudanças climáticas na agricultura

A relação entre o clima e a produção agrícola no Brasil tem sido alvo de pesquisa há muito tempo. Um conjunto de ferramentas vem sendo utilizado para apoiar o governo brasileiro no planejamento e controle por parte do Estado, racionalizando o uso dos recursos públicos e estimulando a aplicação adequada da tecnologia para a redução dos riscos de perdas e elevação da produtividade. Neste contexto, a preocupação mundial com as mudanças climáticas e suas conseqüências ganha importância estratégica e pode significar a superação de problemas ou a melhor adaptação dos países diante de novos cenários.

O agronegócio brasileiro é um dos pilares da economia nacional, sendo responsável por 42% das exportações totais e 37% dos empregos no País. O Brasil tem clima diversificado, com chuvas regulares, energia solar abundante e quase 13% de toda a água doce disponível no Planeta. Nesse ambiente, tem-se um País de vocação natural para a agropecuária. Pesquisas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Usda) indicam que o Brasil poderá aumentar sua área de cultivo, nos próximos 50 anos, em nada menos que 170 milhões de hectares, ou seja, praticamente o mesmo espaço ocupado, atualmente, pelas plantações norte-americanas.

Diante disso, a questão dos riscos climáticos merece atenção especial, pois a despeito do bom nível tecnológico, da grande capacidade de produção de alimentos e da importância do setor agrícola para a economia brasileira, dentre as atividades econômicas modernas, a agropecuária é a que está sujeita aos maiores riscos de perdas e oscilações nos volumes produzidos, com impactos negativos para toda a sociedade. A possibilidade de escassez de alimentos, como consequência dos impactos das mudanças climáticas, gera grande preocupação em todo mundo.

Com o objetivo de orientar todos os envolvidos com a produção agrícola de Minas Gerais e do Brasil, esta edição do Informe Agropecuário traz informações e avaliações sobre o efeito das mudanças climáticas na agricultura e estratégias de adaptação para minimização dessas conseqüências.

Baldonado Arthur Napoleão

Presidente da EPAMIG

Pesquisa agropecuária é fundamental para adaptação às mudanças climáticas



Milton Nogueira da Silva é formado em Engenharia Metalúrgica, pela Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop). Possui especialização em Métodos de Desenvolvimento Econômico, pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG). É autor de diversos trabalhos publicados na área de Desenvolvimento Econômico.

Foi funcionário da Organização das Nações Unidas (ONU), em Viena, Áustria, por 17 anos, quando exerceu o cargo de gerente de projetos de Desenvolvimento de Energias Renováveis. Atualmente, é secretário-executivo do Fórum Mineiro de Mudanças Climáticas Globais, do governo do Estado de Minas Gerais.

IA - Qual a sua opinião sobre o cenário catastrófico que se apresenta à sociedade, em relação às conseqüências do efeito estufa no Planeta? Essas conseqüências seriam antropogênicas ou naturais?

Milton Nogueira - As conseqüências são ambas. As naturais são conhecidas da geologia, da meteorologia há décadas. Porém, de uns 20 anos para cá, os cientistas têm observado que a exacerbação de certos fenômenos da natureza, como dos oceanos, das chuvas e das secas, foge do padrão observado no passado. Portanto, têm uma causa antropogênica, provocada pelo ser humano. E quais são essas causas: o uso excessivo de combustíveis fósseis, carvão mineral, petróleo e, mais recentemente, o gás natural. A diferença entre o antropogênico e o natural é que o antropogênico é causado pelo homem. Vale ressaltar que o homem, de dois séculos para cá, sabia que estava usando um combustível que não é parte do regime normal da atmosfera e nem dos oceanos. Mas, mesmo assim, continuou usando.

Quanto às notícias de catastrofismo, o que se tem apresentado é que a

atividade científica mostra certos fenômenos que estão fugindo do normal. Por exemplo, excesso de chuvas numa região, onde essa incidência não é tão grande. Diante desse excesso de chuva o cientista alerta a sociedade, toma nota e registra tudo. Esse é o seu trabalho. Se ele é catastrófico ou não, depende de populações ribeirinhas, que são as primeiras a ser atingidas por enchente. Depende do uso do solo na região. Se há um excesso de chuva numa região, onde há pouca população, praticamente não haverá catastrofismo. Depende da densidade populacional na região e do outro uso que se pode fazer daquela água. O conceito do catastrofismo depende do uso agrícola ou humano, da proximidade ou não de cidades. Os cientistas estão medindo aquilo que está fugindo do normal.

IA - Que medidas poderiam ser adotadas, para reduzir os efeitos desse aquecimento e os impactos no Planeta?

Milton Nogueira - Há uma enorme quantidade de medidas. A maioria delas tem por finalidade evitar o impacto, que na linguagem da ONU chama-se

adaptação. Exemplo: se os oceanos se elevarem é preciso adaptar as populações que moram próximas à praia. Se uma determinada região vai sofrer mais intensamente uma onda de calor, precisamos adaptar a população, sobretudo aquela mais vulnerável, como diabéticos, idosos, crianças, e aquelas com saúde debilitada. Adaptação é até um termo muito geral. Pode ser adaptação aos transportes, à escassez ou excesso de chuvas. Esse é o conceito de orientação da ONU, para a formação de políticas públicas. Os governos têm de estar preparados para formular políticas públicas que se adaptem às mudanças do clima. Parece óbvio, mas a maioria não está preparada para fazer políticas públicas de economia, de despesa, de diminuição de orçamento, de redução do papel do Estado. As mudanças climáticas vão requerer o contrário, pois vão aumentar o papel do Estado nas questões coletivas. A adaptação dos governos será motivo de fracasso ou de êxito no enfrentamento dessas mudanças.

IA - Os impactos das mudanças climáticas na agricultura estão diretamente relacionados com a segurança

alimentar em um mundo que apresenta um crescente aumento da população. O aquecimento global poderá provocar seca em grande parte do Brasil, colocando em risco sua segurança alimentar?

Milton Nogueira - Pode. No caso do Brasil, como também de muitos outros países tropicais, isso pode ocorrer. Lembrando que a segurança alimentar não depende só do suprimento de alimento, não depende só da produção. Depende também da distribuição, que cada vez mais, em todo o mundo, é feita por intermediários, atravessadores.

As projeções do Painel Científico da ONU sobre mudanças climáticas indicam que haverá uma aceleração dos fenômenos em quatro regiões da América do Sul, independente de qual seja o país. São as regiões Amazônica, dos Andes, o Cone Sul (do Paraná para baixo, inclusive a Argentina) e o Nordeste brasileiro. Cada uma dessas regiões sofrerá, de maneira diferente, as mudanças climáticas, que afetarão os regimes de produção de alimentos. Sobretudo haverá necessidade de descobrir variedades de plantas mais resistentes. Cito como exemplo uma variedade de arroz resistente a mudanças no regime das águas. E a pesquisa científica é que vai ter que resolver estas questões, conforme recomendação da Conferência de Bali. Sem a pesquisa não haverá como fazer política pública.

IA - *O que pode ser melhorado na agropecuária para minimização de impactos que possam contribuir para o efeito estufa? E como a pesquisa pode atuar nesta questão?*

Milton Nogueira - A agropecuária é uma grande emissora de gás carbônico no mundo inteiro. Primeiro, a fermentação entérica do gado produz metano, que é um gás muito impactante no aquecimento da atmosfera. A neutralização desse gás é que per-

mite obter o crédito de carbono. Mas a questão difícil é como mudar a dieta do gado para emitir menos gás metano. Para isso, há toda uma linha de pesquisa que deverá levar tempo para resolver esta questão mundialmente. E isto se liga diretamente aquele outro problema que preocupa todo mundo, ou seja, a escassez de alimentos. Esta é uma difícilíssima questão de política de alimentos para o mundo.

Outra área, muito interessante da agropecuária, é a da aração, que revolve o solo, e que também é grande emissora de metano e de gás carbônico. Nesse caso, a tecnologia agropecuária tem de evoluir para métodos que evitem a aração, o revolvimento da terra. Essa é uma tecnologia já conhecida, mas muito difícil de ser transferida para o meio rural.

Outra contribuição importante é a produção de árvores de rápido crescimento. Neste tipo de cultivo, as árvores, durante o crescimento, realizam dois importantes trabalhos: capturam mais rapidamente o gás carbônico que está na atmosfera e, ao mesmo tempo, fornecem madeira como energético renovável, um combustível sólido, que pode substituir o carvão mineral naquelas usinas termelétricas que usam essa matéria-prima. A terceira área de contribuição é muito interessante e vem sendo pesquisada tanto na Universidade Federal de Lavras (Ufla) quanto na Universidade Federal de Viçosa (UFV). Trata-se da adaptação de espécies às mudanças de temperatura, aos regimes de chuvas e aos veranicos. Pesquisas nessa área precisam ser aceleradas.

Existe um vasto leque de possibilidades de pesquisa na área agropecuária em relação ao clima. E está nas mãos da pesquisa a solução de grande parte dos problemas que podem surgir com o aquecimento global.

IA - *Existem, atualmente, fatos que podem ser considerados como indícios do aquecimento global no Brasil?*

Milton Nogueira - Existem vários. O Brasil é um País continental e já há vários indícios. Na Amazônia, no Cerrado e na região Semi-Árida há mudanças no regime de chuvas e na precipitação, em várias regiões do País. Sempre é bom lembrar que esses fenômenos atmosféricos têm causa natural e antropogênica.

Os ciclones que vêm surgindo no sul do País, também são indícios dos efeitos do aquecimento.

IA - *O que o Brasil tem feito para reduzir as emissões de carbono e quais medidas mitigadoras tem sido tomadas?*

Milton Nogueira - O Brasil, em termos de volume de emissões de carbono, tem acelerado o uso de energias renováveis, de hidroeletricidade, de etanol (iniciado há mais de 30 anos), mais recentemente de biodiesel, de atividades econômicas e humanas. Mas o País tem encontrado dificuldade em diminuir as emissões do principal agente poluente que são as queimadas no Cerrado e na Amazônia. Ainda não se conseguiu encontrar uma fórmula efetiva para redução dessas emissões.

A queima da cana, tão comentada, não aumenta a emissão de gases do efeito estufa, porque essa cultura, ao crescer, absorve a mesma quantidade de gás carbônico que foi desprendida durante sua queimada. O que a cana provoca é uma quantidade de fuligem no ar, que se subirá até a estratosfera e pode provocar um resfriamento. É bom ressaltar que a queima da cana é prejudicial do ponto de vista ecológico, porque destrói insetos e todo o ciclo de vida do solo. Mas, do ponto de vista de gás carbônico, é zero.

A destruição do Cerrado, ao contrário, é extremamente danosa. Ao se cortar uma árvore do Cerrado, que estava estocando carbono, e queimar ou fazer carvão vegetal vai-se colocar na atmosfera esse carbono. A queima de Cerra-

do, assim como a de qualquer cobertura vegetal, da Amazônia, por exemplo, joga na atmosfera gás carbônico. No caso do Brasil, isto representa 3/4 das emissões nacionais. Um quarto é feito pela população brasileira, por meio dos automóveis, caminhões e fábricas e o restante são as queimadas no Cerrado e na Amazônia. Daí a necessidade de transformar isso em política pública prioritária. O governo vem tentando controlar os agentes agropecuários que promovem o corte da Floresta Amazônica ou do Cerrado. E esses agentes são aqueles que plantam soja, cana e capim para o gado e, no caso de Minas Gerais, especificamente, aqueles que produzem carvão vegetal, a partir de floresta nativa.

IA - *O que são commodities ambientais e no que podem contribuir para a preservação do meio ambiente e para o combate ao efeito estufa? E qual a diferença entre commodities ambientais e agrícolas?*

Milton Nogueira - Essa diferença é apenas de ordem convencional. Convencionou-se que *commodity* ambiental é apenas aquele método e produto que, no seu ciclo de produção, protegeram a natureza em algum dos pontos, ou seja, no plantio, na irrigação, no transporte ou no processamento. Trata-se de um conceito recente que tem a mesma aplicação, não havendo, portanto, grande distinção. É usado assim, para dizer que esse tal produto consegue em todo o ciclo de produção ou no ciclo de uso e de disposição do produto fazer algum benefício para a natureza. No caso da mudança do clima, é aquele cujo ciclo de produção emite menos gás carbônico. O plantio do eucalipto gera as duas *commodities*.

A medida dessa contribuição é o volume de gás carbônico que essa cultura ou atividade consegue diminuir no seu ciclo de produção em comparação ao método comum. Se conseguirmos plantar, por exemplo, soja para produ-

zir biodiesel, usar menos fertilizante, que por sua vez emite gás carbônico, transportar esta soja a distâncias mais curtas e usá-la em região mais próxima do centro de produção estaremos contribuindo para a preservação do meio ambiente. Esse conjunto de atitudes diminui a emissão de gás carbônico. Trata-se de uma análise econômica e ao mesmo tempo de balanço de massa nesse ciclo de produção. A isso podemos chamar convencionalmente de *commodity* ambiental.

IA - *O que são créditos de carbono? Como consegui-los? Quem será beneficiado? E como o Brasil poderia beneficiar-se com os créditos de carbono?*

Milton Nogueira - O crédito de carbono é uma contabilidade seguida de um contrato. A contabilidade é a seguinte: se uma empresa, da Bélgica, por exemplo, tem a obrigação de diminuir as suas emissões de gás carbônico, mas não consegue, suponhamos que sua obrigação é diminuir 100 t por ano e só consegue 90, essa empresa passa a ter um débito de carbono. O que a ONU lhe permite fazer é o seguinte: aquele débito que a empresa tem pode ser compensado ao comprar esse débito em um outro lugar de um outro país não industrializado. O que essa empresa não conseguiu fazer na Bélgica, pode fazer no Brasil ou na Costa Rica, tratando o lixo da cidade, por exemplo. Dessa forma, irão diminuir as emissões de gás carbônico para a atmosfera. Como esta circula em todo o Planeta, tanto faz se aquelas toneladas que deixaram de ser diminuídas na Bélgica sejam compensadas na Costa Rica. Por isso é que se permite, eticamente, que se faça essa compensação. E nesse caso há um contrato entre a empresa da Bélgica e uma empresa da Costa Rica.

Os beneficiários pelo crédito de carbono são todos os países em desen-

volvimento. No caso do Brasil, já se mostrou, nos últimos anos, que os beneficiários são prefeituras que organizam seu aterro sanitário para capturar o gás metano, que emana desses resíduos, e neutralizá-lo, assim obtém-se crédito de carbono. As suinoculturas que têm o mesmo procedimento com os dejetos que iriam transformar-se no processo natural em metano e cuja neutralização também garante crédito de carbono. Outro beneficiado são aquelas empresas que usam combustível fóssil e que promovem a racionalização industrial. Se usou óleo combustível, gás natural, diesel ou carvão mineral para queimar alguma coisa e substituiu esses materiais por combustíveis renováveis ou diminuiu seu uso, também há geração de crédito de carbono.

IA - *Qual a sua expectativa com relação ao Programa Biodiesel e à redução da geração destes gases nocivos ao ambiente?*

Milton Nogueira - A expectativa é a melhor possível. O biodiesel é um combustível renovável que tem uma emissão muito pequena de gás carbônico. Ele substitui diretamente o óleo diesel e outros energéticos líquidos industriais, como, por exemplo, aquele usado nas caldeiras. No caso brasileiro, o biodiesel aparentemente não compete com a produção de alimentos, o que depende de política pública que faça no zoneamento ecológico-econômico a designação de terras para cada uma das finalidades. Em muitos outros países isso não será possível, devido à escassez de terras em relação à população ou àqueles que não têm solos apropriados para cultivo de plantas, que sirvam de matéria-prima para a produção de biodiesel. Na maioria dos países tropicais, o biodiesel é uma ótima solução. Na Europa, o biocombustível já é usado há mais de dez anos.

■ Por Vânia Lacerda

Considerações sobre o aquecimento global antropogênico

Luiz Carlos Baldicero Molion¹

Resumo - O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) relata ser muito provável que o incremento da temperatura média global seja decorrente do aumento dos gases de efeito estufa pelas atividades humanas, que supostamente elevaram a concentração de CO₂ a 379 ppmv, em 2005, ultrapassando seu limite natural, que seria de 300 ppmv. E, ainda, é muito provável que o aumento médio de temperatura, para a concentração de CO₂ dobrada, estaria entre 2°C e 4,5°C e que uma das conseqüências seria o aumento do nível do mar de até 0,6 m. A hipótese do aquecimento global antropogênico, demonstrando que tal fato carece de bases científicas sólidas, e que as projeções catastróficas elaboradas pelo IPCC foram com base em resultados de modelos de clima global (MCG), cujas equações matemáticas não representam adequadamente os processos físicos que ocorrem na atmosfera, particularmente a cobertura de nuvens e o ciclo hidrológico. Ou seja, as projeções futuras dos MCG, resultantes de cenários hipotéticos, são meros exercícios acadêmicos, não confiáveis e, portanto, não utilizáveis para o planejamento das atividades humanas e o bem-estar social. Argumenta-se que a influência humana no clima global, se existir, seja muito pequena e impossível de ser detectada em face da grande variabilidade natural do clima. Considerando o passado recente, é muito provável que ocorra um resfriamento global nos próximos 20 anos, ao invés de um aquecimento.

Palavras-chave: Condição ambiental. Flutuação climática. Efeito estufa. Modelo climático.

INTRODUÇÃO

Existem evidências de que o clima, entre cerca de 800 e 1.200 d.C., era mais quente do que o de hoje. Naquela época, os nórdicos (vikings) colonizaram as regiões do Norte do Canadá e uma ilha chamada Groelândia (Terra Verde) e que hoje é coberta de gelo. Entre 1350 e 1850, o clima esfriou-se, chegando a temperaturas de até 2°C inferiores às de hoje, particularmente na Europa Ocidental. Esse período foi descrito na literatura como “Pequena Era Glacial”. Após 1850, o clima começou a aquecer lentamente e as temperaturas elevaram-se. Portanto, não há dúvidas

que ocorreu um aquecimento global nos últimos 150 anos. A questão que se coloca é: se o aquecimento observado é natural ou antropogênico?

A fonte primária de energia para o planeta Terra é o Sol, que emite radiação eletromagnética (energia), denominada radiação de ondas curtas (ROC). O albedo planetário - porcentual de ROC incidente na Terra que é refletido de volta para o espaço exterior, atualmente cerca de 30% - é resultante da variação da cobertura e do tipo de nuvens, da concentração de aerossóis e partículas em suspensão no ar, e das características da cobertura da superfície, tais como gelo/neve (90% de

reflexão), florestas (12%) e oceanos/lagos (10%). Portanto, o albedo planetário controla o fluxo de ROC que entra no sistema terra-atmosfera-oceanos: menor albedo, maior entrada de ROC e concomitante aquecimento do sistema terra-atmosfera, e vice-versa. O restante do fluxo de ROC passa através da atmosfera terrestre e boa parte dele é absorvida pela superfície, que se aquece e emite radiação numa faixa espectral denominada radiação de ondas longas (ROL). O fluxo de ROL, emitido pela superfície, é absorvido por gases, pequenos constituintes, como o vapor d'água (H₂O), o gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄), o ozônio (O₃), o óxido nitroso (N₂O) e os

¹Físico, Pós-Doc, Prof. Associado UFAL, Cidade Universitária, CEP 57072-970 Maceió-AL. Correio eletrônico: molion@radar.ufal.br

compostos de clorofluorcarbono (CFC), conhecidos por *freons*. Esses, por sua vez, emitem ROL em todas as direções, inclusive em direção à superfície e ao espaço exterior. A absorção/emissão desses gases pelas várias camadas atmosféricas reduz a perda de ROL, emitida pela superfície, que escaparia para o espaço exterior, e constitui o chamado efeito estufa. O vapor d'água é o principal gás de efeito estufa (GEE) e sua concentração é extremamente variável no espaço e no tempo. Por exemplo, sobre a Floresta Amazônica existem cinco vezes mais vapor d'água que sobre o Deserto do Saara e sobre a Amazônia, ainda, sua concentração varia de 30% entre a estação seca e a chuvosa. Em regiões polares, e em regiões tropicais a uma altura acima de 4 km, existe muito pouco vapor d'água e o efeito estufa é fraco. O gás carbônico (CO_2) é o segundo GEE em importância, com concentração até 100 vezes inferior à do vapor d'água. É o gás que tem causado grande polêmica, pois sua concentração, embora baixa, aumentou de 315 ppmv (1ppmv = 1 parte por milhão por volume, ou seja, 1 mL de gás/m³ de ar), em 1958, para 379 ppmv, em 2005, crescendo à taxa média de 0,4% ao ano. Esse crescimento está sendo atribuído às emissões decorrentes das atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e florestas tropicais. O metano (CH_4), com concentrações muito pequenas, na ordem de 1,7 ppmv, também vinha mostrando um significativo aumento de 1,0% ao ano, atribuído às atividades agropecuárias. Mas, a partir de 1998, a taxa de crescimento anual de sua concentração passou a diminuir ou se estabilizou, inexplicavelmente, embora as fontes antrópicas continuem aumentando. Os gases restantes apresentam concentrações ainda menores que as citadas, porém parecem estar aumentando também. O efeito estufa faz com que a temperatura média global do ar, próxima à superfície da Terra, seja cerca de 15°C. Caso este efeito não existisse, a temperatura da superfície seria 18°C abaixo de zero, ou seja, o efeito estufa é responsável por um aumento de 33°C na temperatura da superfície do planeta. Logo,

é benéfico para o planeta, pois gera condições que permitem a existência da vida. Em resumo, a estabilidade do clima da Terra resulta do balanço entre o fluxo de ROC absorvido pelo planeta e o fluxo de ROL emitido para o espaço ($\text{ROC} = \text{ROL}$). O aquecimento do clima global ocorreria, por exemplo, ou pela redução de albedo planetário, que aumentaria a ROC absorvida, ou pela intensificação do efeito estufa, que reduziria a perda de ROL para o espaço exterior. A hipótese do efeito estufa intensificado é, portanto, fisicamente simples: mantidos a produção de energia solar e o albedo planetário constantes, quanto maior forem as concentrações dos GEEs, menor seria a fração de radiação de ondas longas, emitidas pela superfície, que escaparia para o espaço (redução do fluxo de ROL) e, conseqüentemente, mais alta a temperatura do planeta.

É dito que a concentração de CO_2 passou de 280 ppmv, na era pré-industrial para os atuais 380 ppmv, um aparente aumento de 35% da concentração desse gás nos últimos 150 anos. Utilizando tais concentrações nas simulações feitas por modelos de clima global (MCG), o incremento na temperatura média global resultante já seria de 0,5°C e 2,7°C, conforme o modelo utilizado. Entretanto, de acordo com o Sumário para Formuladores de Políticas, extraído do Relatório da Quarta Avaliação do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007), o aumento observado está entre 0,4°C e 0,7°C, ou seja, está situado no limite inferior dos resultados produzidos pelos atuais MCG utilizados para testar a hipótese da intensificação do efeito estufa, evidenciando que esses tendam a superestimar a temperatura. Porém, se a concentração de CO_2 dobrar nos próximos 100 anos, de acordo com os mesmos MCG, poderá haver um aumento da temperatura média global entre 2°C e 4,5°C, não inferior a 1,5°C, conforme afirmado no IPCC (2007). Os efeitos desse aumento de temperatura seriam catastróficos. Segundo a mesma fonte, uma das conseqüências seria a expansão volumétrica da água dos oceanos que, associada ao degelo parcial

das geleiras e calotas polares, notadamente o Ártico, aumentaria os níveis dos mares entre 20 e 60 cm. Esse fato, dentre outros impactos sociais, forçaria a relocação dos 60% da humanidade que vive em regiões costeiras. Aumento na frequência de tempestades severas e na intensidade de furacões seria outra conseqüência.

AUMENTO DA TEMPERATURA GLOBAL

O Gráfico 1 mostra que desvios de temperatura do ar para o globo terrestre, com relação à média do período 1961-1990, aumentaram cerca de 0,7°C, desde o ano de 1880. Vê-se que, até aproximadamente 1920, houve apenas variabilidade interanual em princípio, não tendo ocorrido aumento expressivo de temperatura nesse período extenso, embora haja relatos de ondas de calor como, por exemplo, a de 1896 nos Estados Unidos, que deixou mais de 3 mil mortos somente em Nova Iorque. Porém, entre 1920 e 1946, o aumento global foi cerca de 0,4°C. No Ártico, em particular, onde há medições desde os anos de 1880, o aumento foi cerca de dez vezes maior nesse período. Na seqüência, entre 1947 e 1976, houve um resfriamento global de cerca de 0,2°C (reta inclinada), não explicado pelo IPCC e, a partir de 1977, a temperatura média global aumentou cerca de 0,4°C. O próprio IPCC (2007) concorda que o primeiro período de aquecimento, entre 1920 e 1946, pode ter tido causas naturais, possivelmente o aumento da produção de energia solar e a redução de albedo planetário. Antes do término da 2ª Guerra Mundial, as emissões decorrentes das ações antrópicas eram cerca de 6% das atuais e, portanto, torna-se difícil argumentar que os aumentos de temperatura, naquela época, tenham sido causados pela intensificação do efeito estufa pelas emissões antrópicas de carbono. A polêmica que essa série de anomalias tem causado reside no fato de o segundo aquecimento, a partir de 1977, não ter sido verificado, aparentemente, em todas as partes do globo. A série de temperatura média para os

Estados Unidos, por exemplo, não mostrou esse segundo aquecimento, sendo a década dos anos de 1930 mais quente que a dos anos de 1990. O Gráfico 2 mostra os desvios da temperatura média global, obtida com dados dos instrumentos *Microwave Scanning Unit* (MSU) a bordo de satélites, a partir de 1979. Note-se o pico de temperatura em 1998, cerca de 0,8°C, associado ao evento El Niño, considerado o mais forte do século passado. Desde 1998, as anomalias de temperaturas têm sido inferiores. É sabido que eventos como El Niños tendem a aquecer o planeta. Segundo Christy e Spencer (2003), da Universidade do Alabama, em Huntsville (UAH), os dados do MSU indicaram um pequeno aquecimento global de 0,076°C por década, enquanto os termômetros de superfície mostraram um aquecimento de 0,16°C por década, ou seja, duas vezes maior no mesmo período. Para o Hemisfério Sul, satélites mostraram um aquecimento menor, de 0,052°C por década. Em princípio, satélites são mais apropriados para medir temperatura global, pois fazem médias sobre grandes áreas, incluídos os oceanos, enquanto as estações climatométricas de superfície registram variações de seu microambiente, representando as condições atmosféricas num raio de cerca de 150 m em seu entorno. As estações climatométricas apresentam outro grande problema, além da não-padronização e mudança de instrumentação ao longo dos 150 anos passados. As séries mais longas disponíveis são de estações localizadas em cidades do Velho Mundo, que se desenvolveram muito, particularmente depois da 2ª Guerra Mundial. Em média, a energia disponível do Sol (calor) é utilizada para evapotranspiração (evaporação dos solos e superfícies de água + transpiração das plantas) e para o aquecimento do ar durante o dia. Sobre superfícies vegetadas, a maior parte do calor é usada para a evapotranspiração, que resfria a superfície, e o restante para aquecer o ar. Com a mudança da cobertura superficial, de campos com vegetação para asfalto e concreto, a evapotranspiração é reduzida e sobra mais calor para aquecer o ar próximo da

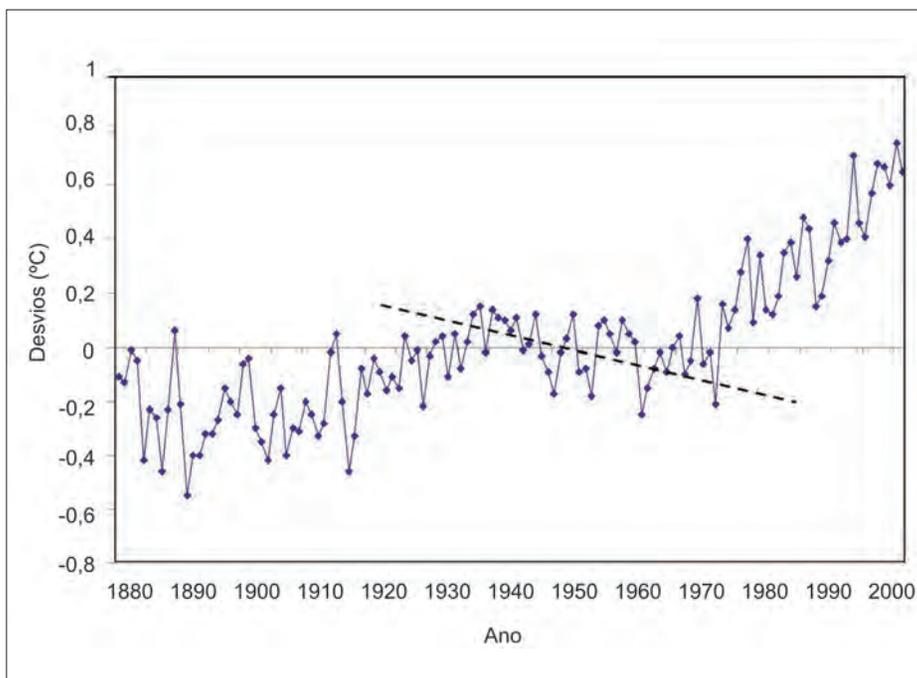


Gráfico 1 - Desvios da temperatura média global com relação à média do período 1961-1990

FONTE: Climate Research Unit (2008).

NOTA: A reta tracejada (inclinada) é a linha de tendência dos desvios na fase fria da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), no período 1947-1976.

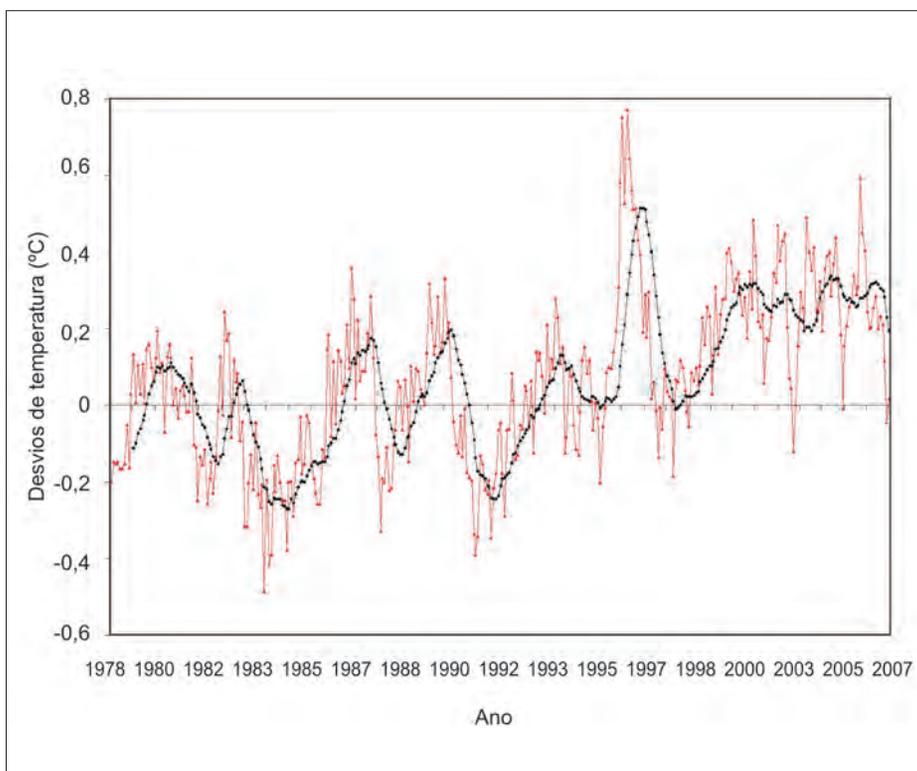


Gráfico 2 - Desvios de temperatura obtidos por satélites (MSU)

FONTE: National Space and Technology Center (2008).

NOTA: A linha suavizada é a média móvel de 11 meses.

MSU – Microwave Scanning Unit.

superfície, aumentando sua temperatura. Adicione-se, ainda, o calor liberado pelos veículos e pelos edifícios aquecidos, particularmente em regiões fora dos trópicos no inverno. Esse é o chamado efeito de ilha de calor, que faz as temperaturas do ar serem, em média, 3°C a 5°C maiores nos grandes centros urbanos, quando comparadas às de suas redondezas.

Analisando os dados de Beijing e Wuhan, China, Ren et al. (2007), por exemplo, encontraram aumentos anuais e sazonais nas temperaturas urbanas entre 65% e 80% e 40% e 61%, respectivamente, com relação às estações rurais de suas vizinhanças. No Gráfico 1, os dados foram ajustados para compensar o efeito da urbanização nas séries de temperatura, porém utilizaram-se métodos ou algoritmos matemáticos, de correção que não necessariamente sejam apropriados ou representem a realidade, já que esse procedimento é subjetivo e, portanto, questionável. Em outras palavras, é impossível retirar o efeito de ilha de calor das séries de temperaturas urbanas. Uma das possibilidades, pois, é que o aquecimento, a partir de 1977, que aparece nitidamente no Gráfico 1, seja, em parte, resultante da urbanização em torno das estações climatométricas, ou seja, uma contribuição local, e não global, ao aquecimento.

Outro aspecto a ser considerado é o número de estações climatométricas. No início da série representada no Gráfico 1, o número de estações era cerca de 200, praticamente todas no Hemisfério Norte. Na década de 1960, esse número superou a marca de 14 mil e, recentemente, menos de 2 mil estações são utilizadas para elaborar a média global da temperatura. A maior parte das estações desativadas estava em regiões de difícil acesso, como zonas rurais e em regiões frias, como a Sibéria, por exemplo, que não estão sujeitas ao efeito de ilha de calor. Finalmente, um aspecto muito importante é que as séries de 150 anos são curtas para capturar a variabilidade de prazo mais longo do clima.

O período do final do século 19 até as primeiras duas décadas do século 20 foi o final da Pequena Era Glacial, um período frio, bem documentado, que perdurou por cinco séculos. E esse período coincide com a época em que os termômetros começaram a ser instalados mundialmente. Portanto, o início das séries instrumentais de 150 anos, utilizadas no Relatório do IPCC (2007), ocorreu num período relativamente mais frio que o atual e leva, aparentemente, à conclusão errônea que as temperaturas atuais sejam muito altas ou anormais para o planeta. Concluiu-se que existem problemas de representatividade, tanto espacial como temporal, das séries de temperatura observadas na superfície da Terra, o que torna extremamente difícil seu tratamento e sua amalgamação em uma única série. E que estações climatométricas de superfície, portanto, são inadequadas para determinar a temperatura média global da atmosfera terrestre, se é que se pode falar, cientificamente, numa temperatura média global.

INTENSIFICAÇÃO DO EFEITO ESTUFA

No Sumário para Formuladores de Políticas do IPCC (2007), afirma-se que o gás carbônico é o principal gás antropogênico e que sua concentração de 379 ppmv, em 2005, foi a maior ocorrida nos últimos 650 mil anos, período em que ficou limitada entre 180 e 300 ppmv. O aumento de sua concentração nos últimos 150 anos foi atribuído às emissões por queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra. Hieb (2007), porém, não concorda com tal afirmação. Para ele, mais de 97% das emissões de gás carbônico são naturais, provenientes dos oceanos, vegetação e solos, cabendo ao homem menos de 3%, total que seria responsável por uma minúscula fração do efeito estufa atual, algo em torno de 0,12%.

Na realidade, o CO₂ não é antropogênico e nem o vilão causador da intensificação do efeito estufa. É um gás natural e, graças a ele, plantas fazem fotossíntese, produzindo açúcares, amidos e fibras que mantêm

vivos outros seres heterotróficos. Dessa forma, o CO₂ é um dos gases responsáveis pela vida na Terra.

Em seu Relatório, o IPCC (2007) utilizou as concentrações medidas em Mauna Loa, Havaí, cuja série foi iniciada por Charles D. Keeling, no Ano Geofísico Internacional (1957-1958). Essa série foi estendida para os últimos 420 mil anos, utilizando-se as estimativas de concentração de CO₂ obtidas das análises da composição química das bolhas de ar aprisionadas nos cilindros de gelo (*ice cores*), que foram retirados da capa de gelo na Estação de Vostok, Antártica, por perfuração profunda (até cerca de 3.600 m). O Gráfico 3, extraído de Petit et al. (1999), mostra a evolução temporal da temperatura e da concentração de CO₂, obtida com os cilindros de gelo de Vostok, e foi extensivamente explorada no Documentário “Uma Verdade Inconveniente”, protagonizado por Al Gore. A curva superior é a concentração de CO₂, que variou entre 180 e 300 ppmv (escala à esquerda), e, a inferior, é a dos desvios de temperatura do ar, entre -8°C e +6°C (escala à direita). Uma análise cuidadosa do Gráfico 3 mostra, claramente, que a curva de temperatura apresentou quatro picos, superiores à linha de zero (tracejada), que representa os interglaciais passados – períodos mais quentes, com duração de 10 mil a 12 mil anos, que separam as eras glaciais, que, por sua vez, duram cerca de 100 mil anos cada uma – a cerca de 130 mil, 240 mil, 320 mil e 410 mil anos antes do presente.

Portanto, as temperaturas dos interglaciais passados, provavelmente, foram superiores às do presente interglacial, enquanto as concentrações de CO₂ correspondentes foram inferiores a 300 ppmv. Lembrando que a concentração atual atingiu cerca de 380 ppmv, poder-se-ia concluir que as concentrações de CO₂ não foram responsáveis pelas temperaturas altas dos interglaciais passados. Entretanto, segundo o glaciologista Jaworowski (2007), nunca foi demonstrado que a metodologia dos cilindros de gelo tenha produzido resultados confiáveis e que ela sempre tendeu a

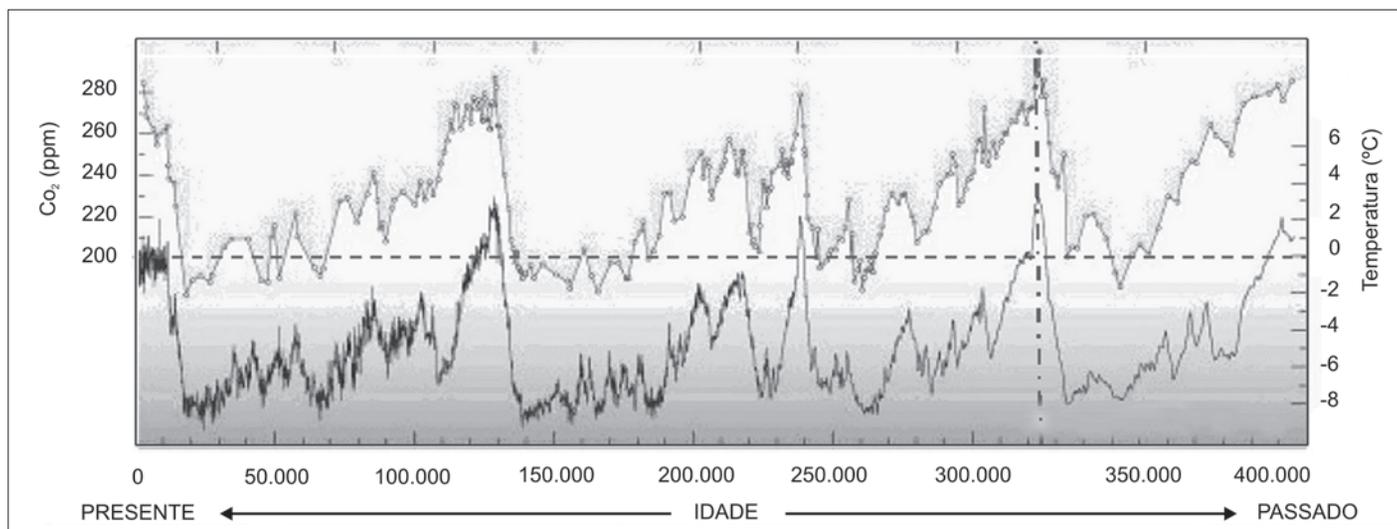


Gráfico 3 - Variação da concentração de CO₂ e dos desvios de temperatura (curva inferior) dos últimos 420 mil anos, obtidas dos cilindros de gelo da Estação de Vostok, Antártica

FONTE: Petit et al. (1999).

produzir concentrações de CO₂ de 30% a 50% abaixo das reais por vários motivos. Um deles é que a hipótese de que a composição química e isotópica original do ar na bolha aprisionada permaneça inalterada por milhares de anos não é verdadeira, pois ocorrem tanto reações químicas, como difusão de ar nas bolhas por estarem submetidas a pressões que chegam a ser, nas camadas mais profundas, mais de 300 vezes superiores às da atmosfera. Some-se a isso o fato de o ar da bolha ser de cerca de mil anos mais novo que o gelo que o aprisionou, conforme afirmaram Caillon et al. (2003). Isso porque o aprisionamento da bolha de ar pelo gelo não é instantâneo, já que o processo de precipitação/derretimento da neve passa por vários ciclos (verões/invernos) e é necessário um acúmulo de 80 m de altura para a coluna de neve, em sua base, sofrer uma pressão que a faça transformar-se em neve granulada (*firn*), que aprisiona a bolha de ar finalmente. Concentrações obtidas com os cilindros de gelo, portanto, não podem ser comparadas com as medidas atualmente feitas por instrumentos, já que, na melhor das hipóteses, as bolhas de ar nos cilindros de gelo teriam uma representação temporal de mil anos, ou seja, um dado representa um intervalo de mil anos.

Dessa análise, conclui-se que, ou existiram outras causas físicas, que não a intensificação do efeito estufa pelo CO₂, que tenham sido responsáveis pelo aumento de temperatura verificado nesses interglaciais passados, ou as concentrações de CO₂ das bolhas no gelo tendam, sistematicamente, a ser subestimadas e, de fato, não representam a realidade da época em que foram aprisionadas. Nesse aspecto, embora a técnica de análise das bolhas de ar nos cilindros de gelo tenha sido uma idéia brilhante, ela não produz resultados confiáveis e, portanto, parece ser um método experimental incorreto cientificamente para determinação de concentrações de gases de períodos passados com a precisão adequada.

Os dados de Vostok comprovam que a temperatura do ar aumentou antes do aumento da concentração de CO₂, como sugeriram Caillon et al. (2003). Um argumento nesse sentido está expresso no Gráfico 4, onde se vêem os desvios da temperatura média global, obtidos com satélites (MSU), e desvios da concentração de CO₂ em Mauna Loa (em preto), de 1978, até o presente, padronizados pelos desvios-padrão respectivos. Vê-se, claramente, que a curva de tendência da temperatura (em vermelho) apresenta-se negativa nos últi-

mos dez anos, enquanto a do CO₂ continua a aumentar. Certamente, isso não aconteceria, se o CO₂ fosse o principal responsável pelo aumento de temperatura do ar. Em adição, ao usar apenas a série de Mauna Loa, o IPCC (2007) deixa a impressão que cientistas não teriam se preocupado em medir a concentração de CO₂ antes de 1957. Entretanto, o biólogo alemão Beck (2007) catalogou um conjunto de mais de 90 mil medições diretas de CO₂ de 43 localidades do Hemisfério Norte, obtidas entre 1812 e 2004, por vários pesquisadores renomados, três dos quais ganhadores de Prêmio Nobel. Esse conjunto de dados mostra que as concentrações de CO₂ excederam a 380 ppmv várias vezes antes de 1957, particularmente durante períodos quentes, como entre 1920 e 1946. Isso contraria o Sumário do IPCC (2007) que afirmou que a concentração de 379 ppmv, registrada em 2005, tenha sido a maior dos últimos 650 mil anos. Não há comprovação que o CO₂ armazenado na atmosfera seja originário de emissões antrópicas. Afirma-se que o CO₂ atmosférico tenha aumentado na taxa anual de 0,4%, correspondendo a um incremento de 3 bilhões de toneladas de carbono por ano (Gt C/ano) armazenadas na atmosfera.

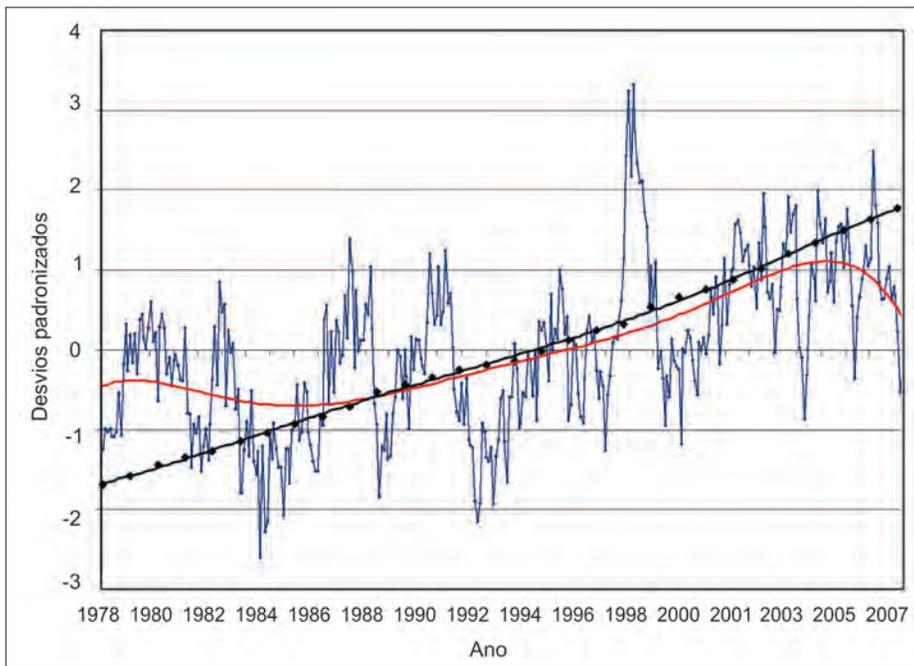


Gráfico 4 - Desvios padronizados de temperatura, com curva de tendência (vermelha) e de concentração de CO₂ em Mauna Loa (preta) nos últimos 30 anos

FONTE: Carbon Dioxide Information Analysis Center (2008).

De acordo com o Sumário do IPCC (2007), as emissões por queima de combustíveis fósseis e florestas tropicais totalizariam 7 Gt C/ano. Estima-se que os oceanos, por sua vez, absorvam 2 Gt C anuais. Portanto, o balanço ($3 + 2 = 5 < 7$) não fecha e ainda faltaria encontrar o sumidouro das 2 Gt C/ano restantes, fluxo esse que foi denominado “carbono desaparecido”, na literatura.

A vegetação – florestas nativas, como a Amazônia, e plantadas – possivelmente seria a sequestradora desse carbono (MOLION, 1988). Por outro lado, sabe-se que a solubilidade do CO₂ nos oceanos varia inversamente a sua temperatura. Ou seja, oceanos aquecidos absorvem menos CO₂ que oceanos frios. Como a temperatura dos oceanos aumentou ao longo do século 20, é possível que a concentração de CO₂ atmosférico tenha aumentado por causa da redução de absorção ou do aumento de emissão pelos oceanos. A literatura cita que o fluxo para dentro dos oceanos foi estimado em 92 Gt C/ano (HARTMANN, 1994). Um erro de 10% nessa estimativa corresponderia a uma fração três vezes

maior que a que fica armazenada na atmosfera, anualmente.

Outro argumento, que se utiliza para comprovar que o aumento da concentração de CO₂ é antropogênico, é a redução da razão ¹⁴C/¹²C. O carbono 14 é radiativo e apresenta uma meia-vida de 5.730 anos. Não há mais ¹⁴C nos combustíveis fósseis, uma vez que esses foram produzidos há milhões de anos. Assim, sua queima liberaria mais ¹²C e, por esse motivo, a razão teria decrescido em 2% nos últimos 150 anos. Ocorre que o ¹⁴C é formado pela incidência de raios cósmicos galácticos (RCG) – partículas de alta energia provenientes do espaço sideral, cuja contagem é mais elevada durante períodos de baixa atividade solar – na atmosfera e, portanto, quando o Sol está mais ativo, como na primeira metade do século 20, a entrada de raios cósmicos é reduzida, formando menos ¹⁴C. Essa deve ter sido a possível causa da redução de 2% da razão ¹⁴C/¹²C, se for admitido que ela possa ser medida com tal precisão atualmente.

Em outras palavras, esses argumentos não comprovam que o aumento da concen-

tração do carbono atmosférico seja causado pelas atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis, agropecuária e construção de grandes lagos de hidrelétricas.

LIMITAÇÕES DOS MODELOS DE CLIMA GLOBAL

Sabe-se que a absorção de radiação por um gás segue uma lei logarítmica, ou seja, pequenos incrementos na concentração do gás, quando essa é baixa, produzem aumentos de absorção bem maiores que grandes incrementos, quando sua concentração é alta. Do início da era industrial até o presente, a concentração de CO₂ já aumentou em cerca de 35%. Entretanto, segundo o IPCC (2007), a temperatura média global aumentou cerca de 0,7°C, enquanto MCG produziram aumentos de 0,5°C a 2,7°C para o mesmo aumento de concentração de CO₂, ou seja, modelos tendem a superestimar as temperaturas. Os mesmos MCG projetaram incrementos superiores a 10°C (GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES, 2008), na região do Ártico, para concentração de CO₂ dobrada, ou seja, cerca de 560 ppmv com relação à de 150 anos atrás. Porém, a análise das séries de dados de temperatura média do ar, registradas para o setor Atlântico do Ártico a partir de 1880, mostrou um incremento superior a 3°C, entre 1886 e 1938, quando a humanidade emitia menos de 10% do carbono que emite hoje, seguido de um decréscimo superior a 2°C, até o final da década de 1960. Atualmente, a temperatura média do Ártico está cerca de 1°C abaixo da temperatura média do final da década de 1930. Na Antártica, as temperaturas têm diminuído nos últimos 50 anos. Ou seja, exatamente nas regiões, onde os modelos previram os maiores incrementos de temperatura, foi observado o oposto desde o período pós-guerra, a partir do qual o consumo global de combustíveis fósseis acelerou-se e a concentração de CO₂ passou a subir monotonamente.

MCG são programas de computador que utilizam equações ou expressões matemáticas para representar os processos

físicos diretos e os de realimentação e/ou interação (*feedback*) entre os diversos componentes do sistema terra-oceano-atmosfera com a finalidade de simular ou avaliar a resposta do sistema climático sob um forçamento radiativo (aumento ou diminuição do fluxo de energia). Os processos de *feedback* são definidos como mecanismos físicos que amplificam (*feedback* positivo) ou reduzem (*feedback* negativo) a magnitude da resposta do sistema climático para um dado forçamento radiativo.

Que existem sérios problemas com as simulações dos MCG não é segredo para a comunidade meteorológica. Os MCG comumente têm dificuldade em reproduzir as características principais do clima atual, tais como temperatura média global, diferença de temperatura entre equador e pólo, a intensidade e o posicionamento das altas subtropicais e das correntes de jato, se não for feito o que, eufemisticamente, é chamado sintonia ou ajustes. Nos modelos de previsão de tempo e de clima, a informação (dados e resultados) está representada em pontos, ou nós, de uma grade ou malha tridimensional colocada sobre a superfície do globo, resultante do cruzamento de linhas de latitude x longitude x altura. A distância entre os pontos da grade determina a resolução espacial dos processos físicos que podem ser resolvidos pelo modelo. A resolução espacial horizontal dos modelos globais era de 250 km a 400 km até recentemente e todos os processos físicos, que se desenvolvem em escalas espaciais muito inferiores a essas, precisam ser resolvidos de forma particular, parametrizados como, por exemplo, processos de formação, desenvolvimento, cobertura de nuvens e precipitação, que são fundamentais para o balanço radiativo do planeta. A parametrização é, em geral, feita com algoritmos físico-estatísticos que dependem da intuição física do modelador e, portanto, podem não representar a realidade física e serem questionáveis.

Nesse aspecto, um dos problemas cruciais são nuvens – seus tipos, formas, constituição e distribuição, tanto em altura

como no plano horizontal, e propriedades ópticas – e aerossóis são processos físicos mal-simulados nos modelos. Em princípio, a temperatura global tende a aumentar principalmente com a presença de nuvens estratiformes (forma de camadas horizontais) na alta troposfera. Essas nuvens altas (tipo cirro) são mais tênues, constituídas por cristais de gelo em sua maior parte, e tendem a aquecer o planeta, pois permitem a passagem de ROL, mas absorvem fortemente ROL que escaparia para o espaço exterior, ou seja, nuvens cirros intensificam o efeito estufa (*feedback* positivo). Por outro lado, nuvens baixas (tipo estrato), mais espessas, tendem a esfriá-lo, pois aumentam o albedo planetário (*feedback* negativo). Por exemplo, o modelo do Serviço Meteorológico Inglês inicialmente previu um aumento superior a 5°C para o dobro de CO₂. Porém, Mitchell et al. (1989) relataram que, apenas mudando as propriedades ópticas das nuvens estratiformes, reduziram o aquecimento para menos de 2°C, ou seja, uma redução de 60%. Em geral, os modelos têm tendência a produzir mais nuvens cirros nas regiões tropicais, resultantes de umidade transportada pelas correntes de ar ascendentes associadas a nuvens de tempestades (cumulonimbos) e amplificar o aquecimento para um dado forçamento radiativo, gerando um *feedback* positivo. Entretanto, Spencer et al. (2007), usando dados de satélites, mostraram que a cobertura de nuvens cirros diminuiu durante o pico da estação chuvosa em regiões tropicais e, como consequência, existe maior perda de ROL para o espaço exterior, resfriando o sistema oceano-atmosfera. Ou seja, um *feedback* negativo importante que, aparentemente, não foi incorporado nos MCG. Em adição, na Figura 2 do Sumário do IPCC (2007), vê-se que a incerteza do efeito das nuvens no clima (forçamento radiativo negativo de -1,8 W/m²), considerado de nível de entendimento baixo pelo IPCC, é igual, porém, de sinal contrário ao do CO₂ (+1,66 W/m²), dito ter nível de entendimento alto. Em linguagem mais simples, segundo o próprio

IPCC (2007), o aumento de aerossóis e da cobertura de nuvens baixas, por refletirem mais radiação solar de volta para o espaço exterior, pode cancelar o aumento do efeito estufa pelo CO₂.

Associado a esse, outro problema sério de modelagem é a simulação do ciclo hidrológico e seu papel como termostato do sistema climático. Na natureza, a superfície e o ar adjacente tendem a ser resfriados por evaporação da água da chuva e da umidade do solo, pois esse é um processo físico que consome grandes quantidades de calor. Se não existisse convecção (formação de nuvens profundas, tipo cumulonimbo) e o resfriamento dependesse apenas da perda de ROL, o efeito estufa, sensivelmente intenso nos níveis próximos ao solo, faria com que a temperatura de superfície alcançasse valores superiores a 70°C. As nuvens cumulonimbos – convecção profunda que os modelos não simulam adequadamente – bombeiam calor latente para fora da camada limite planetária – camada mais próxima da superfície terrestre com cerca de 1.000 m de espessura – como se fossem verdadeiras chaminés, e o liberam nos níveis médios e altos da troposfera em que o efeito estufa é fraco e, de lá, esse calor é irradiado para o espaço exterior. Dessa forma, a convecção profunda curto-circuita o efeito estufa, não permitindo que a temperatura da superfície do planeta atinja valores elevados.

O transporte de calor sensível pelas correntes oceânicas para regiões fora dos trópicos também é mais um processo físico parametrizado, e mal resolvido, nos modelos. O calor transportado para o Ártico, por exemplo, aumenta as temperaturas da superfície do Mar da Noruega e, como o efeito estufa é fraco nessas regiões, por causa da baixa concentração de vapor d'água, a emissão de ROL para o espaço aumenta, e o sistema terra-atmosfera-oceano, como um todo, perde mais energia para o espaço exterior. Utilizando dados de reanálises do International Centers for Environmental Prediction (NCEP), Molion (2006) mostrou que, atualmente, a Escandinávia está perdendo 20 W/m² a mais, em média, do que perdia há 50 anos.

A discussão acima não esgota, de maneira alguma, os problemas de modelagem dos processos físicos e as possíveis fontes de erros dos MCG atuais. Não há dúvida que o desenvolvimento de modelos seja crítico para se adquirir habilidade futura de entender melhor ou mesmo prever o clima, mas há que se admitir que modelos atuais sejam representação ainda simples, grosseira, da complexa interação entre os processos físicos diretos e os de *feedback*, que controlam o clima do mundo. Modelos carecem de validação de seus resultados. Portanto, as previsões feitas para os próximos 100 anos podem estar superestimadas e a hipótese do efeito estufa intensificada e aceita pela maioria, segundo se afirma, pode não ter fundamento sólido, já que os resultados de modelos são um dos argumentos básicos utilizados em defesa do aquecimento global antropogênico.

VARIABILIDADE CLIMÁTICA NATURAL

Além do efeito estufa, outros processos físicos internos ao sistema terra-atmosfera-oceano, de não menor importância, controlam o clima. Variações da circulação atmosférica, associadas às variações da temperatura de superfície do mar (TSM) como, por exemplo, alterações na frequência de ocorrência de eventos El Niño-Oscilação Sul (Enos), são outras causas de mudanças significativas na temperatura global. É notória a grande variabilidade causada pelos eventos El Niño (1982, 1987 e 1998), observada na série de temperatura média da troposfera global, produzida pelos sensores MSU a bordo de satélite. O evento El Niño de 1997/1998, considerado o mais intenso do século passado, produziu anomalia de temperatura do ar global de cerca de $0,8^{\circ}\text{C}$ (acima de $1,0^{\circ}\text{C}$ no Hemisfério Norte), enquanto o La Niña de 1984/1985, um resfriamento de $-0,5^{\circ}\text{C}$ (Gráfico 2). Entre um El Niño e um La Niña, portanto, pode haver variações da temperatura média global superiores a 1°C . Molion (2005), relembrou que a frequência de El Niños intensos foi

maior entre 1977 e 1998, o que pode ter contribuído, em parte, para o aquecimento atual, já que El Niños aquecem a baixa troposfera. Conhece-se bem a influência dos oceanos na variabilidade climática de curto prazo (Enos). Mas a variabilidade oceânica de prazo mais longo e seus efeitos sobre o clima, ainda não são bem conhecidos. Sabe-se que existem mudanças de prazo mais longo nas circulações oceânicas de escala global, da ordem de décadas, como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), e milênio, como a Circulação Oceânica Profunda, e que essas influenciam fortemente o transporte e a distribuição horizontal de calor sensível nos oceanos e, conseqüentemente, as temperaturas do ar, devido às variações nas trocas de calor entre a superfície do oceano e a atmosfera. Porém, tais efeitos ainda não foram quantificados com a precisão necessária. Convém ressaltar que os oceanos cobrem 71% da superfície terrestre e que o Pacífico, sozinho, ocupa 35% dessa superfície. Como a atmosfera é aquecida primeiro embaixo, os oceanos constituem a condição de contorno inferior mais importante para a atmosfera e para o clima global. Portanto, variações nas configurações das TSM, em virtude das variações de transporte de calor em direção aos pólos, devem produzir mudanças climáticas sensíveis. Há uma surpreendente coincidência entre as fases ODP e a temperatura média global. O resfriamento do clima global durante o período de 1947-1976 (Gráfico 1), não explicado pelo IPCC, coincide com a fase fria da ODP, fase em que o Pacífico Tropical apresentou anomalias negativas de TSM e uma frequência maior de eventos La Niña. O aquecimento entre 1977 e 1998, além do efeito da urbanização (ilha de calor), pode estar relacionado com a fase quente da ODP – período em que o Pacífico Tropical apresentou temperaturas acima da média – durante a qual ocorreu uma frequência alta de eventos Enos intensos que também contribuem para aquecer a baixa troposfera. Foi observado por Häkkinen e Rhines (2004), da NASA, que a corrente do Golfo

do México – corrente marinha que transporta calor para o Atlântico Norte, região da Inglaterra, Escandinávia, Groelândia e Ártico – voltou a ficar mais ativa na primeira metade da década de 1990. Com maior transporte de calor sensível, as TSM aumentam e os ventos do oeste retiram mais calor do Atlântico Norte e o transportam para a Europa Ocidental – onde está a maior fração dos termômetros utilizados para elaborar o Gráfico 1 – que, por conseguinte, apresenta uma mudança climática, um aquecimento local e não global.

Dentre os principais controladores externos, estão a variação da produção de energia do Sol, as mudanças dos parâmetros orbitais da Terra e a tectônica de placas. O Sol é a principal fonte de energia para os processos físicos que ocorrem na atmosfera. Porém, sua produção de energia denominada “constante solar”, em média 1.368 W/m^2 , não é propriamente constante. Observações recentes, feitas por satélites em apenas dois ciclos e meio de manchas solares de 11 anos, sugerem que sua produção possa variar de $0,2\%$ pelo menos, ou seja, $2,7\text{ W/m}^2$ dentro de um ciclo. Durante o ciclo de Gleissberg atual – ciclo solar com um período aproximado de 90 anos – essa variação deve ter sido ainda maior, pois o número máximo de manchas solares nos ciclos de 11 anos variou cerca de 50 manchas, em 1913, para mais de 200 manchas, em 1957. Na Figura 1 do artigo de Lockwood e Fröhlich (2007), vê-se que a variação da constante solar pode chegar a 4 W/m^2 entre um máximo e um mínimo solar. Considerando albedo planetário de 30%, 70% dessas variações ($1,9$ a $2,8\text{ W/m}^2$) chegariam à superfície, o que é superior ao efeito de aquecimento climático (forçamento radiativo, na linguagem do IPCC) de todos os gases antropogênicos liberados pelo homem nos últimos 150 anos. A falta de conhecimento atual, porém, não permite conclusão definitiva que haja influência da variação da produção de energia do Sol no clima, embora o IPCC (2007) afirme que ela não seja significativa ($+0,12\text{ W/m}^2$).

Um controlador interno, mas que pode sofrer influências externas, é o já citado albedo planetário, cujas variações controlam o fluxo de energia solar (ROC) que entra no sistema terra-atmosfera-oceanos. Erupções vulcânicas explosivas lançam grandes quantidades de aerossóis na estratosfera, aumentam o albedo planetário e podem causar resfriamento significativo durante décadas. O efeito de uma erupção é sentido rapidamente em curto prazo. Minnis et al. (1993), da NASA, usando dados do experimento orbital Balanço Radiativo da Terra (ERBE), mostraram, em 1993, que a erupção do Monte Pinatubo, Filipinas, reduziu de 10 a 15 W/m² a radiação disponível entre as latitudes 40°N-40°S, durante vários meses. As erupções recentes do El Chichón (1982) e do Monte Pinatubo (1991) causaram resfriamentos durante três anos, com temperaturas de até 0,5°C abaixo da média, conforme dados dos MSU (Gráfico 2).

Os efeitos de erupções vulcânicas no clima, porém, podem ser de prazo mais longo se forem mais frequentes. Como entre 1815 e 1912, de maneira geral, a frequência de erupções vulcânicas foi grande, a concentração de aerossóis e o albedo planetário estiveram altos e isso pode ter contribuído para manter as temperaturas globais baixas no início da série de temperatura no Gráfico 1. Porém, no período 1915 a 1956, Molion (2006) comentou que a atividade vulcânica foi a menor dos últimos 400 anos e o albedo planetário reduziu-se (aumentou a transparência atmosférica), permitindo maior entrada de ROC no sistema durante 40 anos consecutivos e aumentando o armazenamento de calor nos oceanos e as temperaturas superficiais dos oceanos e do ar. É muito provável, portanto, que o aquecimento observado entre 1925 e 1946, que corresponde à cerca de 60% do aquecimento verificado nos últimos 150 anos, tenha resultado do aumento da atividade solar, que atingiu seu máximo em 1957/1958, e da redução da atividade vulcânica, ou seja, redução do albedo pla-

netário e aumento da transparência atmosférica, e não do efeito estufa intensificado pelas atividades humanas que, na época, eram responsáveis por menos de 10% das emissões atuais de carbono.

O físico dinamarquês Svensmark (1998) sugeriu a hipótese que RCG produzam aumento da concentração de núcleos de condensação (NCs) – partículas higroscópicas essenciais para dar início à produção de gotas d'água de nuvens e de chuva – ao entrarem na atmosfera terrestre. O aumento da concentração dos NCs induziria o aumento da cobertura de nuvens baixas que, por sua vez, aumentaria o albedo planetário e tenderia a resfriar o planeta (*feedback* negativo). O coeficiente de correlação entre os dois fenômenos, contagem de RCG e cobertura de nuvens, é alto (-0,96). Entretanto, Lockwood e Fröhlich (2007) contestaram essa hipótese, argumentando que a atividade solar, em declínio desde 1985, não estaria aumentando a cobertura de nuvens e que a temperatura média global estaria aumentando independentemente da atividade solar. A afirmação de Lockwood e Fröhlich foi criticada por vários pesquisadores que apontaram falhas em seu artigo, entre outras, a questionável técnica usada pelos autores para suavizar os dados de contagens de RCG e a desconsideração do atraso da resposta dos oceanos a flutuações rápidas dos controladores climáticos. Usando dados astronômicos, Shaviv (2002) mostrou que o fluxo de RCG deve variar de um fator maior que 2, quando a Terra atravessa os braços galácticos em espiral, o que ocorre a cada 132 ± 25 milhões de anos. Além dos RCG, o sulfeto de dimetila ou metiltiometano (DMS) é um dos componentes de enxofre biológico mais abundantes na natureza, produzido pelo fitoplâncton e algas marinhas. Com aumento de temperatura do mar, algas marinhas ficam estressadas e produzem mais DMS. Os aerossóis produzidos a partir da oxidação do DMS, por serem altamente higroscópicos, atuam como NCs na camada limite atmosférica e, possivelmente,

aumentam a cobertura de nuvens baixas e, conseqüentemente, o albedo planetário, resfriando o planeta (*feedback* negativo), semelhante aos RCGs.

Indubitavelmente, o Sol é o principal responsável pela variabilidade climática. Porém, a variação da atividade solar apresenta ciclos relativamente longos, décadas ou séculos e seus efeitos são amortecidos pela grande capacidade de armazenamento de calor, ou inércia, dos oceanos. Mudanças bruscas na temperatura dos oceanos, como a ocorrida no Pacífico, em 1976, não podem ser explicadas por fenômenos de baixa frequência. Uma possível causa seria a tectônica de placas, movimentos ou deslizamentos de placas tectônicas que causam terremotos e erupções vulcânicas, superficiais e submarinos. Na madrugada de 28 de julho de 1976, a cidade de Tangshan, China, localizada no extremo oeste da Placa do Pacífico, sofreu um terremoto de 8,2 na Escala Richter, que matou mais de 250 mil pessoas de imediato. Posteriormente, dados oficiais afirmaram ter havido mais de 500 mil óbitos. Foi o terremoto mais fatal dos últimos 500 anos na China. Já, em fevereiro, tinha ocorrido um na Guatemala e outro na Itália, em maio, confirmando que movimentos tectônicos intensos foram frequentes naquele ano. É possível, pois, que o salto climático de 1976, claramente detectável em todos os climas regionais do planeta, tenha sido causado pela mudança brusca ocorrida no Pacífico, coincidente com a mudança de fase da ODP, ou seja, um terremoto e/ou uma erupção submarinos violentos provocam uma mudança quase que instantânea nas temperaturas da superfície do mar e essas, por meio de sua interação com a atmosfera, mudam o clima.

Os exemplos citados mostram que o clima é muito complexo, envolvendo controles internos e externos ao sistema terra-atmosfera-oceano, dos quais o efeito estufa é apenas um dos processos físicos, e que houve aumentos de temperatura em tempos remotos, aparentemente sem sua intensificação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande variabilidade natural do clima não permite afirmar que o aquecimento de $0,7^{\circ}\text{C}$ seja decorrente da intensificação do efeito estufa, causada pelas emissões antrópicas de carbono, ou mesmo que essa tendência de aquecimento persistirá nas próximas décadas, como sugerem as projeções do Relatório da Quarta Avaliação do IPCC (2007).

A aparente consistência entre os registros históricos e as previsões dos modelos não significa que o aquecimento esteja ocorrendo. Na realidade, as características desses registros históricos conflitam com a hipótese do efeito estufa intensificado. O planeta aqueceu-se mais rapidamente entre 1920 e 1946, quando a quantidade de CO_2 lançada na atmosfera era inferior a 10% da atual, e resfriou-se entre 1947 e 1976, quando ocorreu o desenvolvimento econômico acelerado após a 2ª Guerra Mundial. Dados dos MSU a bordo de satélites (Gráfico 2) não confirmaram um aquecimento expressivo pós-1979, que é aparente na série de temperatura obtida com termômetros de superfície. No Sumário para Formuladores de Políticas do IPCC (2007), publicado em fevereiro de 2007, afirmou-se que a concentração de CO_2 aumentou 35% nos últimos 150 anos. Porém, isso pode ter ocorrido por causa das variações internas ao sistema terra-oceano-atmosfera. Sabe-se que a solubilidade do CO_2 nos oceanos depende de sua temperatura com uma relação inversa. Como a temperatura dos oceanos aumentou, em virtude da redução do albedo planetário e da atividade solar mais intensa entre 1925 e 1946, a absorção (emissão) de CO_2 pelos oceanos pode ter sido reduzida (aumentada) e mais CO_2 ter ficado armazenado na atmosfera. Portanto, não se pode afirmar que foi o aumento de CO_2 que causou o aumento de temperatura (Gráfico 4). Pode ter sido exatamente ao contrário, ou seja, que o CO_2 tenha aumentado em resposta ao aumento da temperatura dos oceanos e do ar adjacente.

Dados paleoclimáticos, como os obtidos com cilindros de gelo da Estação de Vostok, indicaram que as temperaturas do ar estiveram mais elevadas que as atuais nos períodos interglaciais anteriores e que as concentrações desse gás não ultrapassaram 300 ppmv (Gráfico 3), sugerindo que o aquecimento do clima não dependa da concentração de CO_2 . Em adição, há outros testemunhos indiretos, como os anéis de crescimento de árvores, em que a densidade da madeira varia inversamente ao total pluviométrico em regiões tropicais. Por exemplo, Ferraz et al. (1993) analisaram um jatobá-mirim colhido na Amazônia Central (Balbina) e constataram que a densidade da madeira de seus anéis de crescimento aumentou nos últimos 400 anos (Gráfico 5). Aceitando-se que a variação das chuvas seja o fator ambiental mais importante no desenvolvimento de uma árvore no meio da Floresta Amazônica, inferiu-se que o jatobá, durante esse período, esteve submetido a um clima regional que, paulatinamente, tornou-se mais seco e isso só poderia estar acontecendo, se o clima global estivesse resfriando.

As análises da temperatura da superfície do mar para o período 1999-2007, elaboradas com os dados do conjunto de reanálises do NCEP/National Center Atmospheric Research (NCAR), mostraram uma configuração semelhante à da fase fria anterior da ODP (1947-1976), sugerindo que o Pacífico já esteja em uma nova fase fria (Fig. 1). É possível, portanto, que o clima global venha a se resfriar nos próximos 20 anos, semelhantemente ao que ocorreu na fase fria anterior (Gráfico 1), porém com um agravante. Contrariamente ao período da fase fria anterior, o Sol está entrando num período de baixa atividade, um novo mínimo do Ciclo de Gleissberg e de seu ciclo de 170 anos (mínimo de Dalton). Observações por satélites mostraram que os valores do fluxo total de ROC, no último mínimo solar em 2006, ficaram abaixo de $1.365,3 \text{ W/m}^2$, inferiores aos mínimos anteriores. A variação da atividade solar nos últimos 400 anos sugere que, nos próximos dois ciclos de manchas solares, ou seja, até aproximadamente 2030, a atividade solar seja comparável às primeiras duas décadas do século 20. Portanto, como a ODP está

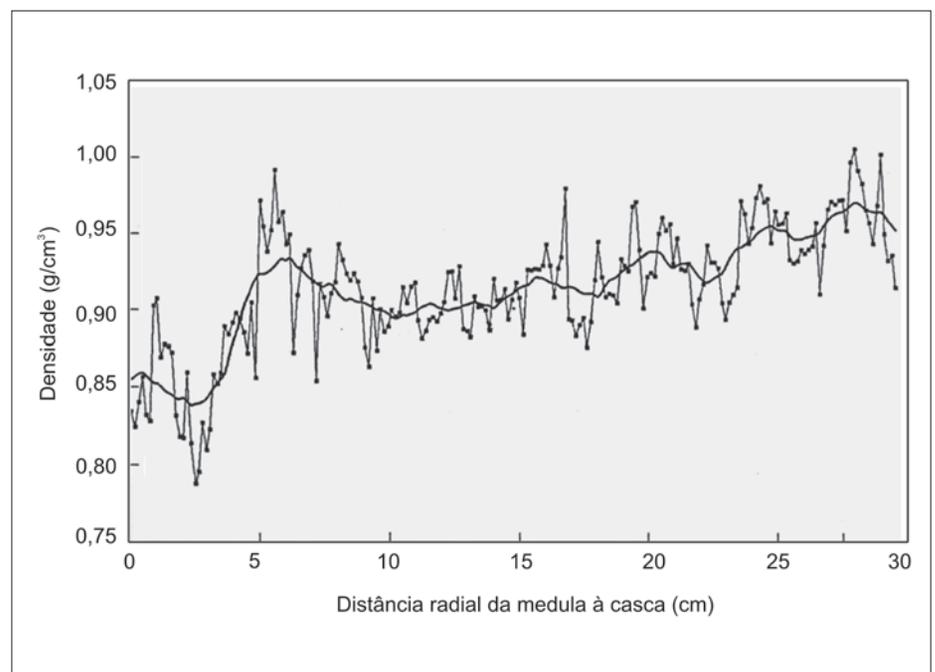


Gráfico 5 - Variação radial da densidade da madeira dos anéis de crescimento de um jatobá-mirim, colhido em Balbina, a 170 km a noroeste de Manaus

FONTE: Ferraz et al. (1993).

em uma nova fase fria e a atividade solar estará mais baixa, é muito provável que as condições climáticas globais entre 1947 e 1976 venham a se repetir qualitativamente, ou seja, um arrefecimento global nos próximos 20 anos. Dados atuais de temperatura média global confirmam essa hipótese e mostram que 1998 foi o ano mais quente dos últimos nove anos (Gráfico 2), ou seja, o aquecimento global parece ter acabado em 1998.

As análises climáticas do período de 1947-1976 (fase fria da ODP) mostraram que, de maneira geral, as condições climáticas não foram favoráveis para o Brasil. As chuvas reduziram-se entre 10% e 30% em todo o País, resultando em deficiência hídrica para abastecimento de populações e geração de energia elétrica, e as Regiões Sul e Sudeste sofreram um aumento na

frequência de massas de ar polar intensas (geadas fortes) no inverno, fato que contribuiu decisivamente para a erradicação do cultivo do café no Paraná. As regiões brasileiras mais afetadas foram partes do sudeste do Pará, norte de Tocantins, sul do Maranhão e Piauí, a região sudeste da Amazônia, que é a fronteira agrícola, de expansão da soja e de futuros canaviais. Essa região poderá apresentar uma redução média de até 500 mm por ano, cerca de 25%, em seus totais pluviométricos nos próximos 20 anos.

Reflexões sobre o propagado aquecimento global deixam evidente que o clima do planeta, sem exagero, é resultante de tudo o que ocorre no Universo. Exemplificando, se a poeira densa, de uma estrela, que explodiu há 15 milhões de anos, adentrasse o Sistema Solar, diminuiria

a radiação solar incidente e resfriaria o planeta. Porém, o fato de o aquecimento, observado entre 1977 e 1998, muito provavelmente ter sido causado pela variabilidade natural do clima em sua maior parte, não é um aval para o homem continuar a degradar o meio ambiente. Ao contrário, considerando que o aumento populacional é inevitável num futuro próximo, o bom senso sugere a adoção de políticas e de práticas de conservação ambiental bem elaboradas, destituídas de dogmatismo, e mudanças nos hábitos de consumo, para que a humanidade possa sobreviver, isto é, para que as gerações futuras possam dispor dos recursos naturais que se dispõem atualmente. Portanto, a conservação ambiental é necessária e independente de mudanças climáticas, quer seja aquecimento, quer seja resfriamento global.

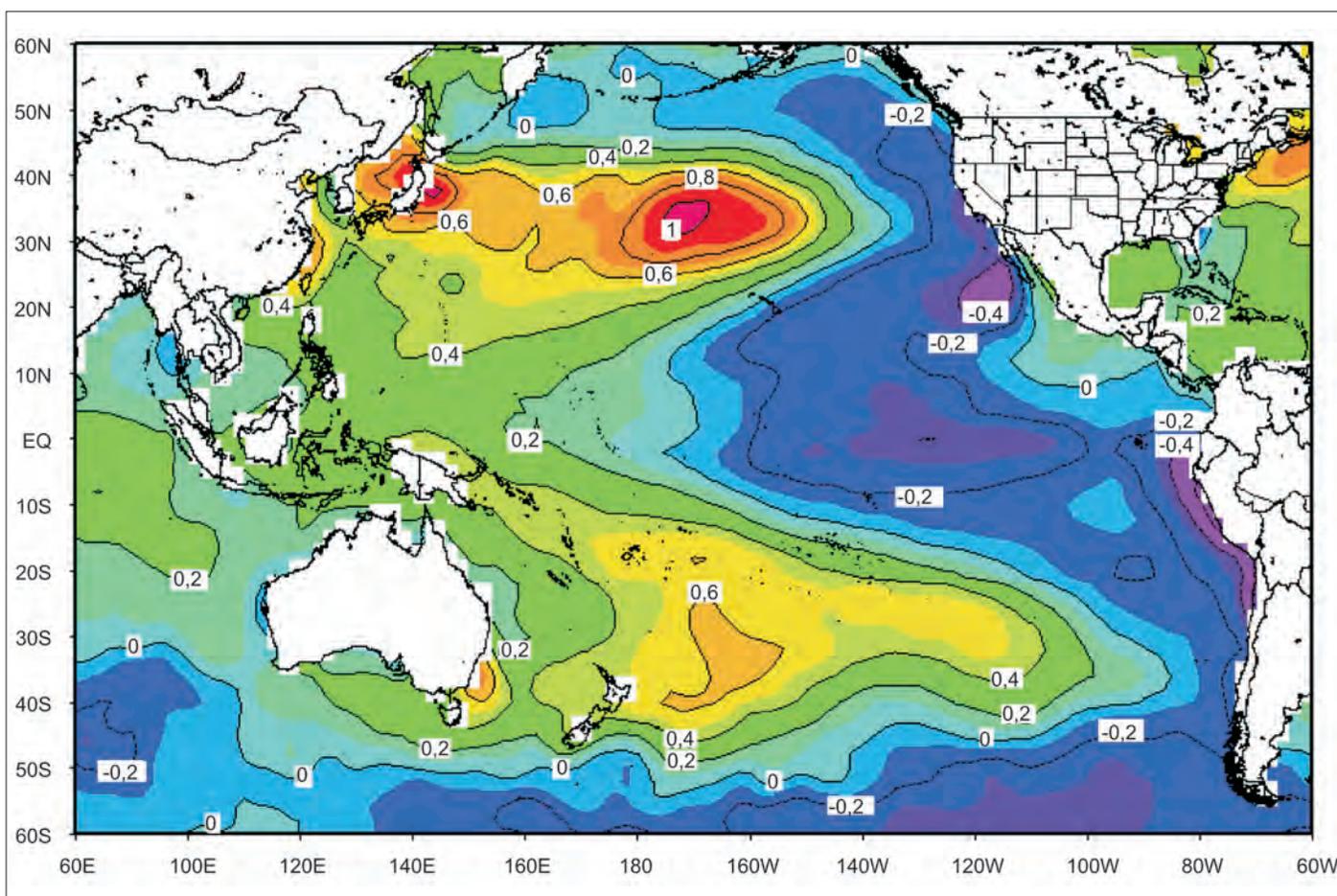


Figura 1 - Anomalias da temperatura média anual da superfície do Pacífico, no período 1999-2007 (°C), com relação à média do período 1977-1998

FONTE: Earth System Research Laboratory (2008).

REFERÊNCIAS

- BECK, E.G. 180 years of CO₂ gas analysis by chemical methods. **Energy & Environment**, v.18, n.2, p.1-17, 2007.
- CAILLON, N.; SEVERINGHAUS, J.P.; JOUZEL, J.; BARNOLA, J.M.; KANG, J.; LIPENKOV, V.Y. Timing of atmospheric CO₂ and Antarctic temperature changes across Termination III. **Science**, v.299, n.5613, p.1728-1731, Mar. 2003.
- CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER. **Global change data and information products: by subject**. [2008]. Disponível em: <http://cdiac.ornl.gov/by_new/bysubject.html#carbon>. Acesso em: 23 jan. 2008.
- CHRISTY, J.; SPENCER, R. **Global Temperature Report 1978-2003**. Huntsville: University of Alabama, 2003. Disponível em: <http://meteo.lcd.lu/globalwarming/Christy_and_Spencer/25years_highlite.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2007.
- CLIMATE RESEARCH UNIT. **Information sheets**. Norwich, 2008. Disponível em: <www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming>. Acesso em: 12 dez. 2007.
- EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORY. [2008]. Disponível em: <<http://www.cdc.noaa.gov>>. Acesso em: 9 jan. 2008.
- FERRAZ, E.S.B.; OLIVEIRA, E.H.; FERNANDES, A.D.; BACHL, M.A. Densidade da madeira e flutuações climáticas na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1993, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1993.
- GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES. **Giss surface temperature analysis**. New York, 2008. Disponível em: <<http://data.giss.nasa.gov/gistemp>>. Acesso em: 7 jan. 2008.
- HÄKKINEN, S.; RHINES, P.B., Decline of subpolar North Atlantic circulation during the 1990s. **Science**, v.304, n.5670, p.555-559, Apr. 2004.
- HARTMANN, D.L. Global physical climatology. **International Geophysics Series**, New York, v.56, n.4, p.40-79, 1994.
- HIEBM. **Global warming: a chilling perspective**. 2007. Disponível em: <http://geocraft.com/WVFossils/ice_ages.html>. Acesso em: 12 dez. 2007.
- IPCC. Summary for policymakers. In: _____. **Climate change 2007: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2007.
- JAWOROWSKI, Z. CO₂: the greatest scientific scandal of our time. **EIR Science**, p.38-53, Mar. 2007.
- LOCKWOOD, M.; FRÖHLICH, C. Recent oppositely direct trends in solar climate forcing and global mean surface air temperature. **Proceedings of the Royal Society A**, p.1-14, 2007.
- MINNIS, P.; HARRISON, E.F.; STOWE, L.L.; GIBSON, G.G.; DENN, F.M.; DOELLING, D.R.; SMITH JUNIOR, W.L. Radiative climate forcing by Mount Pinatubo eruption. **Science**, v.259, n.5100, p.1411-1415, Mar. 1993.
- MITCHEL, J.F.B.; SENIOR, C.A.; INGRAN, W.J. CO₂ and climate: a missing feedback? **Nature**, v.341, p.132-134, 1989.
- MOLION, L.C.B. A Amazônia e o clima da terra. **Ciência Hoje**, v.8, n.48, p.42-46, 1988.
- _____. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico. **Revista Climanalise**, ano 3, n.1, ago. 2005. Disponível em: <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista/pdf/Artigo_Aquecimento_0805.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2007.
- _____. Variabilidade e forçantes climáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006.
- NATIONAL SPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY CENTER. **Public data access**. [2008]. Disponível em: <<http://vortex.msstc.uah.edu/data/msu/t2>>. Acesso em: 22 jan. 2008.
- PETTIT, J.R.; JOUZEL, J.; RAYNAUD, D.; BARKOV, N.T.; BARNOLA, J.M.; BASILE, I.; BENDERS, M.; CHAPPELLAZ, J.; DAVIS, M.; DELAYQUE, G.; DELMOTTE, M.; KOTLYAKOV, V.M.; LEGRAND, M.; LIPENKOV, V.Y.; LORIUS, C.; PÉPIN, L.; RITZ, C.; SALTZMAN, E.; STIEVENARD, M. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. **Nature**, v.399, p.429-436, 1999.
- REN, G.Y.; CHU, Z.Y.; CHEN, Z.H.; REN, Y.Y. Implications of temporal change in urban heat island intensity observed at Beijing and Wuhan stations. **Geophysical Research Letters**, v.34, n.5, 2007.
- SHAVIV, N.J. Cosmic ray diffusion from galactic spiral arms, iron meteorites, and a possible climatic connection. **Physical Review Letters**, v.89, n.5, p.51-102, July 2002.
- SPENCER, R.W.; BRASWELL, W.D.; CHRISTY, J.R.; HNILO, J. Cloud and radiation budget changes associated with tropical intraseasonal oscillations. **Geophysical Research Letters**, v.34, n.15, 2007.
- SVENSMARK, H. Influence of cosmic rays on earth's climate. **Physical Review Letters**, v.81, n.22, p.5027-5030, Nov. 1998.



Mudas de frutíferas

● morango ● laranja ● limão ● manga

Informações e aquisição:
CENTRO TECNOLÓGICO DO NORTE DE MINAS
Rodovia MGT 122, Km 155 - Caixa Postal 12 - CEP 39525-000
Nova Porteirinha - MG - Telefax: (38) 3834-1760
ctnm@nortecnet.com.br - ctnm@epamig.br

EPAMIG **GOVERNO DE MINAS**

Variabilidades climáticas e seus impactos na agricultura de Minas Gerais

Rubens Leite Vianello¹
Gilberto Chohaku Sedyama²
Anete dos Santos Fernandes³
Lizandro Gemiacki⁴

Resumo - O resultado do progresso tecnológico reflete-se em significativas contribuições para a humanidade, sendo a agricultura uma das atividades mais beneficiadas. Nesse contexto, quais avanços têm chegado até o estado de Minas Gerais, favorecendo a agricultura, direta ou indiretamente? Pela questão formulada é enfocada, sucintamente, a polêmica das mudanças climáticas globais e seus possíveis impactos na agricultura mineira, bem como tendências climáticas observadas em algumas regiões do Estado, o progresso alcançado nos últimos anos na coleta de dados meteorológicos em Minas Gerais e o impacto de um longo veranico na quebra de safras de produtos básicos da agricultura mineira. Propõem-se estratégias e ações futuras com vistas aos estudos climáticos no Estado, tendo a agricultura como foco.

Palavras-chave: Mudança climática. Flutuação climática. Meteorologia. Temperatura. Cultura agrícola.

INTRODUÇÃO

As várias expressões usadas para descrever as variações no clima, tais como, variabilidade climática, flutuação climática, tendência climática, ciclo climático e mudança climática referem-se a algumas escalas temporais apropriadas, sendo válidas apenas quando aplicadas em tais escalas. De fato, o clima não é constante e nem sempre o foi como hoje é conhecido. Provas desta afirmativa são os registros de mudanças climáticas globais e, em particular, os regionais, que mostram periodicidades de anos a séculos, durante os quais foi sistematicamente variável.

No passado, a climatologia tinha como base, exclusivamente, observações práticas

dos fenômenos da natureza, levando o homem a conclusões importantes. Assim, a divisão do globo em zonas tórridas, temperadas e frígidas foi obra dos gregos, que acreditavam que as diferenças regionais significativas do tempo ocorriam apenas no sentido norte-sul, tal qual observavam. A partir de 1450, com as grandes explorações geográficas, reconheceu-se que as variações climáticas não se restringiam apenas aos cinturões latitudinais, mas estendiam-se também por áreas irregulares, afetadas pela circulação geral da atmosfera e pela distribuição e configuração dos oceanos e continentes. Foi em meados do século 17 que o método científico teve início, com a revolução da mecânica clássica e a inven-

ção do barômetro, por Torricelli (1643), que se somou ao invento do termômetro, em 1593, por Galileo. O método indutivo foi introduzido por Bacon e Descartes, seguindo-se de uma revolução nos estudos do tempo e do clima, tais como o surgimento das relações entre pressão e volume dos gases (Boyle, 1627-1691), o uso da média aritmética para estudar as marchas diárias e anuais dos elementos climáticos (Cotes e Simpson, séc. 18), o enfoque cartográfico da climatologia (Von Humboldt, 1817), a introdução da análise dos ventos (Von Bloch, 1820), os conceitos de massas de ar, a derivação das equações para expressar ganhos e perdas de calor pela superfície da Terra exposta à radiação solar (Schmidt,

¹Geógrafo, Pós-Doc, Instituto Nacional de Meteorologia - 5ª DISME, Av. do Contorno, 8.159 - Santo Agostinho, CEP 30110-051 Belo Horizonte-MG. Correio eletrônico: rubens.vianello@inmet.gov.br

²Engº Agrº, Pós-Doc, Prof. Tit. UFV - Deptº Engenharia Agrícola, CEP 36570-000 Viçosa-MG. Correio eletrônico: g.sedyama@ufv.br

³Meteorologista, M.Sc., Instituto Nacional de Meteorologia, 5ª DISME, Av. do Contorno, 8.159 - Santo Agostinho, CEP 30110-051 Belo Horizonte-MG. Correio eletrônico: anete.santos@inmet.gov.br

⁴Meteorologista, M.Sc., Instituto Nacional de Meteorologia, 5ª DISME, Av. do Contorno, 8.159 - Santo Agostinho, CEP 30110-051 Belo Horizonte-MG. Correio eletrônico: lizandro.gemiacki@inmet.gov.br

1830), a teoria da convecção aplicada aos ciclones, abrindo caminho para o entendimento do calor latente como fonte principal de energia, etc. (VIANELLO; ALVES, 1991). Num salto no tempo, o grande desenvolvimento tecnológico do último século trouxe para a climatologia avanços extraordinários na coleta e disseminação de dados e, com o advento dos supercomputadores, abriu fronteiras para a modelagem numérica.

O aquecimento global é um fato comprovado pela ciência, mas as análises de suas conseqüências atuais e futuras na agricultura e na vida dos homens dividem os cientistas. A possibilidade de que a grande seca, as chuvas intensas e outros fenômenos adversos possam ocorrer com mais freqüência, em grande escala espacial, por exemplo, são ainda aspectos de estudos e polêmicas. Em todas as regiões do mundo existem grandes preocupações quanto aos impactos das mudanças climáticas na agricultura, por ser tal atividade, possivelmente, a mais diretamente afetada pelo aumento da concentração dos gases do efeito estufa, pelo aumento da temperatura e pelo aumento da freqüência de ocorrência dos fenômenos climáticos extremos. Os impactos das mudanças climáticas na agricultura estão diretamente relacionados com a questão da segurança alimentar, em um mundo que apresenta um crescente aumento da população e de demanda por alimentos. Em geral, os modelos climáticos apontam que irá chover mais no mundo inteiro, mas não se sabe como essa pluviosidade será distribuída. O clima do nosso planeta é dinâmico, marcado por longos períodos glaciais e interglaciais, e essas grandes mudanças climáticas acham-se associadas às relações Terra-Sol, nas quais o homem não pode interferir. Dessa forma, o estudo e a quantificação dos impactos das mudanças climáticas na agricultura são de fundamental importância para o Brasil e, em particular, para Minas Gerais, que tem a sua economia crescente e dependente do agronegócio. Estudo dos impactos das mudanças climáticas na agricultura é uma questão de estratégia econômica para o Estado. A polêmica criada em torno do

aquecimento global reforçou a necessidade de ampliar a rede de observações meteorológicas, especialmente nos países em desenvolvimento e nas regiões remotas. Até que ponto os campos de anomalias podem ser atribuídos à escassez, à má qualidade das observações e aos problemas de interpolações? Alguns resultados desqualificam publicações alarmistas que chegam ao cúmulo de demonstrar o desaparecimento de culturas tradicionais, como o café, para a qual, por exemplo, o estado de Minas Gerais se tornaria totalmente inapto em decorrência das mudanças climáticas em marcha.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS, CAUSAS E CONTRADIÇÕES

O 4º Relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) alerta para as conseqüências do aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera e destaca as mudanças climáticas globais já em curso, afirmando que o nível de certeza dos resultados ultrapassa 90%. Seguem as principais conclusões:

a) o aquecimento do sistema climático é inequívoco, como evidenciado pelas observações globais de aumento das temperaturas médias do ar e do oceano, pelo amplo derretimento das neves e dos gelos e pela subida global do nível médio dos mares. Algumas conseqüências do aumento das temperaturas já podem ser notadas nas altas latitudes do Hemisfério Norte, na agricultura, no manejo de florestas, em alguns aspectos da saúde e em outras atividades humanas. Como principal causa do aquecimento global, evocam as concentrações dos gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O), que têm aumentado desde a era pré-industrial, atingindo, entre 1970 e 2004, um acréscimo de 70%, com destaque para o CO_2 que, no mesmo período, teve um acréscimo em torno de 80%. Afirma-se ainda que, nos últimos 50 anos, as somas das forçantes solar e vulcânica teriam produzido esfriamento, res-

tringindo, portanto, as simulações dos modelos às contribuições antropogênicas. Por outro lado, para escalas inferiores às dimensões continentais, as dificuldades nas simulações são reconhecidas, o mesmo ocorrendo em relação às variações das temperaturas observadas;

- b) ainda que se adotassem políticas de mitigação das mudanças climáticas e práticas de desenvolvimento sustentável, há evidências de que as emissões dos gases de efeito estufa (GEEs) continuariam a crescer nas próximas décadas. E, se nada for feito, e as emissões continuarem em taxas iguais ou superiores às das últimas décadas (cenário A2), o efeito estufa resultante causaria aquecimento e induziria muitas outras trocas no clima global durante o século 21, provavelmente maiores que as observadas no último século. Para as próximas duas décadas, ainda que as concentrações de GEEs e aerossóis permaneçam constantes no nível de 2000, um aquecimento da ordem de $0,1^\circ\text{C}$ por década é esperado. Para o cenário A2, os modelos projetam um aumento da temperatura média global que pode chegar a $5,4^\circ\text{C}$, em 2099, comparativamente à média do período 1980-1999. Em adição ao aquecimento médio global, outras alterações são esperadas em escala regional, tais como aumento da intensidade dos ciclones tropicais, extremos de temperaturas e ondas de calor, chuvas de maior intensidade, aumento da disponibilidade hídrica nas altas latitudes e em algumas regiões úmidas e diminuição em algumas regiões secas das latitudes médias e nos trópicos;
- c) para a América Latina, são esperados impactos significativos, tais como:
- aumento nas temperaturas e decréscimos associados ao conteúdo de água dos solos,

- conduzindo a uma gradual substituição das florestas tropicais por savanas ao leste da Amazônia, enquanto a vegetação Semi-Árida seria substituída por vegetação árida,
- risco de perda significativa da biodiversidade pela extinção de espécies em muitas áreas tropicais,
 - decréscimo na produtividade de importantes culturas e na pecuária, com conseqüências adversas para a segurança alimentar,
 - nas regiões temperadas, projeta-se um aumento na produtividade da soja,
 - no geral, espera-se um aumento no número de pessoas em risco de fome,
 - mudanças na configuração das chuvas e desaparecimento de glaciares afetarão significativamente a disponibilidade hídrica para consumo, agricultura e geração de energia elétrica.

Embora o IPCC (2007) sintetize as contribuições e expresse o pensamento de centenas de pesquisadores distribuídos pelo mundo, há respeitáveis cientistas que contestam suas conclusões, denunciando a ditadura de uma minoria, que impõe seus pontos de vista, e o modismo seguido pela ampla maioria, além de dramatizar o processo natural de mudanças climáticas globais, fenômeno em curso desde a origem do planeta Terra (LEROUX, 2003). Ademais, o próprio IPCC reconhece que:

A aptidão dos cientistas para fazer verificações das projeções provenientes dos modelos é bastante limitada pelos conhecimentos incompletos sobre as verdades climáticas (IPCC, 2001).

Ainda que não se conteste o efeito estufa, fato conhecido desde 1824 e responsável por um ganho de 33°C na temperatura média da superfície do Globo, elevando-a de -18°C para 15°C, a questão é saber se, de fato, o homem é capaz de influenciar, involuntariamente, o curso da evolução

climática em escala planetária. Sabe-se que o vapor d'água representa 63% do efeito estufa natural e constitui ainda a maior incerteza, segundo Keller (1999 apud LEROUX, 2003). Além disso, é necessário acrescentar a incerteza associada à nebulosidade, cujos efeitos são contrários de acordo com a altura das nuvens, que tanto podem esfriar, quanto aquecer a superfície terrestre (MITCHELL, 1989).

À parte, a influência demonstrada sobre o clima urbano, uma conseqüência em escala global, permanece ainda no domínio da especulação. As estações meteorológicas, inicialmente instaladas fora das cidades, foram progressivamente absorvidas pela expansão da urbanização ou por sua cúpula de calor. Nesse sentido, inúmeros pesquisadores já demonstraram tal influência em diferentes localidades do Globo, Goodridge (1996) e Sala e Chiva (1996) (apud LEROUX, 2003). A premissa do IPCC (2007), de que o estudo paleoclimático dá uma idéia da amplitude das futuras alterações climáticas, suscita questões polêmicas: a relação entre os GEEs e a temperatura é uma correlação física ou uma covariação, sem significado físico? O acréscimo dos GEEs é uma causa ou um efeito do aquecimento? Os cilindros de gelo de Vostok mostraram o paralelismo das variações de temperatura do ar e o teor atmosférico dos GEEs (PETIT et al., 1999). Entretanto, a covariação dos GEEs e a temperatura no decurso de mais de 400 mil anos resultou de um forçamento exterior à própria Terra, como mostrou Milankovitch (1924 apud ROE, 2006). Este autor, inspirado nos estudos dos ciclos glaciais e interglaciais, mostrou que os fatores astronômicos explicaram tais flutuações climáticas, demonstrando que, ao ciclo de 100 mil anos (excentricidade da órbita terrestre) associaram-se a obliquidade da eclíptica (41 mil anos) e a precessão dos equinócios (23 mil anos).

Segundo Molion (2007), a hipótese do aquecimento global está alicerçada em três pilares básicos: a série de temperatura média global do ar nos últimos 150 anos, o aumento observado na concentração do gás carbônico e os resultados obtidos com

os modelos numéricos de simulação do clima. Quanto ao aquecimento constatado pelo aumento da temperatura global, esse autor argumenta, com base em estudos de Jones (1990) e Halpert e Ropelewski (1991), que inúmeras localidades têm sofrido resfriamento, em contraste com o aquecimento de outras. Evoca também problemas relacionados com as medições, tais como trocas de instrumentos e efeitos de ilhas de calor, além das séries de 150 anos serem curtas para captar variabilidades de prazos mais longos. Em síntese, as séries utilizadas não possuem boa representatividade espacial e temporal, além de problemas de homogeneidade. No que tange ao uso de modelos, em muitas localidades, como no setor Atlântico do Ártico, segundo Rogers (1989 apud MOLION, 2007), o aquecimento que os modelos previam foram desmentidos pelas observações, como é o caso da região Ártica, onde os modelos previam um aquecimento de 8°C a 15°C no inverno, tendo sido observado justo o contrário, ou seja, um resfriamento de 2°C, de 1930 até o presente (isso num período de aumento na concentração de CO₂). Este mesmo autor aponta também a fragilidade dos modelos em reproduzir as características mais importantes do clima atual, tais como a temperatura média global, as diferenças de temperatura entre o Equador e os Pólos, a intensidade e o posicionamento das correntes do jato. As nuvens altas, mais tênues e constituídas, em parte, por cristais de gelo, tendem a aquecer o planeta, pois permitem a passagem da radiação solar, mas absorvem a radiação infravermelha térmica que escaparia para o espaço exterior. Já as nuvens baixas, mais espessas, tendem a esfriar o planeta, pois refletem mais radiação solar de volta para o espaço. Cita ainda o exemplo do modelo do Serviço Meteorológico Inglês, que previu um aumento superior a 5°C para o dobro do CO₂, porém, MITCHEL et al. (1989) relataram que, apenas mudando as propriedades óticas das nuvens estratiformes, reduziu-se o aquecimento para menos de 2°C, ou seja, uma redução de 60%. Outro problema grave que possuem os modelos é a simulação do ciclo hidrológico e seu

papel como termostato do sistema Terra-atmosfera. A variabilidade natural do clima é de alta complexidade, impossível de ser modelada no atual estágio do conhecimento científico, especialmente considerando-se as interações não-lineares. Os modelos de simulação de mudanças climáticas nada mais são que aproximações grosseiras da natureza, não se permitindo afirmar que variações da ordem 0,5°C de aquecimento sejam decorrentes da intensificação do efeito estufa antropogênico ou mesmo que essa tendência persistirá nas próximas décadas.

A análise de alguns registros históricos permite conhecer inúmeras mudanças climáticas ocorridas na história da Terra, desde os tempos geológicos distantes, até o final do último século. Como se vê no Gráfico 1, pelo menos cinco ciclos climáticos ocorreram nos últimos 500 milhões de anos, com variações de temperaturas superiores a 20°C. Certamente, entre os grandes ciclos, inúmeras variações, de menor duração e intensidade, devem ter ocorrido, como se observa no Gráfico 2, ao se

analisar os últimos 850 mil anos. Mediante análise dos cilindros de gelo de Vostok, corroborados por testemunhos geológicos, quatro períodos glaciais são reconhecidos, intercalados por períodos interglaciais quentes, causados por fatores exógenos. Entre os períodos glaciais e interglaciais, as variações de temperatura podem ter chegado a 12°C e o nível do mar oscilado em torno de 100 m. Igualmente, o conteúdo de CO₂ oscilou entre 200 e 280 ppmv e o de CH₄ entre 40 e 70 ppbv. Observa-se que, no momento, a Terra está chegando ao pico do último período interglacial, embora não seja possível precisar por quantos anos ainda as temperaturas continuarão a aumentar, para, em seguida, iniciar outro período glacial. Ao contrário do que prevêem os modelos climáticos, não carece de sentido a expectativa de alguns pesquisadores que, em breve as temperaturas começarão a declinar (MOLION, 2007). Ruddiman (2005) afirma que o efeito estufa induzido pelo homem adiou uma glaciação que já teria iniciado há 5 mil anos. Segundo este mesmo autor, atividades agrícolas

primitivas produziram gases estufa em quantidade suficiente para compensar a maior parte da tendência ao resfriamento durante o período pré-industrial, aquecendo o planeta em cerca de 0,8°C. Esse efeito de aquecimento antigo rivaliza com o aquecimento de 0,6°C medido no último século de industrialização rápida. Depois que a maior parte dos combustíveis fósseis for esgotada e o aumento da temperatura provocado pelos gases estufa chegar ao pico, a Terra vai retornar sua tendência ao resfriamento até a próxima glaciação que, agora, já teria sido adiada por milhares de anos (RUDDIMAN, 2005).

Quando se analisa uma curva de variação da temperatura no tempo, pode-se facilmente ser induzido a interpretações errôneas, por simples razões de escala. Na escala milenar (Gráfico 2), mais detalhada que a escala geológica (Gráfico 1), os dias atuais parecem situar-se no topo de um aquecimento quase exponencial iniciado há, aproximadamente, 50 mil anos. Não é o que se vê, quando se analisa a evolução da temperatura na escala milenar (Gráfico 3),

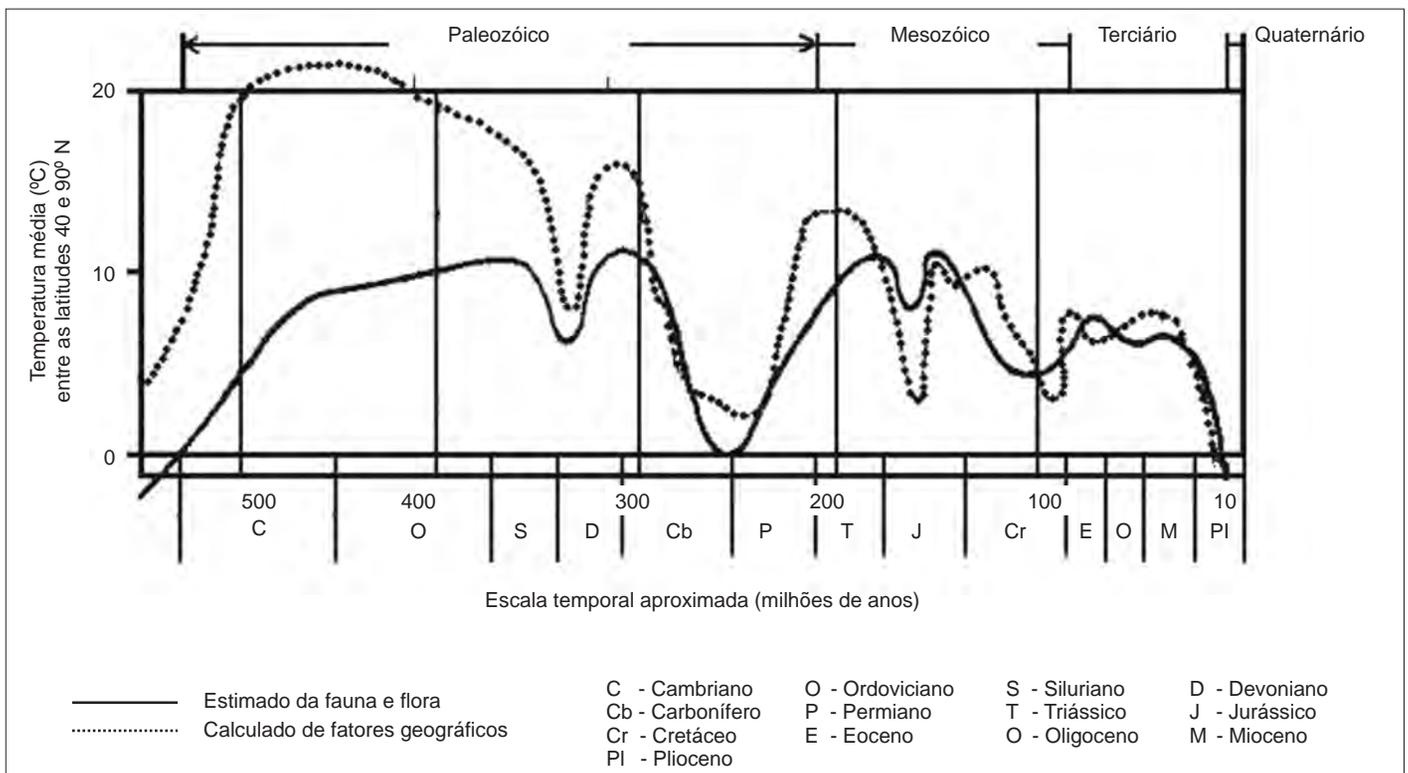


Gráfico 1 - Variações das temperaturas durante os períodos geológicos

FONTE: Roberts e Landsford (apud AYOADE, 2004).

iniciada há 18 mil anos, onde se destacam o máximo do Holoceno, o ótimo climático medieval e a pequena idade do gelo, períodos mais detalhados na escala secular (Gráfico 4). Contudo, na escala decadal, de 1850 aos dias atuais (Gráfico 5), observam-se variabilidades climáticas sobrepostas à curva ascendente do Gráfico 4. Na realidade, além do efeito estufa, outros fatores internos alteram o clima. Dentre eles, as variações do albedo planetário resultante da variação da cobertura de nuvens, da concentração de aerossóis vulcânicos na estratosfera e das características da cobertura superficial da Terra. Uma redução do albedo permite maior entrada de radiação no sistema e, conseqüentemente, aumento de temperatura, enquanto o aumento do albedo produz efeito contrário. Variações na circulação atmosférica, como, por exemplo, alterações na freqüência de ocorrência de eventos Enos causam mudanças significativas na temperatura global. Na década de 1980, ocorreram dois eventos Enos fortes, sendo o de 1982/1983 um dos mais fortes do século. Portanto, o aquecimento da década de 1980, que contrasta com o resfriamento a partir dos anos 50 (Gráfico 5), pode estar parcialmente relacionado com os eventos Enos, que, segundo Jones (1990 apud MOLION, 2007), sozinhos seriam responsáveis por 20% a 30% de variação da temperatura global. O papel dos oceanos na variabilidade climática ainda não é bem conhecido. Entretanto, sabe-se que existem mudanças de prazos mais longos, da ordem de milênios, nas circulações oceânicas de escala global, as quais influenciam fortemente a distribuição horizontal de calor sensível nos oceanos e, conseqüentemente, as temperaturas do ar, devido às variações nas trocas de calor entre o oceano e a atmosfera e o fato de os oceanos cobrirem 71% da superfície terrestre (MOLION, 2007). As erupções vulcânicas explosivas lançam grandes quantidades de aerossóis na atmosfera, aumentam o albedo planetário e podem causar resfriamento significativo durante décadas. Foi o que ocorreu com a erupção do Pinatubo, nas Filipinas, em 1991, que reduziu de 10 a 15 W/m² o saldo de

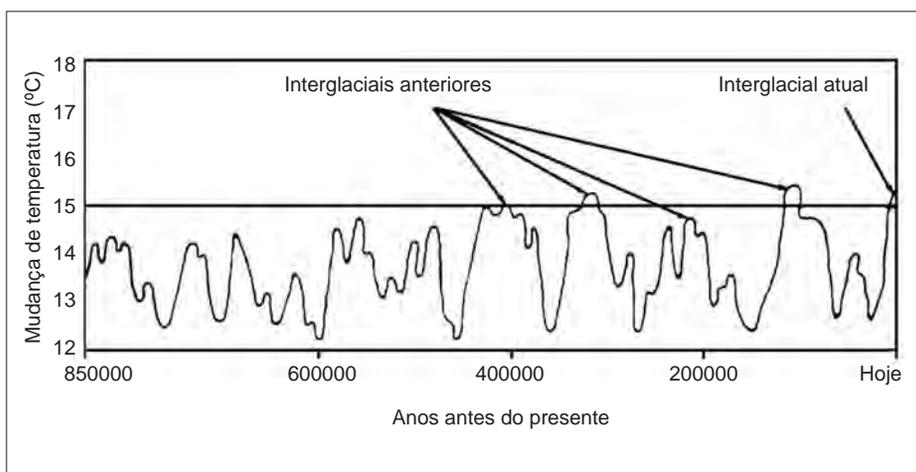


Gráfico 2 - Variações da temperatura do globo terrestre nos últimos 850 mil anos

FONTA: Roberts e Landsford (apud AYOADE, 2004).

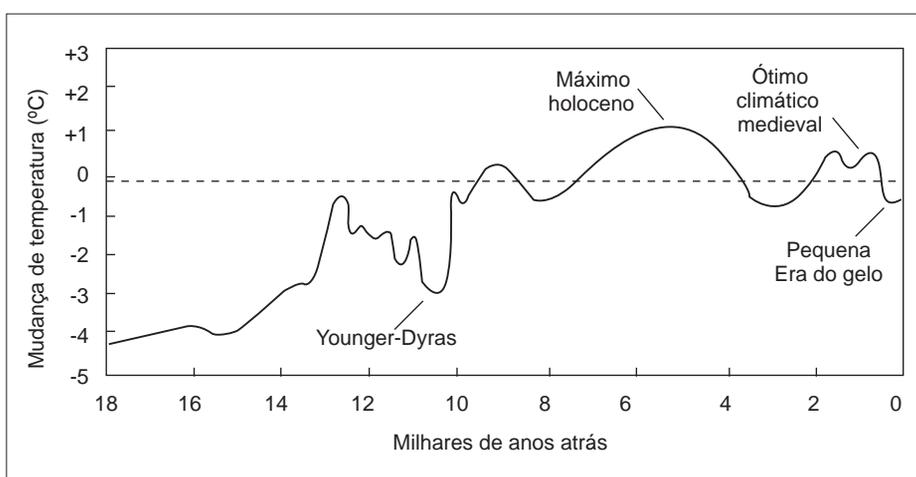


Gráfico 3 - Variação da temperatura da Terra em escala milenar

FONTA: Houghton et al. (apud IPCC, 1990).

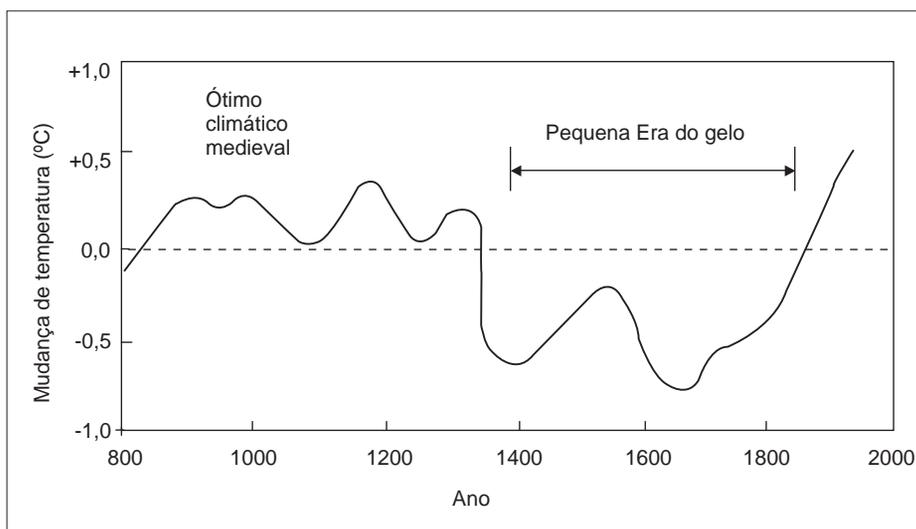


Gráfico 4 - Variação da temperatura do leste europeu em escala secular

FONTA: Houghton et al. (apud IPCC, 2001).

radiação planetária entre as latitudes 40°N e 40°S, durante meses. Bryson e Goodman (1987) mostraram que, no período de 1920 a 1950, a profundidade óptica da atmosfera esteve com os menores valores dos últimos 110 anos, diminuindo o albedo planetário e aumentando a entrada de radiação solar, explicando o aquecimento verificado entre 1920 e 1950 (Gráfico 5), quando a quantidade de CO₂ lançada na atmosfera era inferior a 15% da atual. Por outro lado, no auge do desenvolvimento econômico acelerado, entre 1950 e 1970, observou-se um resfriamento (Gráfico 5). Embora a concentração de CO₂ tenha efetivamente aumentado em 25% nos últimos 150 anos, tal fato pode ter sido o resultado de variações internas do sistema Terra-atmosfera. Como a temperatura dos oceanos aumentou, devido à redução do albedo planetário, somando-se a isso o aquecimento observado entre 1920 e 1950, a absorção de CO₂ pelos oceanos reduziu-se, resultando no maior armazenamento de CO₂ na atmosfera. Portanto, não se pode afirmar que foi o aumento de CO₂ que causou o aquecimento nas últimas décadas, podendo ter sido exatamente o contrário, ou seja, o aumento do CO₂ foi uma resposta ao aquecimento da atmosfera e dos oceanos. Por outro lado, não se deve esquecer que a Terra está atingindo o auge de um período interglacial, iniciado há aproximadamente 20 mil anos (Gráfico 2), que caracterizaria a verdadeira mudança climática. Nesse contexto, o que ora se discute no âmbito do IPCC (2007) não passaria de variabilidades climáticas sobrepostas ao ciclo inexorável das mudanças climáticas naturais observadas desde a era Paleozóica (Gráfico 1).

ALGUMAS EVIDÊNCIAS OBSERVACIONAIS DE VARIABILIDADES CLIMÁTICAS

O clima está em permanente variação desde a origem da Terra. A dificuldade consiste em trabalhar na escala apropriada para monitorar e identificar tais variações. Com a polêmica criada em torno da contribuição antropogênica nas mudanças climáticas globais, reforçou-se a necessidade de am-

pliar a rede de observações meteorológica, especialmente nos países em desenvolvimento e nas regiões remotas. No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) vem atuando na atualização e ampliação da rede nacional de observações desde 2000, quando foram instaladas as primeiras cinco unidades. No momento, mais de 300 esta-

ções meteorológicas automáticas acham-se distribuídas pelo território nacional, cada uma instalada, prioritariamente, no interior de quadrículas formadas por uma grade de 1° x 1° de latitude e longitude, prevendo-se chegar a 500 até o final de 2008. Como se vê na Figura 1, no estado de Minas Gerais, 52 estações automáticas foram acrescidas

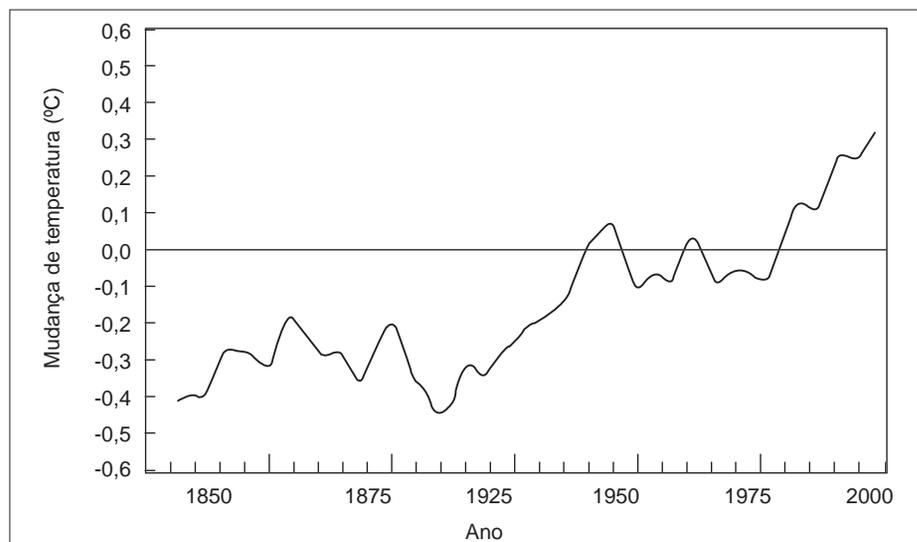


Gráfico 5 - Variação da temperatura da Terra em escala decadal, tendo como base 1951-1980

FONTE: Houghton et al. (apud IPCC, 2001).

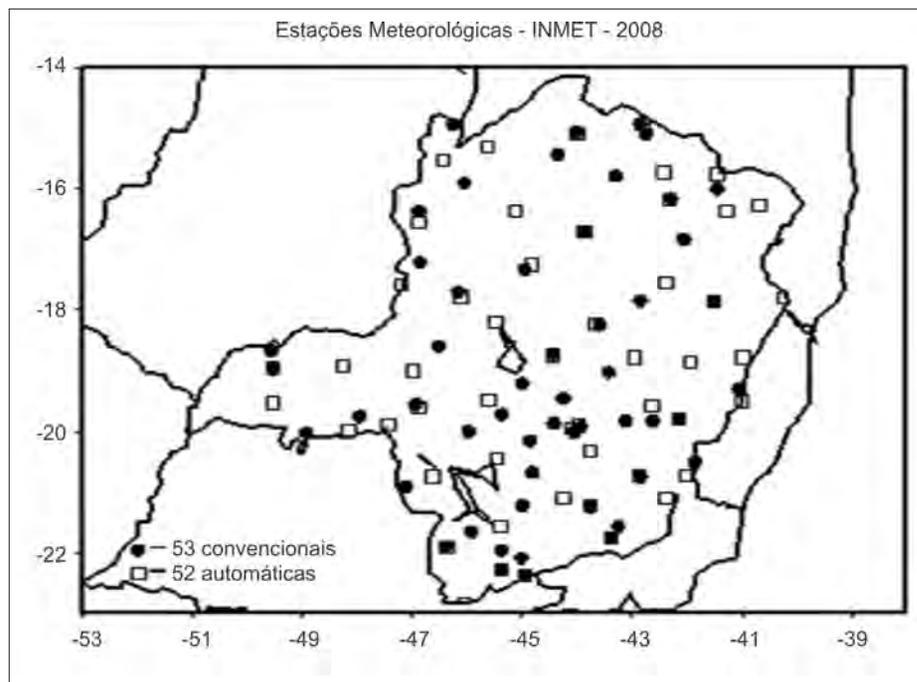


Figura 1 - Rede de Observações Meteorológicas do Inmet, em Minas Gerais, em março de 2008

FONTE: INMET – 5ª DISME (2008).

à rede de 53 estações meteorológicas convencionais preexistentes. Enquanto as convencionais realizam três observações diárias, às 12, 18 e 24 tempo universal (TU), as automáticas registram 24 medições diárias, disponíveis a quaisquer usuários em tempo real (INMET, 2006). Isso significa um salto extraordinário de qualidade e quantidade na cobertura observacional do estado de Minas Gerais. Entretanto, estudos climáticos com base na rede modernizada só poderão ocorrer no futuro.

A Organização Meteorológica Mundial está coordenando um esforço internacional, para que, em outras regiões, o mesmo avanço seja alcançado. Enquanto isso, as medições existentes são insuficientes para afirmar, sem contestação, que as mudanças climáticas globais estejam ocorrendo nas condições propugnadas pelos modelos e respaldadas pelo IPCC, ou seja, as médias evocadas para validar a tese pecam por falta de representatividade, tanto espacial quanto temporal. Apesar disso, inúmeros esforços vêm sendo feitos na tentativa de identificar eventuais mudanças em curso, desde a escala global até a local. Vincent (2005) estudou, estatisticamente, as noites e os dias quentes na América do Sul, concluindo que o porcentual de noites quentes vem aumentando desde 1960 em muitas estações, ocorrendo o inverso em relação às noites frias. Para as temperaturas máximas diárias, os índices encontrados não são consistentes. Como se vê no Gráfico 6 e Figura 2, as séries de dados disponíveis são escassas no espaço e no tempo, quase nada podendo ser deduzido em relação ao Brasil.

Numa tentativa de analisar possíveis mudanças climáticas ocorridas no território brasileiro, o Inmet realizou a subtração entre os campos médios climatológicos de 1961-1990 e 1931-1960. Como se observa na Figura 3, as anomalias encontradas não mostram padrões coerentes, chegando a conflitar com outros estudos. Marengo (2006) cita estudos que indicam tendências de aumento na temperatura do ar, nos últimos 100 anos, como de 0,6°C, em São Paulo; de 0,85°C, na Bacia Amazônica

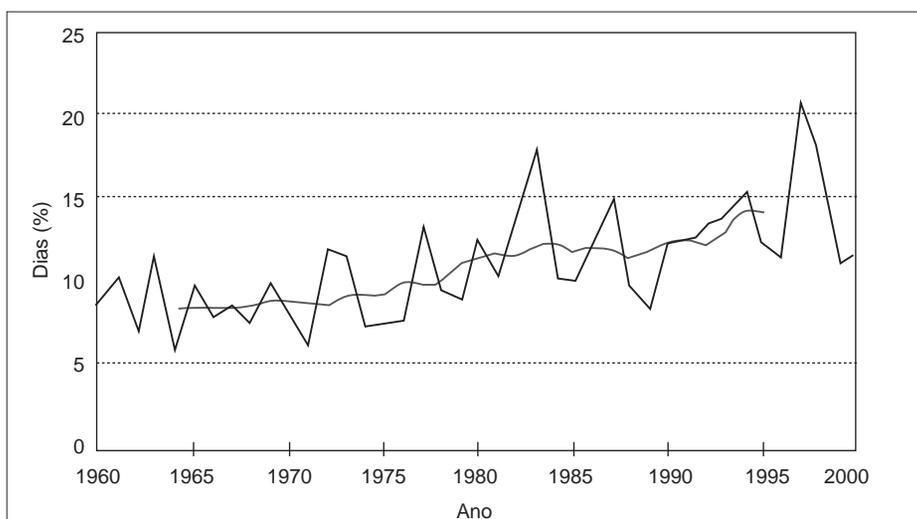


Gráfico 6 - Noites quentes na América do Sul - anos

FONTE: Vincent (2007).



Figura 2 - Noites quentes na América do Sul - temperatura

FONTE: Vincent et al. (2005).

(GASH et al., 2004), e de aumento nos extremos máximo e mínimo da temperatura do ar no sul do Brasil, durante o período de 1960-2002 (MARENGO, 2006). Na Figura 3, o estado de São Paulo, uma das regiões mais habitadas do País, onde o efeito estufa deveria produzir forte aquecimento, aparece com anomalias negativas de temperaturas que chegam a 2°C, em contraste com Minas Gerais, onde teria ocorrido um aquecimento de até 2°C. Não menos incoerentes são os desvios da precipitação. Na subtração dos campos, o Nordeste brasileiro estaria registrando elevação das chuvas, chegando a 300 mm anuais, ao contrário do que foi divulgado no último relatório de IPCC (2007), segundo o qual o Nordeste sofrerá redução das precipitações, o que o levará à condição de aridez. Até que ponto os campos de anomalias podem ser atribuídos à escassez, à má qualidade das observações e aos problemas de interpolações? Ainda assim, são dados observados há mais de 60 anos, largamente usados em pesquisas e em validações de modelos.

TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS EM MINAS GERAIS

Minuzzi et al. (no prelo), usando dados observados na rede de estações meteorológicas do Inmet, estudaram tendências de mudanças climáticas em Minas Gerais e usaram o coeficiente angular da análise de regressão e o coeficiente de Mann-Kendall, para analisar tendências climáticas mensais da temperatura máxima, da temperatura mínima, da insolação e do conteúdo de vapor d'água, em algumas localidades do estado de Minas Gerais. Ambos os testes estatísticos foram aplicados para dois diferentes períodos (1961 a 2004) e (1981 a 2004), visando detectar também a persistência da tendência. As lacunas de observações foram preenchidas com dados de estações meteorológicas vizinhas, valendo-se do método de regressão linear, considerando $r^2 \geq 0,7$ como critério para o aceite da série vizinha. O teste não-paramétrico denominado *run test*, ou teste de seqüência, foi aplicado para

avaliar a consistência mensal das séries meteorológicas. Para a pressão de vapor d'água, foi descartada a série mensal na qual os extremos máximo e mínimo da temperatura do ar foram considerados inconsistentes. Os coeficientes angulares

foram significativos a 5% e a tendência foi considerada significativa, quando se verificou consenso entre a análise de regressão e o coeficiente de Mann-Kendall. A Figura 4 mostra a distribuição espacial das localidades estudadas.

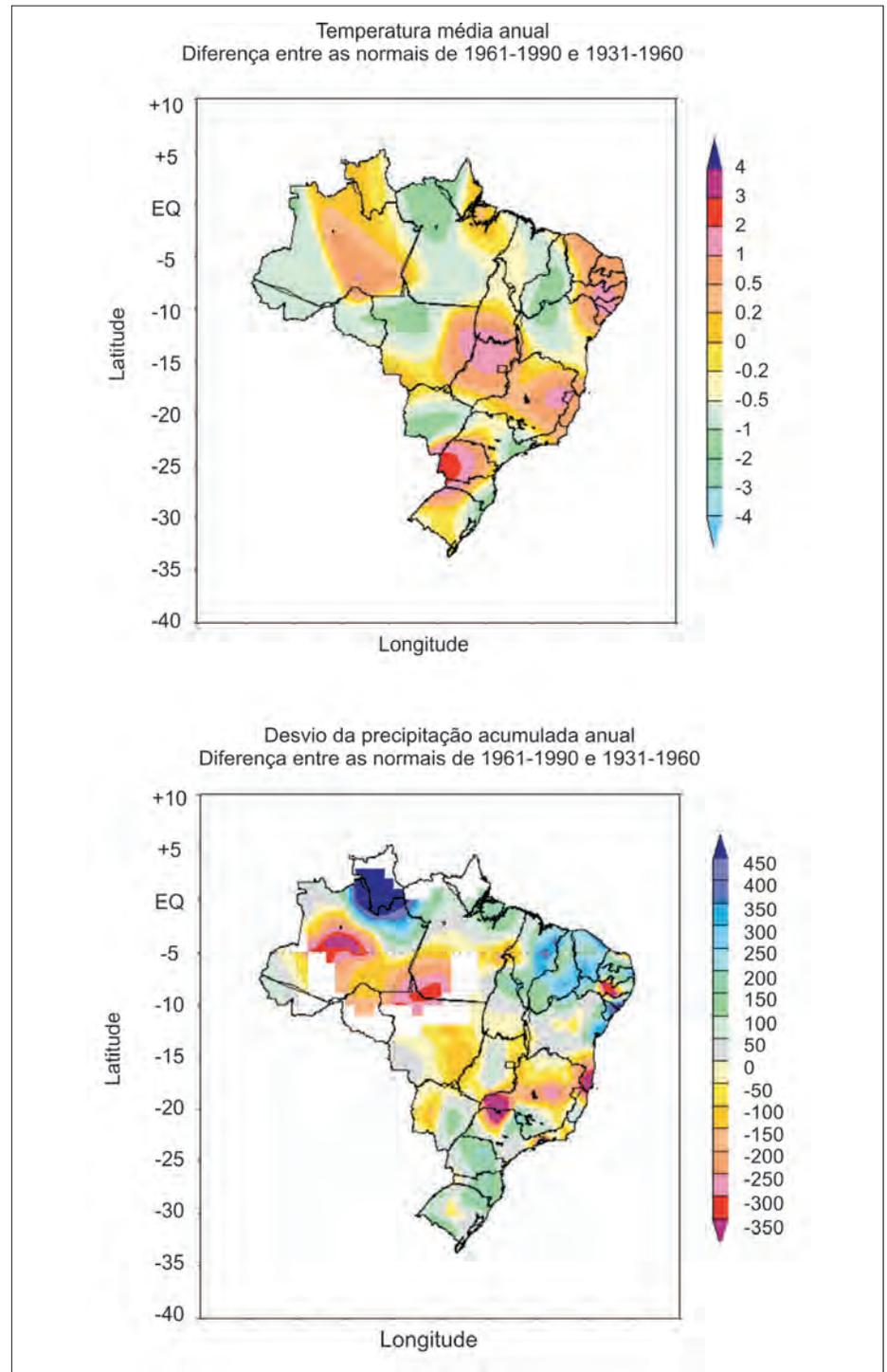


Figura 3 - Subtração dos campos climatológicos entre 1961-1990 e 1931-1960, para a temperatura média anual e a precipitação acumulada

FONTE: INMET (2007).

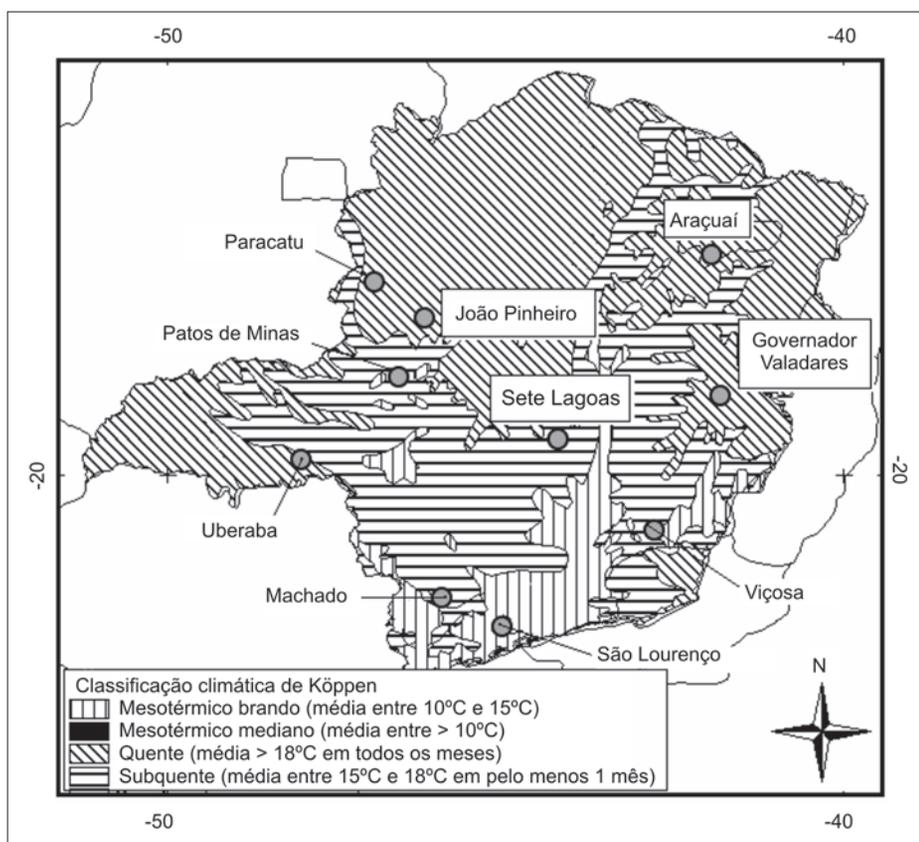


Figura 4 - Localização geográfica das estações meteorológicas estudadas em Minas Gerais

FONTES: Minuzzi et al. (2007).

Para a temperatura máxima, foram observadas somente tendências positivas, a maioria no período de 1961 a 2004. Dezembro mostrou ser o mês com maior persistência na tendência em Minas Gerais, sendo Araçuaí, o município com valores mais elevados em ambos os períodos, variando de 2,8°C, entre 1961 e 2004, e de 2,6°C, entre 1981 e 2004. Por outro lado, Araçuaí e Uberaba foram os municípios com menores números de tendências significativas. Merece também destaque a região compreendida pelos municípios de João Pinheiro, Paracatu e Patos de Minas, notadamente no início da estação chuvosa (setembro a novembro), tanto na persistência quanto nos valores crescentes. Para setembro, por exemplo, a temperatura máxima subiu 2°C e 2,9°C, em João Pinheiro; 4,1°C e 3,8°C, em Paracatu e, 1,6°C e 2°C, em Patos de Minas, nos períodos 1961 a 2004 e 1981 a 2004, respectivamente. O número reduzido de dados e a inconsis-

tência das séries dificultaram conclusões mais precisas quanto à tendência das temperaturas máximas.

Os Gráficos 7 e 8 mostram o comportamento temporal da temperatura máxima em duas situações com tendências persistentes, sendo o mês de outubro, para o município de João Pinheiro (Gráfico 7) e dezembro para o município de Machado (Gráfico 8), respectivamente. Em ambos os casos, percebem-se algumas semelhanças na amplitude da temperatura máxima, tais como a maior ocorrência na década de 1960, com valor máximo no ano de 2002, ocorrendo aí o maior registro dos últimos 43 anos analisados; adicionalmente, observam-se apenas dois registros abaixo da média climática nos últimos dez anos.

À semelhança da temperatura máxima, a mínima também mostrou tendências positivas, com destaque para o município de Viçosa, com tendências significativas em sete, dos nove meses analisados, para

o período de 1961 a 2004. Em Governador Valadares, as tendências positivas ocorreram no período de 1981 a 2004. Quanto à persistência das tendências, foram registradas somente no município de Machado, em dezembro e janeiro, com aumento entre 1°C e 1,3°C, respectivamente, nos últimos 43 anos de estudo. Ressalte-se que Uberaba foi o município de menor número em tendências significativas para os extremos da temperatura (apenas uma tendência por variável). Nos demais municípios, houve predomínio, em quase totalidade, de tendências significativas apenas no período de 1961 a 2004.

Os valores observados da temperatura mínima para dois meses representativos do inverno (julho) e verão (dezembro) são apresentados nos Gráficos 9 e 10, respectivamente, para os municípios de Viçosa e Machado. Assim, como analisado para a temperatura máxima, o extremo mínimo da temperatura do ar nos referidos meses teve o maior registro das séries no ano de 2002, sendo de 12,6°C, em Viçosa, e de 18,9°C, em Machado.

Outro detalhe importante a ser ressaltado refere-se à menor oscilação interanual da temperatura mínima média de dezembro, observada em Machado, a partir da década de 1990. Nesse período, apenas em duas situações os registros estiveram abaixo do intervalo da média climática.

Sendo uma variável dependente da temperatura do ar, a pressão do vapor também mostrou tendências positivas, exceto no município de Uberaba, a partir da década de 1980. Em Viçosa, observou-se aumento no vapor d'água entre 0,35 mb/década e 0,6 mb/década, de janeiro a junho; em Machado, de 0,54 mb/década a 0,88 mb/década, em dez dos 11 meses analisados. Resultados semelhantes foram encontrados numa região Semi-Árida da Turquia, com o uso de três diferentes testes não-paramétricos. Tonkaz et al. (apud MINUZZI et al., no prelo) encontraram, na maioria das estações analisadas, um aumento linear da pressão de vapor, em três diferentes períodos (1978 a 1984, 1984 a 1997 e 1997 a 2002), em especial

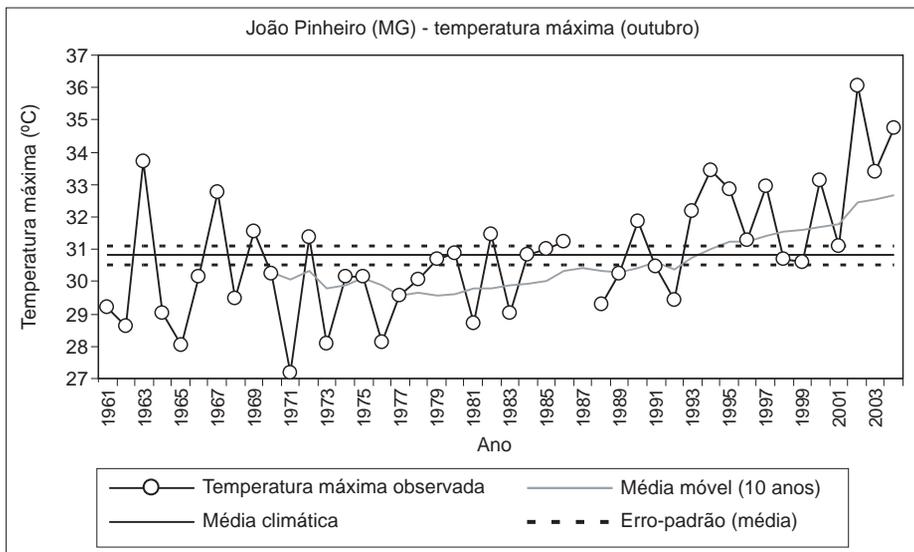


Gráfico 7 - Comportamento temporal da temperatura máxima em outubro, para o município de João Pinheiro, MG

FONTE: Minuzzi et al. (2007).

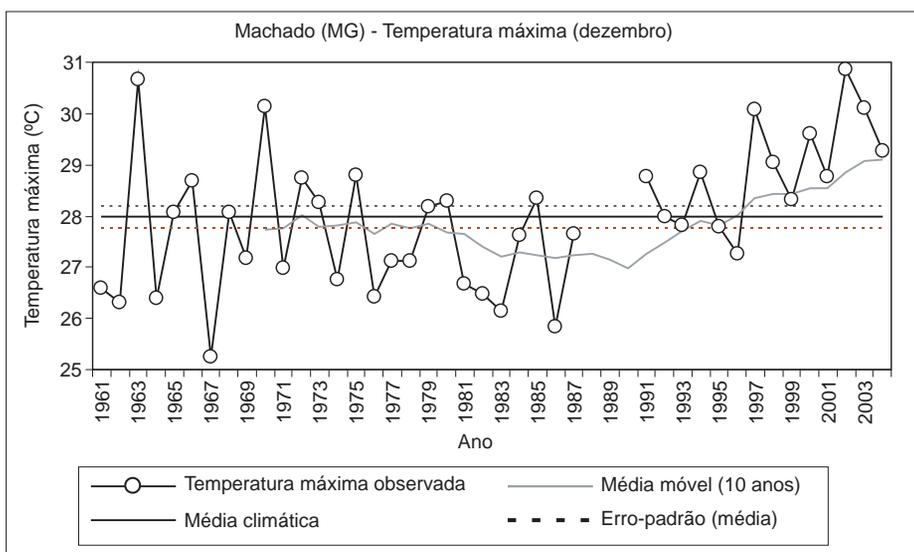


Gráfico 8 - Comportamento temporal da temperatura máxima em dezembro, para o município de Machado, MG

FONTE: Minuzzi et al. (2007).

no verão, seguindo-se do outono. Tonkatz et al. (apud MINUZZI et al., no prelo) atribuíram à construção de barragens, início das práticas de irrigação em grande escala, mudanças nos padrões de cultivo agrícola e nos padrões globais, as principais causas de tais aumentos no vapor d'água. Em escala global, Willet et al. (apud MINUZZI et al., no prelo), ao usarem dados obtidos em estações meteorológicas, navios e bóias localizadas em diversos pontos, constataram uma tendência de aumento do vapor

d'água de 2,2%, em quase todo o globo, entre 1976 e 2004, exceto na Austrália e no Oceano Ártico.

Em Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais (Gráfico 11), o comportamento temporal do vapor d'água, em um dos meses que mostrou tendência significativa apenas no período de 1961 a 2004, é comparado com uma tendência persistente em julho, em Machado (Gráfico 12). Nota-se, que esse município do Sul de Minas Gerais, em um período que se estende até meados da

década de 1980, apresenta valores predominantemente abaixo da média climática, ocorrendo o oposto, a partir da década de 1990. Em Viçosa, dois anos seguidos de 1989 e 1990 mostraram valores significativamente inferiores e, na seqüência, valores próximos à média climática, o que, provavelmente, interrompeu a persistência na tendência de aumento do vapor d'água, o que vinha sendo observado desde 1961. Esta afirmação é reforçada pelo comportamento da média móvel de 10 anos que, praticamente, manteve-se dentro do intervalo da média climática durante os anos de 1990.

A insolação foi a variável com o menor número de tendências significativas e de maior oscilação de sinais, em uma mesma estação e entre estações distintas. Machado, por exemplo, mostrou tendências negativas em maio e julho, de 1961 a 2004. Os resultados conflitantes podem estar associados ao excessivo número de séries inconsistentes. Destaca-se que este parâmetro possui razoável subjetividade em sua computação. A simples substituição de um observador, indevidamente treinado, pode implicar em mudanças de critério na contabilização do número de horas de brilho solar, comprometendo a consistência das observações. Em três grandes cidades do leste da China, Zhang et al. (2004 apud MINUZZI et al., 2007) constataram um decréscimo da radiação solar global e direta, atribuindo à aceleração da poluição do ar e à diminuição da insolação como possíveis causas do fenômeno.

Em suma, os resultados evidenciaram uma tendência de aumento das temperaturas máximas e mínimas, embora pouco persistentes. Isso significa que tais aumentos podem não ocorrer no futuro, a menos que estejam associados a flutuações de escalas temporais não perceptíveis no período analisado, de 43 anos. Constatou-se também uma tendência de aumento do vapor d'água em todas as localidades, exceto em Uberaba. Nesta localidade, verificou-se o menor número de tendências significativas de aumento das temperaturas e tendências de decréscimo de vapor d'água. No geral,

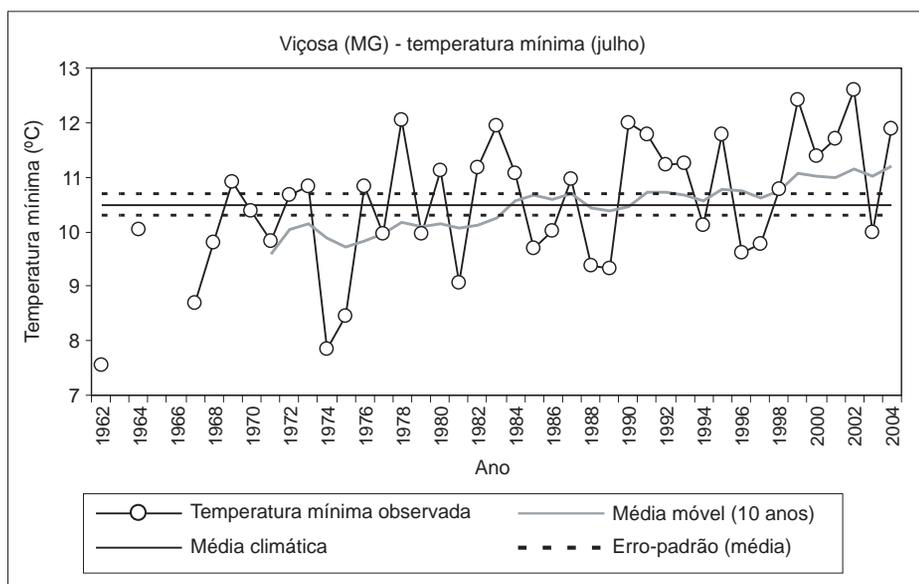


Gráfico 9 - Comportamento temporal da temperatura mínima em julho, para o município de Viçosa, MG

FONTE: Minuzzi et al. (2007).

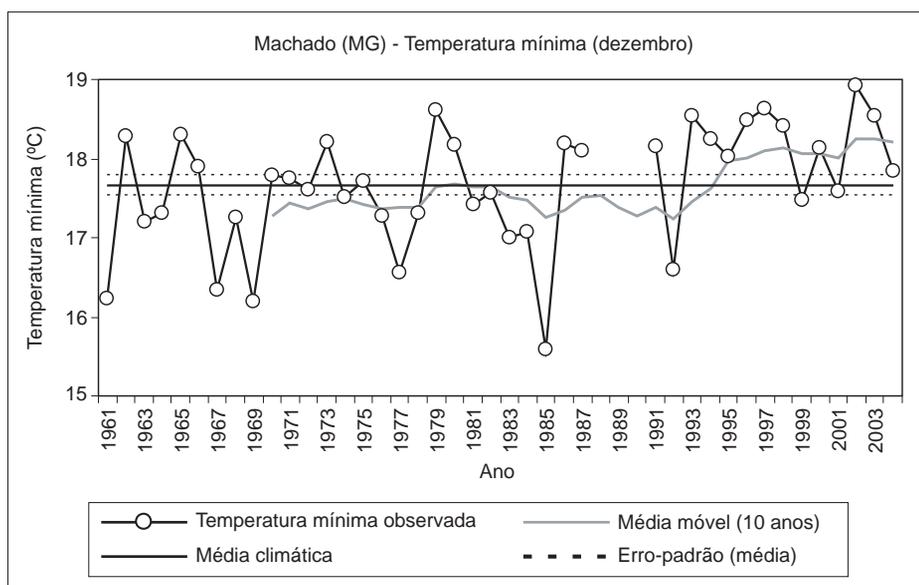


Gráfico 10 - Comportamento temporal da temperatura mínima em dezembro, para o município de Machado, MG

FONTE: FONTE: Minuzzi et al. (2007).

os resultados encontrados mostram certa coerência, considerando as relações termodinâmicas entre temperatura e pressão de vapor.

Para o aumento da temperatura e conseqüente aumento da pressão de vapor, pode-se especular pela participação do fator antropogênico, que gera um mecanismo de realimentação, ou seja, a maior

concentração de poluentes no ar, como o CO₂, captaria mais energia, aquecendo mais a atmosfera, aumentando a evaporação e o vapor d'água atmosférico, que captaria mais energia, aquecendo ainda mais a atmosfera. Seguindo esse raciocínio, Easterling et al. (1997 apud MINUZZI et al., 2007) analisaram as tendências nos extremos da temperatura do ar global e

a conseqüente implicação na amplitude térmica. Com dados de 5.400 estações meteorológicas distribuídas pelo mundo, (54% da superfície terrestre), encontraram uma tendência de aumento da temperatura máxima de 0,88°C/século. Com o aumento da temperatura mínima de 1,86°C/século, ficou constatado um decréscimo da amplitude. Os resultados foram semelhantes, quando analisado o efeito urbano, ou seja, considerando somente estações meteorológicas localizadas em cidades com populações acima de 50 mil (1.300 estações). Na América do Sul, para o aumento significativo da temperatura mínima, principalmente a partir da década de 1970, os cientistas apontaram como fator principal, o aumento da nebulosidade.

Por outro lado, a variabilidade dos resultados nas tendências mensais, entre os períodos estudados (1961 a 2004 e 1981 a 2004), entre as estações e, em algumas situações, nos sinais das séries de uma mesma estação, permite especular pela hipótese de mudanças microclimáticas associadas, principalmente, às mudanças no ambiente em torno das estações. Não menos importante é a hipótese de erros observacionais causados por falhas humanas, por manutenção deficiente de equipamentos e por discontinuidades das observações. Ainda que se usem métodos estatísticos para o preenchimento de séries incompletas e que se façam análises de consistências, os dados finais disponíveis tornam-se precários ou insuficientes, impedindo análises mais amplas, consistentes e resultados mais confiáveis. Por essas razões, inúmeras localidades deixaram de ser analisadas. Mesmo com o preenchimento de lacunas nas séries, não houve dados suficientes para realizar análises mensais de temperatura máxima, em Governador Valadares; de temperatura mínima, em João Pinheiro, Patos de Minas, Paracatu e Sete Lagoas; de insolação, em Araçuaí, Patos de Minas, Paracatu e São Lourenço; de pressão de vapor, em Araçuaí, Patos de Minas, Paracatu, São Lourenço, Governador Valadares e Sete Lagoas.

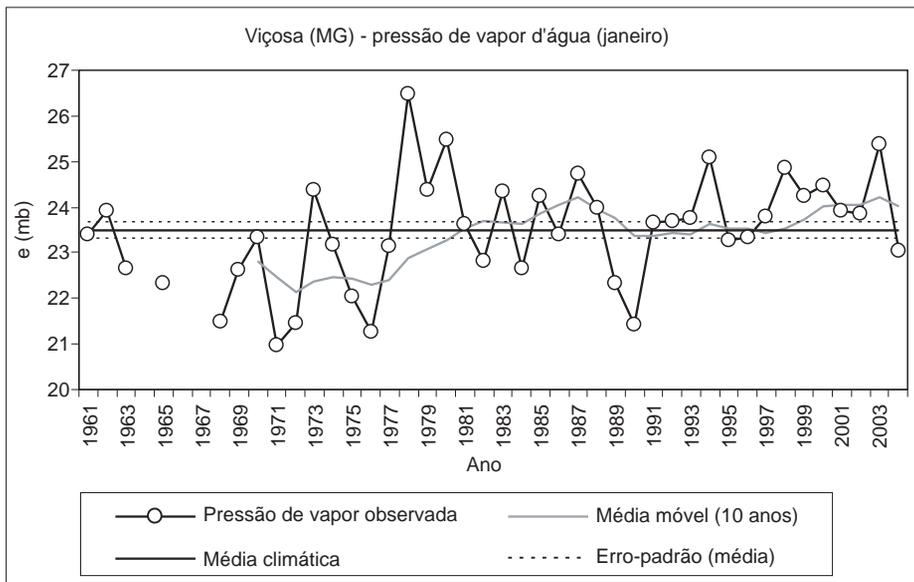


Gráfico 11 - Comportamento temporal da pressão de vapor d'água em janeiro, para o município de Viçosa, MG

FONTE: Minuzzi et al. (2007).

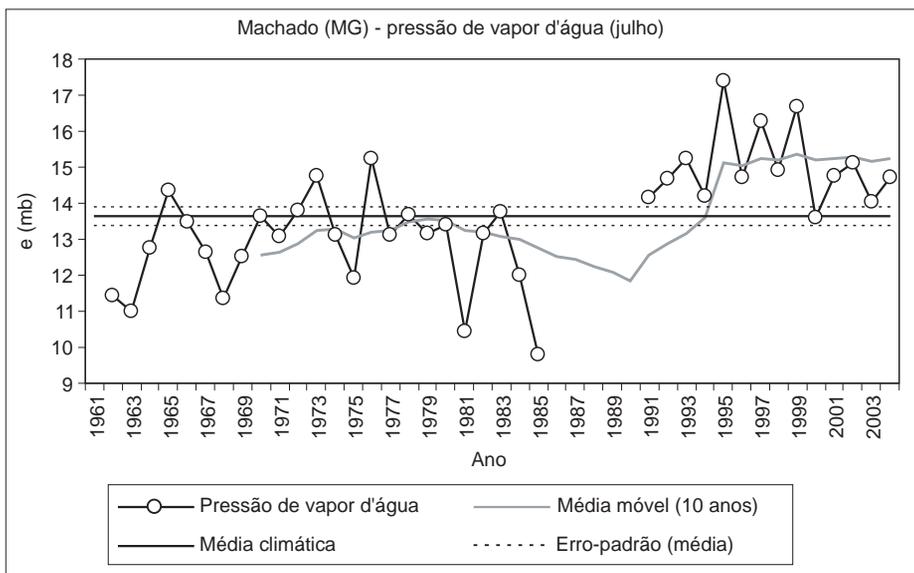


Gráfico 12 - Comportamento temporal da pressão de vapor d'água em julho, para o município de Machado, MG

FONTE: Minuzzi et al. (2007).

Para as localidades estudadas, as principais conclusões foram as seguintes:

- a) os extremos máximo e mínimo da temperatura do ar mostraram tendência de aumento desde a década de 1960, porém, a persistência das tendências restringe-se a algumas localidades e períodos limitados;

- b) o maior número de tendências significativas e persistentes, da temperatura máxima, ficou centrado entre setembro e dezembro, principalmente durante o último mês do ano. Os aumentos desta variável meteorológica, no período de 1961 a 2004, oscilaram entre 0,26°C/década e 0,96°C/década;

- c) o predomínio de aumento na tendência da quantidade de vapor d'água é coerente com o aumento observado nos extremos máximo e mínimo da temperatura do ar;
- d) o município de Uberaba foi o que contabilizou o menor número de tendências significativas da temperatura do ar, bem como, o único a apresentar tendência de decréscimo no conteúdo de vapor d'água, a partir da década de 1980;
- e) houve poucas indicações de tendências significativas para a insolação, sendo que, quando analisadas a partir da década de 1960, tais tendências foram de decréscimo e, a partir da década de 1980, tornaram-se de acréscimo;
- f) é necessário investir mais na coleta e na qualidade dos dados, para que estudos mais abrangentes possam responder à questão fundamental das mudanças e variabilidades climáticas, ora colocada pelos cientistas e de vital importância para a humanidade.

A tentativa de subtrair os campos climatológicos para Minas Gerais, (1961-1990) menos (1931-1960), mostrou resultados espacialmente inconsistentes diante do reduzido número de séries disponíveis e às técnicas de interpolações exigidas. Para as 12 únicas séries completas, optou-se por fazer um tratamento estatístico do viés, tomando-se os valores médios mensais e o período 1931-1960 como referências. Os resultados mostraram que os sinais do viés são predominantemente positivos, indicando um aumento das temperaturas mínimas da ordem de 0,92°C, superiores no período 1961-1990 em relação ao 1931-1960. O aumento das temperaturas máximas situou-se em torno de 0,38°C e das médias, em 0,47°C. Apesar da escassez dos dados analisados, tais resultados são coerentes com os resultados anteriormente discutidos e com a tendência dos índices de

temperaturas extremas diárias na América do Sul, no período 1960-2000 (VINCENT, 2005).

Impactos das mudanças climáticas na agricultura de Minas Gerais

Numa tentativa de avaliar o impacto das mudanças climáticas, Oliveira (2007) simulou alterações na produtividade das culturas do feijão e do milho, para os anos 2020, 2050 e 2080, comparadas ao ano base 2000, para diferentes mesorregiões de Minas Gerais. Para tal, utilizou-se o modelo de circulação geral da atmosfera desenvolvido pelo Hadley Center, HadCM3, alimentado com dados diários de temperaturas média, mínima e máxima e insolação, para 19 estações meteorológicas convencionais da rede do Inmet, cobrindo o ano agrícola 1999/2000. Nas simulações, os dados meteorológicos foram projetados para o cenário A2 do IPCC, acrescentando os efeitos de fertilização por CO₂ e o avanço tecnológico. Quando foram considerados apenas os efeitos do aumento das temperaturas e de fertilização do CO₂, a produtividade potencial sofreu acentuada

redução em todas as mesorregiões. Entretanto, ao ser acrescentado também o avanço tecnológico, as simulações mostraram um aumento da produtividade potencial em relação ao ano-base 2000, para a cultura do feijão, de 35,04% a 114,66% e, para a cultura do milho, de 40,76% a 92,59%, dependendo do ano estimado e da mesorregião, como se vê no Quadro 1.

Conseqüentemente, o avanço tecnológico mostrou-se capaz de reverter os prejuízos causados por mudanças climáticas geradas por um drástico cenário, com ganhos que chegam a superar 100%. Embora a avaliação dos impactos causados pelas mudanças climáticas na agricultura estejam ainda em estágio inicial de pesquisas, longe de apresentar respostas definitivas, os resultados aqui apontados indicam possíveis graves equívocos, que alguns autores vêm cometendo ao realizar simulações simplórias de aumentos de temperaturas e de variações pluviiais, gerando resultados alarmistas. Mais grave ainda é a ampla divulgação dos resultados equivocados, por parte da mídia, podendo induzir tomadores de decisão mal assessorados

a adotar políticas públicas igualmente equivocadas. Mudança climática é um fenômeno que acompanha a Terra desde sua origem, não ocorrendo em saltos, mas de forma bastante suave. Por outro lado, a natureza possui eficientes mecanismos de evolução e de adaptação, e o homem, nos dias atuais, domina técnicas sofisticadas capazes de desenvolver novas variedades de sementes aptas à sobrevivência em condições climáticas futuras. Portanto, mais que as mudanças climáticas, as anomalias climáticas e os eventos extremos de curto prazo têm-se mostrado mais ameaçadores à agricultura, gerando uma cadeia de perdas de ordem financeira e social. Alguns destes eventos podem ocorrer quase pontual e instantaneamente, como tempestades locais severas de curta duração, provocando danos irreparáveis a campos de cultivos inundados ou submetidos a danos mecânicos causados por vendavais ou quedas de granizo. Em outros casos, eventos de escala diária podem estender-se por grandes áreas, como uma forte geada, destruindo lavouras perenes, como o café. Há, contudo, outros fenômenos que podem ser classificados como anomalias climáticas, geralmente de maior duração, de ordem de grandeza mensal, sazonal ou anual, ocorrendo em pequenas ou grandes regiões e associando-se a diversos elementos climáticos, como é o caso de secas de grandes proporções ou mesmo alteração do regime térmico e pluvial numa única estação.

Alguns impactos de anomalias climáticas na agricultura de Minas Gerais

A estação chuvosa em Minas Gerais ocorre entre os meses de outubro a março, sendo os meses de setembro e abril períodos de transição do inverno para o verão e do verão para o inverno, respectivamente. Sobrepostas à média climatológica, ocorrem variações sazonais que podem ser de grande intensidade. Foi o caso do verão anômalo 2005-2006, que se caracterizou pela escassez de chuvas em pleno período agrícola, cujas conseqüências recaíram

QUADRO 1 - Projeção de variações percentuais médias na produtividade potencial, para a cultura do feijão e do milho, simuladas a partir de dados diários para o cenário A2 do modelo HadCM3, considerando o efeito fertilização por CO₂ e o avanço tecnológico

Mesorregiões	Feijão			Milho		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
Zona da Mata	48,52%	85,81%	90,70%	67,71%	85,73%	78,62%
Vale do Jequitinhonha	41,63%	67,42%	87,59%	40,76%	51,90%	65,28%
Triângulo/Alto Paranaíba	50,57%	73,28%	104,87%	56,83%	84,74%	84,29%
Sul/Sudoeste	35,04%	64,79%	76,47%	55,41%	75,66%	63,98%
Campos das Vertentes	38,04%	62,48%	65,43%	43,52%	69,16%	58,15%
Metropolitana	50,15%	78,47%	92,07%	63,43%	75,94%	80,81%
Central Mineira	56,69%	87,34%	114,66%	68,61%	79,13%	92,59%

FONTE: Oliveira (2007).

sobre as safras, com perdas significativas (VIANELLO et al., 2006). Além da anomalia pluviométrica, variações térmicas, igualmente anômalas, provocaram danos consideráveis na cultura do café.

A estação chuvosa 2004-2005 foi marcada por deficiências pluviais acentuadas, deixando as reservas hídricas dos solos abaixo da normalidade. Já em outubro de 2005, início da próxima estação chuvosa, a tragédia se anunciava com cores mais fortes, revelando-se negativamente. Todo o Estado conheceu anomalias negativas, sendo as regiões Noroeste, Norte e Leste as mais atingidas. Após novembro, com chuvas abundantes, dezembro apresentou chuvas reduzidas, especialmente no Norte, Centro, Triângulo e Sul. Nos dois meses seguintes, janeiro e fevereiro de 2006, o Estado foi assolado por temperaturas anormalmente altas e escassez de chuvas, com apenas alguns períodos intercalados de chuvas isoladas. A Figura 5 mostra a distribuição espacial do veranico forte que ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro, principal responsável pela acentuada quebra de safra para as culturas de subsistência arroz, feijão e milho. Para o café, a forte estiagem coincidiu com a fase fenológica da granação (enchimento dos grãos), reduzindo o tamanho dos grãos ou ocasionando o chochamento, fenômenos que levaram à quebra da safra 2006-2007. O veranico nos meses de janeiro e fevereiro foi mais grave nas regiões Norte, Nordeste, Noroeste, Leste, Zona da Mata e Centro, variando de 26 dias, no Noroeste, Mata e Centro, a 42 dias, nos Vales dos Rios Jequitinhonha, Mucuri e Doce.

O Gráfico 13 mostra a marcha mensal das temperaturas na localidade de Machado, de julho de 2005 a fevereiro de 2007, localidade assumida como representativa do Sul de Minas. Embora as temperaturas médias dos meses de janeiro, fevereiro e março de 2006 tenham estado próximas da normalidade, as máximas colocaram-se ligeiramente acima. Nos meses de junho, julho e agosto de 2006, tanto as médias quanto as mínimas situaram-se abaixo dos valores normais. As grandes oscilações

térmicas diurnas são consideradas pelos cafeicultores como um grande vilão, capaz de interferir negativamente na fisiologia da planta e na iniciação floral. Por isso, a safra 2007/2008 já estava comprometida a partir de janeiro de 2006, com as grandes oscilações térmicas diárias, agravando-se

com a deficiência hídrica a partir de março. Estas duas variáveis foram, certamente, as que mais penalizaram a safra 2007/2008. Acentue-se que tais condições ambientais não ocorreram somente no Sul de Minas, mas também em outras regiões do Estado, com diferentes intensidades.

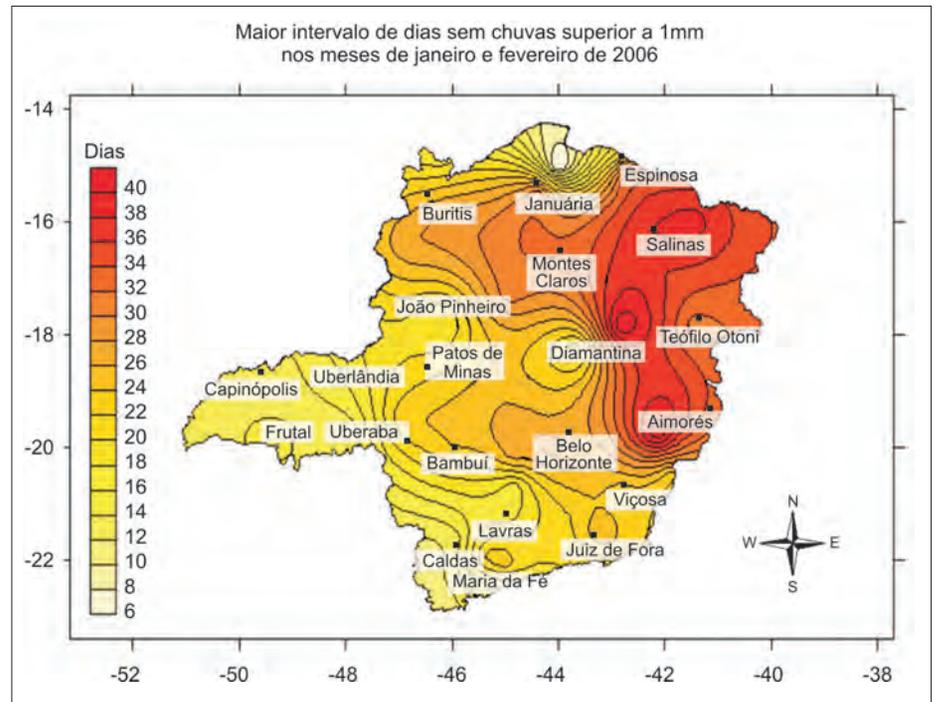


Figura 5 - Distribuição espacial do veranico ocorrido em janeiro e fevereiro de 2006
 FONTE: Vianello et al. (2006).

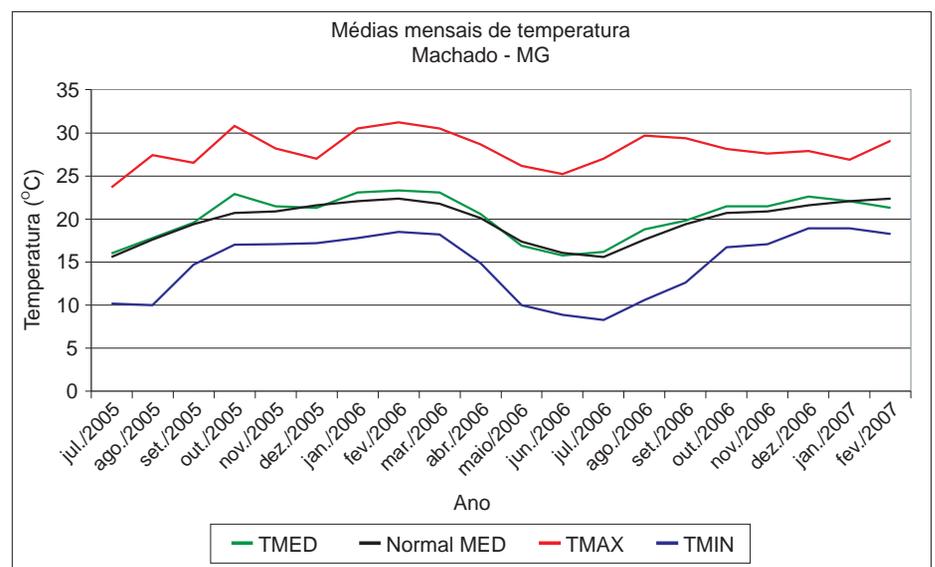


Gráfico 13 - Marcha das temperaturas (T) em Machado - MG - julho de 2005 a março de 2007

FONTE: Vianello et al. (2007a).

Climatologicamente, o balanço hídrico para o Sul de Minas mostra pequeno período de déficit hídrico nos meses de julho e agosto. Tomando Machado como referência, seu déficit climatológico anual é da ordem de 10 mm, ao contrário do que mostra o Gráfico 14, nos anos de 2005, com deficiências de abril a novembro e, 2006, de janeiro a novembro, com algumas interrupções. Para destacar a gravidade da deficiência hídrica, observa-se que, durante 2006, em Machado, o déficit acumulado chegou a 153,7 mm e, segundo dados da Fundação Procafé⁴, em Varginha, o déficit de 2006 atingiu 291 mm. Assim, o longo período de deficiência hídrica em 2005, aliado à ocorrência de temperaturas extremas, provocou quebra na safra de 2006/2007, situação que voltou a ocorrer com a safra 2007/2008, esta última agrava-

da, para o café, pelo fator bienalidade que, em condições normais, já teria uma safra reduzida em até 30%.

As conseqüências das anomalias climáticas para algumas culturas agrícolas de Minas Gerais podem ser visualizadas no Gráfico 15. Comparando a Figura 5 e o Gráfico 15A, pode-se observar que as quebras agrícolas mais pronunciadas, para as culturas do arroz, milho e feijão, típicas de subsistência e de sequeiro, ocorreram exatamente nas regiões mais atingidas pelo longo veranico, com perdas que chegaram a superar 90%, em especial ao Norte, Nordeste (Vales do Jequitinhonha e Mucuri) e Leste (Vale do Doce).

Para a cultura do café (Gráfico 15B), considerando-se apenas o Sul de Minas e o Centro-Oeste, regiões de maior produção de Minas Gerais, as perdas foram

estimadas entre 48,6% e 49,1%. Em outras regiões do Estado, as estimativas de perdas foram igualmente significativas, ou seja, entre 31,8% e 38,7% no Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste, entre 11,8% e 16,1%, na Zona da Mata, Jequitinhonha, Mucuri, Rio Doce, Central e Norte (CONAB, 2006).

As perdas financeiras, em todo o Estado, para as culturas do arroz, feijão, milho, soja e algodão ultrapassaram 533 milhões de reais, tendo recaído mais de 50% sobre a cultura do milho (275 milhões), produto típico da agricultura de subsistência mineira, cultivado em todo o Estado.

Para o café, safra 2007/2008, as perdas estimadas para Minas Gerais, Estado responsável por, aproximadamente, 43% da produção nacional, chegaram a 1,895 bilhão de reais (VIANELLO et al., 2007b).

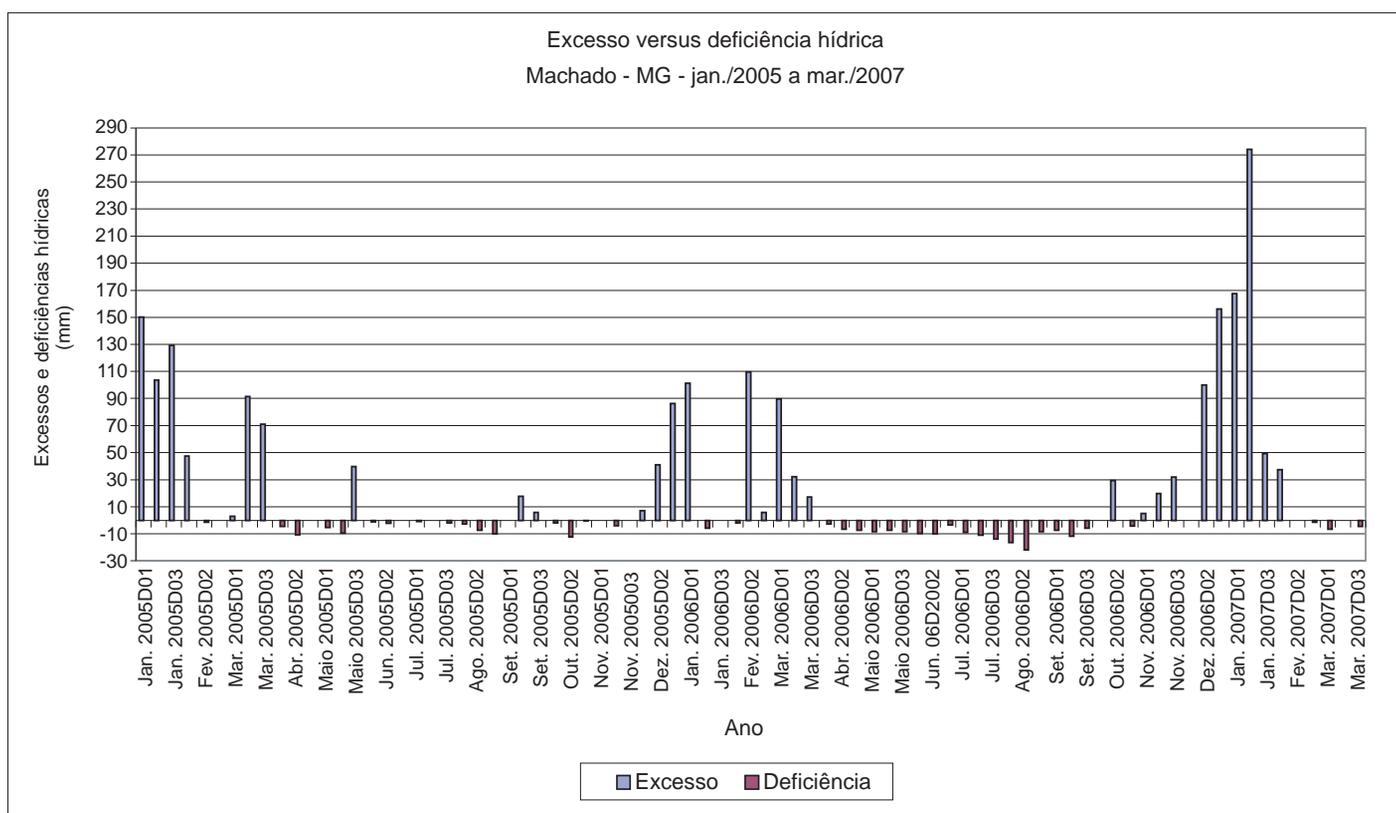


Gráfico 14 - Excessos e deficiências hídricas no solo, para a localidade de Machado, MG, extraídos do balanço hídrico decendial
FONTE: Vianello et al. (2007).

NOTA: D - Decêndio.

⁴Informação concedida pelo pesquisador Antônio de Pádua Nacif em 6 de junho de 2007.

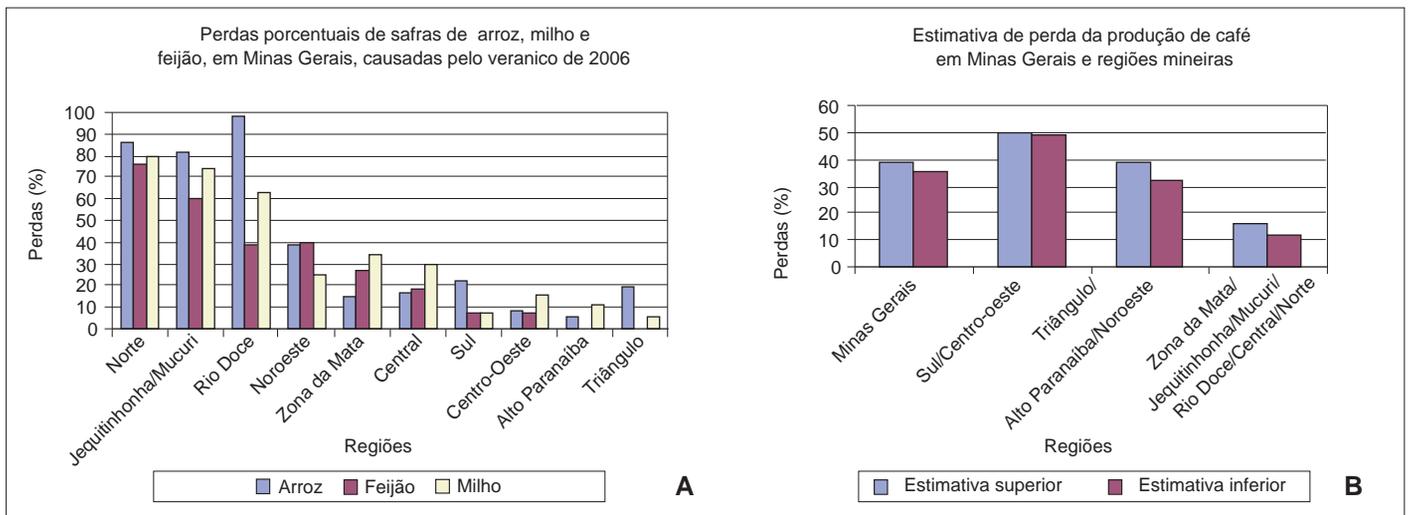


Gráfico 15 - Perdas agrícolas decorrentes de anomalias climáticas no ano de 2006

FONTE: Vianello et al. (2007b).

NOTA: Gráfico 15A - Para as culturas do arroz, feijão e milho. Gráfico 15B - Para o café.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O 4º Relatório do IPCC (2007) alerta para as conseqüências do aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera, destacando as mudanças climáticas globais já em curso, afirmando ainda que o nível de certeza dos resultados ultrapassa 90%. O conteúdo integral do relatório foi amplamente divulgado pela mídia, ganhando maior destaque após o IPCC ser laureado com o Prêmio Nobel da Paz, em reconhecimento à grande contribuição prestada à humanidade. Um dos coordenadores de um grupo de trabalho do IPCC, Dr. Antônio Divino Moura, levantou a seguinte questão: Por que Prêmio Nobel da Paz e não de Ciência? O próprio questionador entende que, positivamente, não houve, por parte do IPCC, contribuição científica que justificasse o Prêmio Nobel de Ciência. Os argumentos que seguem corroboram tal entendimento, alertando para uma máxima: em ciência, ninguém é dono da verdade!

O próprio IPCC reconhece que a aptidão dos cientistas para fazerem verificações das projeções provenientes dos modelos é bastante limitada pelos conhecimentos incompletos sobre as verdades climáticas.

Sabe-se que o vapor d'água representa

63% do efeito estufa natural e constitui ainda a maior fonte de incerteza.

É necessário acrescentar a incerteza associada à nebulosidade, cujos efeitos são contrários de acordo com a altura das nuvens, que tanto podem esfriar quanto aquecer a superfície terrestre.

À parte, a influência demonstrada sobre o clima urbano, uma conseqüência em escala global, permanece ainda no domínio da especulação. As estações meteorológicas, inicialmente instaladas fora das cidades foram progressivamente absorvidas pela expansão da urbanização ou por sua cúpula de calor. Nesse sentido, inúmeros pesquisadores já demonstraram tal influência em diferentes localidades do Globo.

A premissa do IPCC, de que o estudo paleoclimático dá uma idéia da amplitude das futuras alterações climáticas, suscita questões polêmicas: a relação entre os GEEs e a temperatura é uma correlação física ou uma covariação, sem significado físico? O acréscimo dos GEEs é uma causa ou um efeito do aquecimento? Certamente os cilindros de gelo de Vostok mostraram o paralelismo das variações de temperatura do ar e o teor atmosférico dos GEEs. Entretanto, a covariação dos GEEs e a temperatura no decurso de mais de 400 mil anos resultou de um forçamento exterior à própria Terra, como mostrou Milankovitch, em 1924.

Quanto ao aquecimento constatado pelo aumento da temperatura global, argumenta-se que inúmeras localidades têm sofrido resfriamento, em contraste com o aquecimento de outras. Evocam-se, também, problemas relacionados com as medições, tais como trocas de instrumentos e efeitos de ilhas de calor, além das séries de 150 anos serem curtas para captar variabilidades de prazos mais longos. Em síntese, as séries utilizadas não possuem boa representatividade espacial e temporal, além de problemas de homogeneidade.

Aponta-se também a fragilidade dos modelos em reproduzir as características mais importantes do clima atual, tais como a temperatura média global, as diferenças de temperatura entre o Equador e os Pólos, e a intensidade e o posicionamento das correntes do jato.

Outro problema grave que possuem os modelos é a simulação do ciclo hidrológico e seu papel como termostato do sistema Terra-atmosfera. A variabilidade natural do clima é de alta complexidade, impossível de ser modelada no atual estágio do conhecimento científico, especialmente considerando as interações não-lineares. Os modelos de simulação de mudanças climáticas nada mais são que aproximações grosseiras da natureza, não se permitindo afirmar que variações da ordem 0,5°C de

aquecimento sejam decorrentes da intensificação do efeito estufa antropogênico ou mesmo que essa tendência persistirá nas próximas décadas.

A análise de alguns registros históricos permite conhecer inúmeras mudanças climáticas ocorridas na história da Terra desde os tempos geológicos distantes, até o final do último século. Pelo menos cinco ciclos climáticos ocorreram nos últimos 500 milhões de anos, com variações de temperaturas superiores a 20°C. Certamente, entre os grandes ciclos, inúmeras variações, de menor duração e intensidade, devem ter ocorrido, como se observa ao se analisarem os últimos 850 mil anos. Mediante análise dos cilindros de gelo de Vostok, corroborados por testemunhos geológicos, quatro períodos glaciais são reconhecidos, intercalados por períodos interglaciais quentes, causados por fatores exógenos. Entre os períodos glaciais e interglaciais, as variações de temperatura podem ter chegado a 12°C e o nível do mar oscilado em torno de 100 m. Igualmente, o conteúdo de CO₂ oscilou entre 200 e 280 ppmv e o de CH₄ entre 40 e 70 ppbv. No momento, a Terra está chegando ao pico do último período interglacial, embora não seja possível precisar por quantos anos ainda as temperaturas continuarão a aumentar para, em seguida, iniciar outro período glacial. Ao contrário do que prevêem os modelos climáticos, não carece de sentido a expectativa de alguns pesquisadores de que, em breve, as temperaturas começarão a declinar.

As erupções vulcânicas explosivas lançam grandes quantidades de aerossóis na atmosfera, aumentam o albedo planetário e podem causar resfriamento significativo durante décadas. Foi o que ocorreu com a erupção do Pinatubo nas Filipinas, em 1991, que reduziu de 10 a 15 W/m² o saldo de radiação planetária entre as latitudes 40°N e 40°S, durante meses. Alguns pesquisadores mostraram que, no período de 1920 a 1950, a profundidade óptica da atmosfera esteve com os menores valores dos últimos 110 anos, diminuindo o albedo planetário e aumentando a entrada de radiação solar no sistema Terra-atmosfera,

explicando o aquecimento verificado entre 1920 e 1950, quando a quantidade de CO₂ lançada na atmosfera era inferior a 15% da atual. Por outro lado, no auge do desenvolvimento econômico acelerado entre 1950-1970, observou-se um resfriamento.

Embora a concentração de CO₂ tenha efetivamente aumentado em 25% nos últimos 150 anos, tal fato pode ter sido o resultado de variações internas do sistema Terra-atmosfera. Como a temperatura dos oceanos aumentou, devido à redução do albedo planetário, somando-se a isso o aquecimento observado entre 1920 e 1950, a absorção de CO₂ pelos oceanos reduziu-se, resultando no maior armazenamento de CO₂ na atmosfera. Portanto, não se pode afirmar que foi o aumento de CO₂ que causou o aquecimento nas últimas décadas, podendo ter sido exatamente o contrário, ou seja, o aumento de CO₂ foi uma resposta ao aquecimento da atmosfera e dos oceanos.

Na América do Sul, o porcentual de noites quentes vem aumentando desde 1960 em muitas estações, ocorrendo o inverso em relação às noites frias. Para as temperaturas máximas diárias, os índices encontrados não são consistentes.

Numa tentativa de analisar possíveis mudanças climáticas ocorridas no território brasileiro, o Inmet realizou a subtração entre os campos médios climatológicos de 1961-1990 e 1931-1960. As anomalias encontradas não mostram padrões coerentes, chegando a conflitar com outros estudos. Há estudos que indicam tendências de aumento na temperatura do ar nos últimos 100 anos, como de 0,6°C, em São Paulo e, de 0,85°C, na Bacia Amazônica, bem como aumento nos extremos máximo e mínimo da temperatura do ar no sul do Brasil, durante o período de 1960-2002 (MARENGO, 2006). Não menos incoerentes são os desvios da precipitação. Na subtração dos campos, o Nordeste brasileiro estaria registrando elevação das chuvas, chegando a 300 mm anuais, ao contrário do que foi divulgado no último relatório de IPCC (2007), segundo o qual esta região sofreria redução das precipitações, o que a levará à condição de aridez.

Em Minas Gerais, os resultados evidenciaram uma tendência de aumento das temperaturas máximas e mínimas, embora pouco persistentes. Isso significa que tais aumentos podem não ocorrer no futuro. Constatou-se também uma tendência de aumento do vapor d'água em algumas localidades. No geral, os resultados encontrados mostram certa coerência, considerando as relações termodinâmicas entre temperatura e pressão de vapor. Quanto às causas, permite-se especular pela hipótese de mudanças microclimáticas, associadas, principalmente, às mudanças no ambiente em torno das estações. O efeito das ilhas de calor urbano é incontestável, embora difícil de mensurar. Ainda que as estações não estejam em sítios urbanos, muitas estarão certamente sob a cúpula de calor de cidades de maior porte. Não menos importante é a hipótese de erros observacionais causados por falhas humanas, por manutenção deficiente de equipamentos e por descontinuidades das observações. É necessário investir mais na coleta e na qualidade dos dados, para que estudos mais abrangentes possam responder à questão fundamental das mudanças e das variabilidades climáticas, ora colocada pelos cientistas. A subtração dos campos de temperaturas (1961-1990) menos (1931-1960), em Minas Gerais, mostrou um aumento das temperaturas mínimas da ordem de 0,92°C, superiores no período 1961-1990, em relação ao 1931-1960. O aumento das temperaturas máximas situou-se em torno 0,38°C e, das médias, em 0,47°C.

Na simulação dos efeitos das mudanças climáticas na agricultura de Minas Gerais, até 2080, quando foram considerados apenas os efeitos do aumento das temperaturas e de fertilização do CO₂, a produtividade potencial sofreu acentuada redução em todas as mesorregiões. Entretanto, ao ser acrescentado também o avanço tecnológico, ocorreu um aumento da produtividade potencial em relação ao ano-base 2000, para a cultura do feijão, de 35,04% a 114,66% e, para a cultura do milho, de 40,76% a 92,59%. Tais resultados desqualificam publicações alarmistas

que chegam ao cúmulo de demonstrar o desaparecimento de culturas tradicionais, como o café, para a qual o estado de Minas Gerais tornar-se-ia totalmente inapto em decorrência das mudanças climáticas em marcha.

Anomalias climáticas ocorridas nos anos de 2006 e 2007 provocaram grandes quebras de produção nas culturas do arroz, milho e feijão, típicas de subsistência e de sequeiro, exatamente nas regiões mais atingidas pelo fenômeno, com perdas que chegaram a superar 90%, em especial no Norte, Nordeste (Vales do Jequitinhonha e Mucuri) e no Leste (Vale do Doce). Para a cultura do café, considerando-se apenas a Região Sul de Minas e o Centro-Oeste, regiões de maior produção de Minas Gerais, as perdas foram estimadas entre 48,6% e 49,1%. Em outras regiões do Estado, as estimativas de perdas foram igualmente significativas, ou seja, entre 31,8% e 38,7% no Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste, entre 11,8% e 16,1% na Zona da Mata, Jequitinhonha, Mucuri, Rio Doce, Central e Norte. As perdas financeiras, em todo o Estado, para as culturas do arroz, feijão, milho, soja e algodão ultrapassaram 533 milhões de reais, tendo recaído mais de 50% sobre a cultura do milho (275 milhões), produto típico da agricultura de subsistência mineira, cultivado em todo o Estado. Para o café, safra 2007-2008, as perdas estimadas para Minas Gerais, Estado responsável por, aproximadamente, 43% da produção nacional, chegaram a 1,895 bilhão de reais.

O estado de Minas Gerais deve investir recursos em pesquisas climáticas, deixando, principalmente, tal atividade ao encargo da Academia. Ao Estado caberá usufruir dos resultados de tais esforços e aplicá-los em suas atividades-fim, apoiar suas instituições de extensão e pesquisa para o estabelecimento de centros especializados no monitoramento e na prática de ações preventivas contra a ocorrência de eventos extremos, anomalias climáticas, desastres naturais, áreas em risco de desertificação, recuperação de áreas erodidas e de cursos d'água.

Especificamente na área de agrometeorologia, sugere-se o estabelecimento de parcerias com os órgãos de pesquisas com vistas ao monitoramento agroclimático, ao zoneamento agrícola e à determinação de parâmetros de riscos naturais para a agricultura.

REFERÊNCIAS

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 332p.

BRYSON, R.A.; GOODMAN, B.M. Volcanic activity and climate changes. **Journal of Geophysical Research**, v.92, p.13345-13372, 1987.

CONAB. **Primeiro levantamento safra café 2007/2008**. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://conab.gov.br/conabweb/download/safra/3BoletimCafe.pdf>>. Acesso em: abril de 2007.

GASH, J.H.C.; HUNTINGFORD, C.; MARENCO, J.A.; BETTS, R.A.; COX, P.M.; FISCH, G.; FU, R.; GANDU, A.W.; HARRIS, P.P.; MACHADO, L.A.T.; RANDOW, C. von; DIAS, M.A.S. Amazonian climate: results and future research. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, n.1/3, p.187-193, June 2004.

INMET. **Monitoramento das estações automáticas**. Brasília, [2008]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. Acesso em: mar. 2008.

IPCC. **Climate change 1990: the IPCC Assessment**. Cambridge: University Cambridge, 1990.

_____. **Climate change 2001: synthesis report**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

_____. **Climate change 2007: synthesis report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm>>. Acesso em: abr. 2007.

LEROUX, M. Réchauffement global: une imposture scientifique. **Fusion**, n.95, p.36-58, mars/avril, 2003.

MARENCO, J.A. **Mudanças climáticas glo-**

bais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 212p.

MINUZZI, R.B.; VIANELLO, R.L.; SEDIYAMA, G.C. Tendências climáticas em Minas. **Revista Brasileira de Meteorologia**. No prelo.

MITCHELL, J.F.D.; SENIOR, C.A.; INGRAM, W.J. CO2 and climate: a missing feedback? **Nature**, v.341, p.132-134, 1989.

MOLION, L.C.B. **Desmistificando o aquecimento global**. [2007]. Disponível em: <http://www.alerta.inf.br/files/molion_desmist.pdf>. Acesso em: mar. 2008.

OLIVEIRA, L.J.C. de. **Mudanças climáticas e seus impactos na produtividade das culturas do feijão e do milho no Estado de Minas Gerais**. 2007. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PETTIT, J.R.; JOUZEL, J.; RAYNAUD, D. Climate and atmospheric history of the past 420.000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica. **Nature**, n.399, p.429-436, 1999.

ROE, G. In defense of Milankovitch. **Geophysical Research Letters**, v.33, L24703, p.1- 5, 2006.

RUDDIMAN, W.F. Quando os humanos começaram a alterar o clima? **Scientific American Brasil**, n.35, p.58-65, 2005.

VIANELLO, R.L.; ABREU, M.L.; OLIVEIRA, P.; GADELHA, A.A.L. Veranico 2006 em Minas Gerais: precedentes meteorológicos e impactos na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2007a.

_____; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 449p.

_____; FERNANDES, A.S.; MEIRELES, E.J.; OLIVEIRA, P. Anomalias climáticas e seus impactos na agricultura de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Efeito das mudanças climáticas na agricultura. Aracaju: Sociedade Mineira de Agrometeorologia: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007b. 1 CD-ROM.

VINCENT, L.A. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. **Journal of Climate**, v.18, n.23, p.5011-5023, Dec. 2005.

Todo
seu



Você tem um cartão para comprar máquinas, insumos e animais.

Ourocard Platinum Agronegócio.
A melhor ferramenta para a sua produção.



O cartão Ourocard Platinum Agronegócio ficou ainda melhor para você. Com ele, além da compra dos insumos necessários para o plantio da safra, você também adquire máquinas, implementos agrícolas ou animais. E tudo pode ser pago com débito direto no financiamento rural previamente contratado. Ourocard Platinum Agronegócio, uma exclusividade do Banco do Brasil. Se você ainda não tem o cartão, solicite já o seu.

Banco do Brasil. 200 anos fazendo o futuro.



bb.com.br

BANCO DO AGRONEGÓCIO

Sistemas e modelos em agrometeorologia: estado atual e desafios para o futuro

*Luiz Cláudio Costa¹
Marcelo Cid de Amorim²*

Resumo - O Brasil é um país que apresenta o maior potencial para a produção de alimentos pelo setor agrícola. Nesta ótica, o governo considera este setor um dos pilares da economia por gerar divisas, alimento e emprego. Por trás desse avanço estão as digitais da pesquisa agropecuária. A necessidade de mapear, simular, viabilizar e otimizar sistemas de produção agrícola faz dos modelos de agrometeorologias uma poderosa ferramenta para tomada de decisão de produtores, bem como um instrumento para dimensionar potencialidade da cadeia produtiva, no espaço e no tempo. Os modelos atuais são modernos e vêm retratando realisticamente o crescimento e o desenvolvimento das principais safras. Tais modelos, continuamente, serão desafiados a transpor barreiras e paradigmas. A preocupação futura converge para um cenário de mudanças climáticas globais e o impacto na produção de alimentos que possa saciar a fome e a sede de uma população que, a cada dia, vem pressionando os sistemas dinâmicos do planeta. Experimentos e modelos com base em processos serão de fundamental importância para definições de estratégias de adaptação diante de tais cenários. Estudos de impacto das mudanças climáticas na agricultura são estratégias econômicas do agronegócio brasileiro, que permitem o manejo de riscos e a identificação de oportunidades que podem compatibilizar a produção de alimentos, a geração de energia e a racionalização do uso dos recursos naturais.

Palavras-chave: Mudança climática. Modelagem. Agronegócio. Produção agrícola.

INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com registros da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Centro de Estudos Avançados em Economia Agrícola (Esaq-Cepea) em 2007, o agronegócio responde por cerca de 30% do PIB e gera divisas globais superiores a R\$ 645 bilhões. Sendo responsável por 42% das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros. Neste enfoque, o governo federal considera o agronegócio um dos pilares da economia nacional ao responder por “um” em cada “três” reais gerados no País. O Brasil

tem clima diversificado, com chuvas regulares, energia solar abundante e quase 13% de toda a água doce disponível no planeta. Nesse ambiente, tem-se um País de vocação natural para a agropecuária e todos os negócios relacionados com a sua cadeia produtiva. Todavia, as expectativas do agronegócio são ainda mais otimistas. Camargos (2003) cita que pesquisas do governo norte-americano, por meio do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Usda) indicam que o Brasil poderá aumentar sua área de cultivo, nos próximos 50 anos, em nada menos que 170 milhões de hectares, ou seja, praticamente o mesmo

espaço ocupado atualmente pelas plantações norte-americanas. Nesse ritmo, em 2028, o agribusiness irá produzir valores da ordem de 40 trilhões de dólares (algo em torno de 60% do PIB). Com estas estimativas, o Brasil poderá ultrapassar a produção agrícola dos Estados Unidos.

O fato é que, de 1990 até os dias de hoje, a produção de grãos no Brasil cresceu mais de 140%. Nesse mesmo período, a área plantada foi ampliada apenas 23%, passando de 38 milhões para 46,7 milhões de hectares. Tal crescimento foi obtido em virtude do aumento de 85,5% no índice de

¹Matemático, Ph.D., Prof. Adj. UFV - Dep^o Engenharia Agrícola, CEP 36570-000 Viçosa-MG. Correio eletrônico: l.costa@ufv.br

²Eng^o Agr^o, Doutorando Meteorologia Agrícola UFV - Dep^o Engenharia Agrícola, CEP 36570-000 Viçosa-MG. Correio eletrônico: mcid@vicosa.ufv.br

produtividade, nessas últimas 18 safras. Por trás desse avanço, certamente, estão as digitais da pesquisa agropecuária. Mesmo assim, ao se fazer um balanço, nota-se que o parque agrícola nacional é ineficiente e subutilizado, pois, com pelo menos 90 milhões de terras agricultáveis ainda não utilizadas, o Brasil pode aumentar em, no mínimo, três vezes sua atual produção de grãos, saltando dos atuais 123,2 milhões para 367,2 milhões de toneladas de grãos. Esse volume poderá ser ainda maior, considerando-se que 30% dos 220 milhões de hectares hoje ocupados por pastagens devem ser incorporados à produção agrícola em função da expressiva valorização de *commodities* agrícolas (cana-de-açúcar, soja, milho, trigo, etc.). Contudo, o País tem condições de chegar facilmente a uma área plantada de 140 milhões de hectares, com a expansão da fronteira agrícola no Centro-Oeste e no Nordeste. Ofertando, ainda mais, áreas com potencial para produção de biocombustível (biodiesel e álcool), sem que haja riscos de redução de produção de grão, não impactando a Amazônia, ou seja, em total sintonia e respeito à legislação ambiental e aumento de oferta de alimentos.

Como visto, o agronegócio brasileiro tem potencial para crescer. Aumentos da população e da renda elevarão a demanda por alimentos (BRASIL, 2006). Países super populosos, como a China e a Índia, terão dificuldades de atender às demandas, em consequência do esgotamento de áreas agricultáveis. A disponibilidade de recursos naturais no Brasil é fator de competitividade.

INFORMAÇÕES E SIMULAÇÃO DE PRODUTIVIDADE DE SAFRAS AGRÍCOLAS

Com o avanço da Ciência, evidenciaram-se outras relações de natureza intrínseca entre o clima e os mecanismos fisiológicos dos vegetais. Na segunda metade do século 18, o físico-químico holandês, Jan Ingenhousz, sustentou que o dióxido de carbono da atmosfera era

utilizado como nutriente pelas plantas. Nicolas-Théodore de Saussure, no início do século 19, propôs em seus tratados que os vegetais incorporavam água nos seus tecidos. Na segunda década do século 19, a clorofila foi isolada. Entretanto, o avanço extraordinário na agricultura foi a descoberta que o azoto (nitrogênio) e diversos outros sais e minerais eram retirados do solo pelas plantas e que a energia proveniente do Sol transformava-se em síntese orgânica armazenada em uma série de produtos e tecidos vegetais, num processo denominado fotossíntese. Nesse período foi descoberta na clorofila que, além de ser a responsável pela cor verde das plantas, desempenhava um papel fundamental na síntese bioquímica. Posteriormente, Julius von Sachs demonstrou que a clorofila estava localizada nas chamadas organelas celulares e, por meio de estudos mais acurados, foram identificados os cloroplastos. Em 1954, com o avançar das técnicas bioquímicas, Daniel Israel Arnon isolou e extraiu estas organelas, conseguindo, assim, reproduzir em laboratório as reações de fotossíntese. Resumidamente, o pleno conhecimento do mecanismo da fotossíntese dos vegetais consumiu cerca de 200 anos de observações e pesquisa. E, nota-se a existência de lacunas e desafios para que possamos compreender os diversos sinais fisiológicos, artifícios e adaptações dos vegetais.

Contudo, a adoção de modelos que quantifiquem os efeitos do ambiente no crescimento e desenvolvimento de culturas agrícolas é do conhecimento do homem a pelo menos 250 anos. Em 1735, Rêamur estruturou sólidas relações entre a variável meteorológica temperatura (graus-dia) e o desenvolvimento de culturas. Em períodos mais recentes, por volta de 1958, o professor C. T. Wit, da Universidade de Wageningen, lançou o trabalho *Transpiration and crop yield* e, em seguida, em 1968, o clássico *Photosynthesis of leaf Canopies*. Após a publicação de tais referências foi observado um crescente interesse pela mo-

delagem e o desenvolvimento de modelos de crescimento e produção de culturas agrícolas por diversos países, inclusive no Brasil (COSTA, 1997).

A fotossíntese é o mecanismo ou parâmetro mais empregado para medir ou estimar a eficiência de assimilação dos vegetais, ou seja, é uma modelagem que se baseia em processos, prioridades e alocação de assimilados para o desenvolvimento e formação de órgãos e estruturas. Atualmente, a produtividade de uma cultura agrícola é determinada pela produção e acúmulo de matéria seca (MS) que está relacionada, intrinsecamente, com o ambiente.

Na dinâmica científica, nos últimos anos, as pesquisas vêm-se refinando e formando conceitos e ajustes que resultam em maior acurácia na avaliação de fenômenos ambientais associados à atividade fisiológica de plantas e outros seres. Mesmo assim, relacionar fenômenos da natureza, que envolvem trocas e armazenamento de energia, seja na circulação de água no planeta, seja na atividade fisiológica de um ser vivo, sempre será um desafio incomensurável. Os modelos mais complexos e sensíveis ainda são meras simplificações, quando tratados os processos dinâmicos no planeta. Desse modo, o 'estado da arte' converge para um desafio único que é elucidar, do ponto de vista da ecofisiologia vegetal, os impactos nas alterações climáticas, em diferentes escalas de tempo e espaço, e os possíveis efeitos sobre a vegetação. Assim, há necessidade urgente de estudos comparativos, objetivando a caracterização fisiológica e adaptativa de espécies cultivadas e nativas às mudanças climáticas, para melhor entender os impactos antropogênicos nocivos ao planeta.

Entretanto, o desenvolvimento e a utilização de modelos de produção agrícola são freqüentemente questionados pela comunidade científica. O principal ponto é: qual a razão do desenvolvimento de modelos? Boote et al. (1996) e Costa (1997) destacam algumas das razões que justificam empregar conhecimento para

estruturação de modelos de produção:

- a) modelos são ferramentas importantes para simplificar o conhecimento científico;
- b) auxilia na gestão e tomada de decisão no setor agrícola;
- c) potencial didático do desenvolvimento de modelos;
- d) orientação e racionalização de modelos convencionais.

Em contrapartida, modelos de simulação, geralmente, são considerados produtos de concepções complexas e, às vezes, não muito bem definidas aos olhos da Ciência. A expressão “caixa preta”, para alguns modelos, é correta, pois alguns pacotes de simulação suprimem metodologias e detalhes dos processos da obtenção de parâmetros determinantes, o que restringe a análise crítica e precisa das simulações. No geral, para ter representatividade, os modelos devem ser alimentados com registros meteorológicos, aspectos edáficos e práticas agrícolas (época de semeadura, tipo de irrigação, dados de fertilidade do solo, cultivar, etc.).

Em 1990, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) identificou as principais causas de perdas na agricultura do País. Os resultados foram surpreendentes ao indicar que 95% das perdas davam-se por razões climáticas, sobretudo secas ou excesso de chuvas. De acordo com o pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Eduardo Assad, estes resultados foram a semente para o desenvolvimento do Zoneamento Agroclimático do Brasil, terminologia técnica adotada pelos estudos de riscos climáticos em agricultura e que foi ancorado nos avanços da Ciência agropecuária nos últimos 30 anos.

No que se refere a clima e produção agrícola, os modelos agrometeorológicos brasileiros deverão assumir o compromisso com o crescente cenário de desenvolvimento agrícola. Assim, devem-se reconhecer os esforços promovidos por estudantes, professores e pesquisadores em

adequar, validar e tornar operacional tais concepções. Em termos práticos, quando se fala de manejo racional do uso de água ou, até mesmo, simulação de crescimento e desenvolvimento de culturas, está implícita uma gama de modelos interagindo dinamicamente – um verdadeiro esforço de união de conhecimentos. Porém, é de fundamental importância, o entendimento que só existirão modelos havendo a real possibilidade da sua aplicação. Os modelos têm que sair da esfera científica e chegar ao campo, para gerar eficiência, respeitar o ambiente e produzir qualidade de vida aos agricultores. É nessa ordem que os modelos assumem o caráter de ferramenta no auxílio para tomada de decisão. É fato que, na atual cadeia produtiva e conjuntura econômica, não existem possibilidades para o amadorismo. A informação de qualidade está cada vez mais presente e elaborada na vida do homem. No meio rural, por exemplo, a consulta de tendências de mercado das safras, transporte e condições atmosféricas fazem parte da rotina de vários agricultores, em diversas partes do Brasil.

Sem generalizar, o Brasil tem dificuldades em potencializar as safras. Para ilustrar, será apresentada apenas a situação do milho. O Gráfico 1 representa o rendimento médio do milho, do ano de 1961 até 2006 (FAO, 2007). No exemplo, foi colocada a tendência de rendimento para três países: Estados Unidos (1º produtor mundial); Brasil (3º produtor) e Argentina (5º produtor). Constata-se que a produtividade atual do Brasil, com as tecnologias disponíveis e menções positivas, vem apresentando um bom ritmo de crescimento. Contudo, quando comparada com a produtividade dos EUA, observa-se que o Brasil ainda não atingiu os níveis de eficiência de quase meio século atrás. Já os produtores argentinos, para o mesmo período, saíram em 1961 de um rendimento semelhante ao do Brasil e, atualmente, conseguem manter um patamar muito próximo dos níveis americanos. Os EUA, Brasil e Argentina têm produtividade média em torno 10 mil,

7 mil e 3 mil kg/ha, respectivamente. Em Minas Gerais, na safra 2007/2008, a produtividade média foi da ordem 5 mil kg/ha, com destaques positivos para as mesorregiões Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Noroeste, com produtividade superior a 6 mil kg/ha. Na contramão, destaca-se a mesorregião Mucuri com produtividade inferior a 1.800 kg/ha (MINAS GERAIS, 2008).

A produção mineira de milho é o exato reflexo do que acontece no Brasil. A variabilidade climática, associada às características socioeconômicas da população, é o fator que estabelece o ritmo da eficiência no campo.

O Gráfico 2 é uma clássica proposta de modelagem de decisão para a cultura do milho. Podem-se identificar potencialidades, causas e efeitos diretos de diversos fatores que interferem positivamente ou não no desenvolvimento da cultura. O foco desta simulação é de acenar para uma informação estratégica, fornecer subsídios, identificar problemas e corrigi-los, ou seja, tornar a produção do milho mais eficiente na escala regional.

No exemplo aplicado com dados reais, apresentou-se a média dos últimos cinco anos do rendimento do milho da Zona da Mata mineira (região de baixa eficiência), ou seja, um balanço médio da produtividade dos 142 municípios inseridos nesta mesorregião. A coluna “Oficial” é a média dos registros fornecidos pela Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (Emater-MG), Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As outras colunas são simulações de crescimento, desenvolvimento e rendimento de apenas duas cultivares de milho ‘BR201’ e o ‘Agromen’ (comercialmente a cultivar BR201 tem mais tempo de mercado). Para isso, foi adotado um modelo de suporte para as decisões de transferência de agrotecnologia – Decision Support System for Agrotechnology Transfer

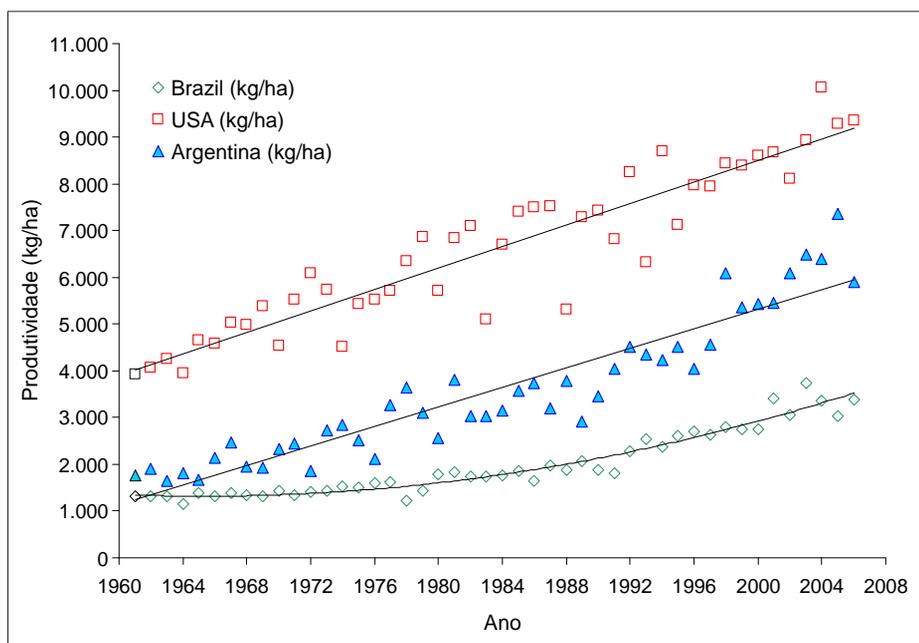


Gráfico 1 - Rendimento médio do milho na Argentina, Brasil e EUA - 1961-2006
 FONTE: FAO (2007).

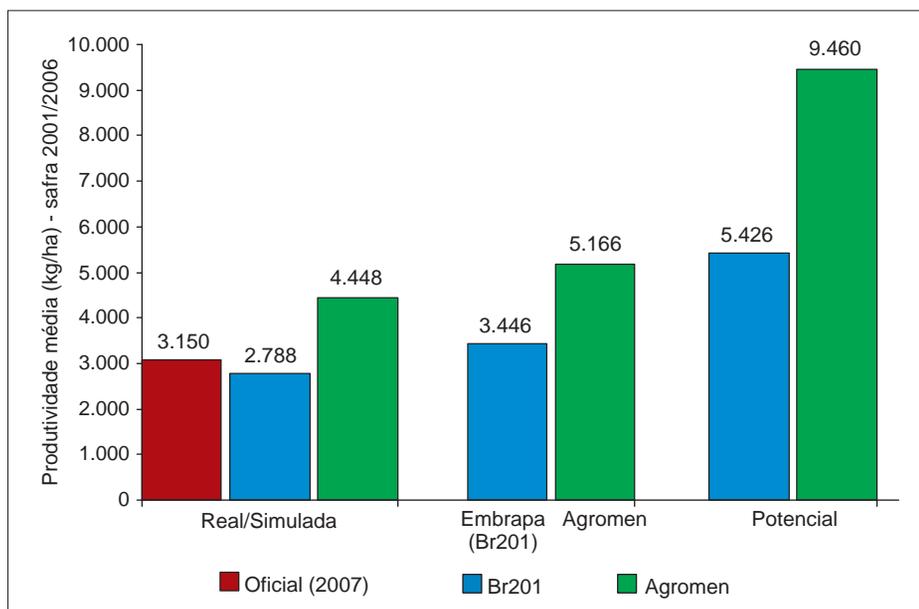


Gráfico 2 - Produtividade do milho para Zona da Mata de Minas Gerais

(JONES, 2003) – devidamente calibrado às condições de clima e solo da Zona da Mata. Obviamente, tanto os registros reais, quando os simulados de rendimento estavam continuamente sujeitos à penalização fisiológica em função de déficits hídricos (veranicos e secas). A idéia central não é a de sugerir adoção de uma cultivar qualquer e sim expor diferentes potencialidades em

função do melhoramento genético. Os resultados evidenciam que um investimento em sementes melhoradas, mantendo um padrão fitotécnico e não agregando outras tecnologias no campo, possibilitaria um ganho significativo no rendimento regional. Ou seja, as simulações, com os coeficientes genéticos da cultivar ‘Agromen’, elevaram a produtividade em torno de 45%, quando

comparada com a produção oficial. Na última safra 2006/2007, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) liberou para plantio 275 cultivares de milho, 32 destas patenteadas pela Embrapa. O fato é que, no Brasil, na Zona da Mata mineira ou até mesmo em Viçosa, não há condições de afirmar até quanto, em termos de área, ou quais cultivares foram semeadas pelos agricultores.

Contudo, num contexto agrônomico, foram introduzidas na modelagem as mínimas recomendações de adubação química como proposto por técnicos da Embrapa Milho e Sorgo (COELHO, 2006). Ou seja, com uma simples adubação pode-se elevar a produtividade regional, comparada com a oficial, em 12% para a cultivar BR201 e em 68% na ‘Agromen’.

Por fim, a desejada resposta do tratamento “potencial”, que traça um cenário de plena eficiência para o rendimento das safras. Assim, permitiu-se na simulação o pleno desenvolvimento da cultura no campo, ou seja, sem que houvesse possibilidade de severidades (pragas, doenças, secas, fertilidade do solo, etc.). Em condições ideais, como proposto, os resultados apontam para um acréscimo, por exemplo de mais de 200% para a cultivar ‘Agromen’ e 80% para a ‘BR201’.

Até agora, os dados apresentados dos rendimentos pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), IBGE, Conab e as simulações produzidas foram um convite de reflexão para o que está realmente acontecendo no ambiente agrícola. O milho representado aqui seria apenas a ponta do iceberg da produção agrícola brasileira. No campo, podem-se observar inúmeros fatores conspirando a favor da perda de eficiência. Entretanto, a questão central seria de quando ter-se-ia uma produção mais eficiente. Particularmente, acredita-se que a resposta seria: com organização do setor; profissionalismo no campo; presença, decisão e investimentos dos governos e outros setores. Apostar na agricultura brasileira certamente será

um grande negócio. Contudo, precisa-se, urgentemente, introduzir no meio agrícola o hábito de documentar e armazenar informações práticas que podem ser monitoradas ao logo do ciclo da cultura pelos produtores. Não se tem um banco de dados de registros de ocorrência de pragas e doenças, preços de insumos, consumos, logística, etc. Ainda, devem-se estimular os produtores em conduzir suas lavouras dentro de um padrão agrônomo regional, por exemplo, espaçamentos, cultivares específicas, tratos culturais, armazenamento e comercialização.

De modo geral, os modelos agrometeorológicos são concepções ávidas por informações de qualidade, por exemplo: como características de solos, registros de clima e tempo, níveis de ocorrência de pragas e doenças, tipos de manejos, características socioeconômicas da população, logística de transporte de safras, capital e incentivos para o produtor, política de preço no mercado internacional, etc. Com isso, é necessário enfatizar que quaisquer modelos em agrometeorologia não têm o papel de salvador de lavouras. E sim, como ferramenta tecnológica totalmente direcionada ao planejamento e à avaliação de potencialidades.

Em termos de registros dinâmicos é prudente considerar o tempo meteorológico a chave do empreendimento agrícola. Em 1994, o governo federal inaugurou o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (Cptec) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), uma iniciativa histórica para a meteorologia de decisão brasileira. Posteriormente, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) investiu numa rede automatizada de coleta de dados que cobre grande parte da federação e, por sua vez, lançou o primeiro satélite (SCD) de coleta de dados ambientais. Assim, surgiu um novo conceito para o agricultor, ou seja, informações em “tempo real”, ou seja, registros meteorológicos em menos de 24 horas. Estes dados trouxeram, e ainda vêm trazendo, um salto extraordinário, em termos de decisão para vários setores produtivos, dentre eles a agricultura, defesa

civil, indústria, pesquisa e ensino. Para o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), reserva-se um especial agradecimento, pois desde 1924, este Instituto vem somando esforços para manter as séries históricas preservadas e num formato padrão de leitura para a sociedade. Esta autarquia, sem dúvida, por meio das séries climáticas, é a responsável pela maioria das validações dos estudos técnicos e científicos. O Inmet, por sua vez, vem-se modernizando, tendo como atual prioridade expandir a rede de coleta de dados e agregar registros meteorológicos mais direcionados ao ambiente agrícola. Ambos os Institutos vêm produzindo para a sociedade uma previsão de tempo e clima de altíssima qualidade, promovendo, sistematicamente, a democratização dos registros meteorológicos. Na esfera estadual, o governo mineiro e outros setores também promovem a modernização da rede de coleta de registros meteorológicos. A Figura 1 e o Quadro 1 representam a distribuição espacial da rede

mineira de coleta de dados hidrometeorológicos, não expressando as estações que compõem a rede de coleta do MCT e da Agência Nacional de Águas (ANA).

Aliado ao clima, a umidade do solo é outra variável importante no planejamento de atividades agrícolas e um excelente “indicador ambiental” na caracterização, por exemplo, de secas. No entanto, sua estimativa em escala regional envolve dificuldades em medir a umidade do solo e no entendimento da sua dinâmica, devido, principalmente, à heterogeneidade espacial dos atributos de superfície. Em escalas regionais, o comportamento dinâmico da umidade do solo depende da disponibilidade de energia na superfície e do balanço de água-solo-atmosfera, que, por sua vez, é dependente do crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas.

Dados de perfis de solo e suas propriedades químicas e físicas, como no exemplo do Quadro 2, podem ser aplicados na estruturação do balanço hídrico do

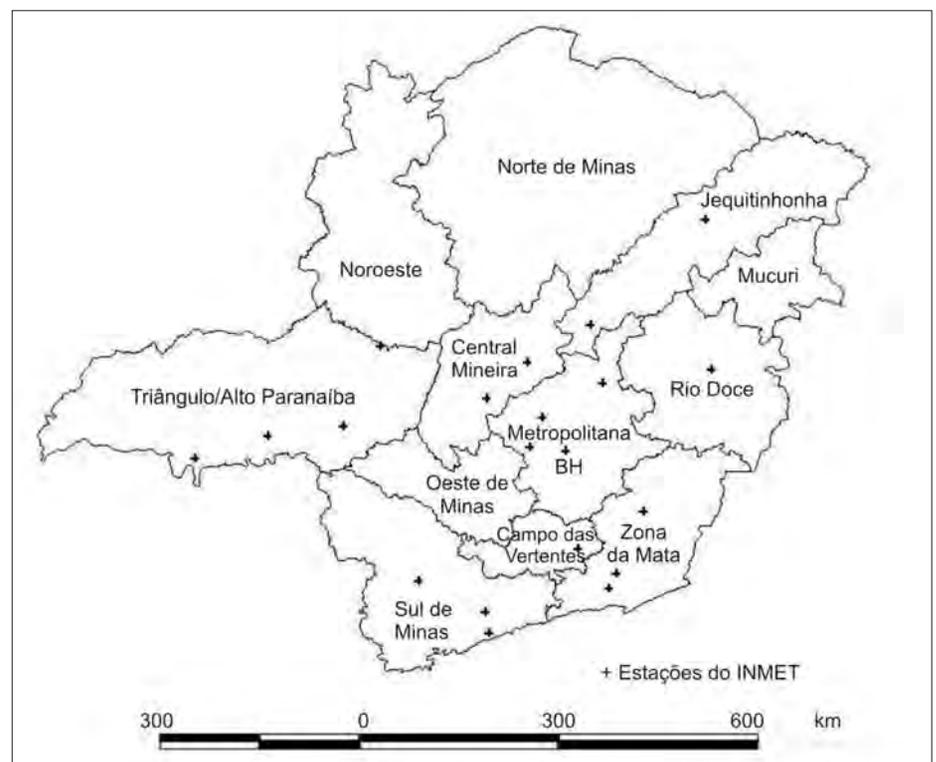


Figura 1 - Mapa do estado de Minas Gerais com a localização das estações meteorológicas em mesorregiões

NOTA: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

QUADRO 1 - Identificação das estações meteorológicas utilizadas

Nº da estação	Localidade	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)
83037	Coronel Pacheco	-43.25	-21.58	435
83442	Araçuaí	-42.05	-16.83	289
83531	Patos de Minas	-46.43	-18.52	940.3
83536	Curvelo	-44.45	-18.75	672
83538	Diamantina	-43.60	-18.25	1296.1
83543	Governador Valadares	-41.93	-18.85	148
83570	Pompeu	-45.00	-19.22	690.9
83574	Frutal	-48.93	-20.03	543.7
83577	Uberaba	-47.95	-19.73	737
83579	Araxá	-46.93	-19.60	1023.6
83581	Florestal	-44.42	-19.87	749
83586	Sete Lagoas	-44.25	-19.47	732
83587	Belo Horizonte	-43.93	-19.93	915
83589	Conceição do Mato Dentro	-43.43	-19.02	652
83642	Viçosa	-42.85	-20.75	689.7
83683	Machado	-45.92	-21.67	873.5
83689	Barbacena	-43.77	-21.25	1126
83692	Juiz de Fora	-43.35	-21.77	940
83736	São Lourenço	-45.02	-22.10	953.2
83737	Passa Quatro	-44.97	-22.38	920

solo. Produzindo, em tempo real, mapas para o Armazenamento Máximo de Água no Solo (mm) e da Capacidade de Água Disponível (%). A Figura 2, representa a base de dados, com perfis referenciados, aplicados pelo Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste (Proclima) (SOUZA et al., 2001). Os dados pedológicos, georreferenciados, para compor e estruturar os cenários de umidade no solo, em Minas Gerais, foram organizados a partir de levantamentos do Projeto RadamBrasil outras explorações da Embrapa, relatórios da Fundação João Pinheiro (MG), publicações científicas e teses de pós-graduação das universidades mineiras.

Nos últimos anos, as pesquisas científicas vêm refinando e formando conceitos e ajustes que produzem mais acurácia na avaliação de fenômenos ambientais associados à atividade fisiológica de plantas e de outros seres. É neste ponto que somos da opinião de que os modelos biofísicos mais complexos e sensíveis ainda são meras simplificações, quando tratamos de processos dinâmicos e de interação com a vida no

QUADRO 2 - Descrição dos atributos dos solos considerados na Embrapa e RADAMBRASIL

Horizonte	Profundidade (cm)	Calhau (%)	Cascalho (%)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Argila dispersa em água (%)	Unidade equivalente (%)	⁽¹⁾ C (%)
A1	0-13	0	2	49	7	8	36	18	18	1.74
A3	13-30	0	2	47	8	8	37	16	18	1.23
B1	30-45	0	2	37	8	6	49	33	23	0.6
B21	45-75	0	2	24	7	4	65	0	29	0.46
B22	75-105	0	2	24	7	2	67	0	29	0.41
B23	105-140	0	2	24	7	2	67	0	29	0.28
B24	140-200	0	2	26	6	4	64	0	29	0.29
B3	200-220	0	2	26	7	6	61	0	29	0.15

FONTE: Embrapa (1981) e RADAMBRASIL (1973 a 1986).

NOTA: Tipo do solo - LAa - Latossolo Amarelo álico; Latitude sul - 25° 24'; Longitude - 40° 04'; Altitude - 70 m.

(1) Concentração de carbono orgânico no solo.

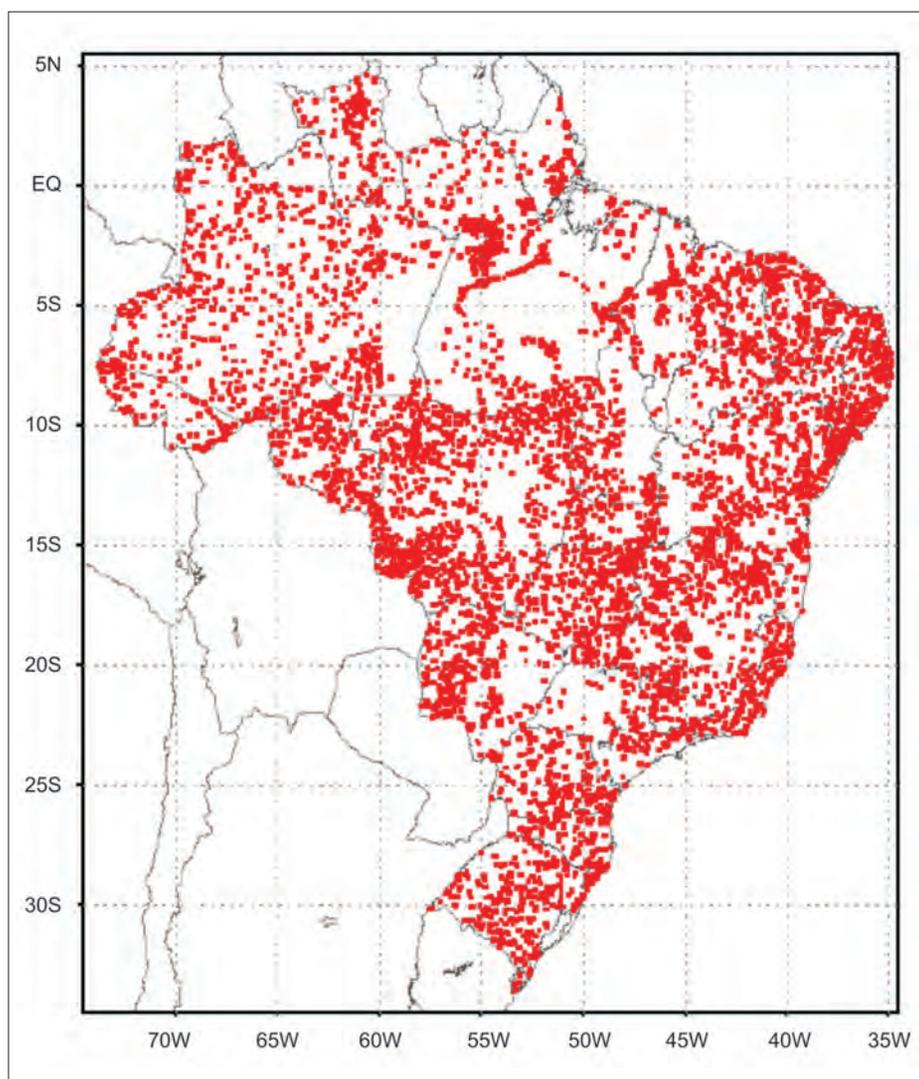


Figura 2 - Localização dos perfis de solos do banco de dados (Proclima) no Brasil

FONTE: INPE.

planeta. Assim, o 'estado da arte' converge para um desafio único que é elucidar como as alterações climáticas, em diferentes escalas de tempo e espaço, afetarão os seres vivos nos próximos anos. Estamos, assim, diante de necessidades urgentes de estudos comparativos, objetivando a caracterização fisiológica e adaptativa de espécies cultivadas e nativas às mudanças climáticas, para melhor entender os impactos antropogênicos nocivos ao planeta.

Contudo, a modelagem biofísica do crescimento de plantas assumirá caráter determinante nas análises futuras. Em face da problemática mudança climática, alguns estudos, como os de Marengo (2006) e IPCC (2007) mostram que tais cenários trarão impactos, sejam positivos ou não, às safras agrícolas do Brasil ou do mundo. Na essência, a questão ainda reside nos mecanismos fisiológicos das plantas de fixação de CO_2 . Os vegetais, incluindo as culturas agrícolas, na sua grande maioria, apresentam mecanismos conhecidos como C3 (soja e feijão) e C4 (milho e cana-de-açúcar). O Quadro 3 resume algumas respostas e considerações, em ambiente controlado, aos mecanismos fisiológicos de plantas C3 e C4, quando ocorre a elevação da concentração do CO_2 atmosférico e da temperatura média.

QUADRO 3 - Considerações aos mecanismos fisiológicos de plantas C3 e C4 para o aumento na concentração do CO_2 atmosférico e elevação da temperatura do ar (ambiente controlado)

C3	C4
Aproximadamente 95% dos vegetais do planeta (incluindo espécies arbóreas).	São tipicamente de regiões tropicais, em especial, gramíneas.
A fixação do CO_2 é catalisada pela enzima Rubisco. A Rubisco é ineficiente na fixação de CO_2 . Proporciona perda líquida de carbono pelo processo de fotorrespiração.	São mais eficientes para fixar CO_2 que as C3. Pois, além da Rubisco, utiliza a enzima PEPcase que apresenta grande afinidade pelo CO_2 .
Na elevação de substrato para fotossíntese, ou seja, em condições 2x e 3x [CO_2] atmosféricas ($360 \mu\text{mol/mol}$) têm sido observados aumentos de 40% a 60% na taxa de assimilação de CO_2 . Redução de até 20% no processo fotorrespiratório.	O efeito de elevado CO_2 é bem menor, em torno de 10%, quando comparado com as C3.
As plantas C3 perfazem os maiores ganhos fotossintéticos entre a faixa de 20°C a 30°C temperatura.	Em contrapartida, as plantas C4, seguindo resultados de modelo de previsão que apontam para o aumento de temperatura, poderiam ser mais beneficiadas, pois, a temperatura ótima para fotossíntese encontra-se na faixa de 30°C a 40°C.

DESAFIOS FUTUROS

Atualmente, há maior preocupação com a situação alimentar da população mundial que tornar-se-á cada vez mais delicada diante dos cenários de mudanças climáticas globais. A maior parte da produção agrícola do planeta – esta regra não seria exceção ao Brasil – é conduzida em áreas com elevada dependência dos regimes e fatores climáticos. Várias nações provêm seus sustentos sem lançar um mínimo de técnicas agrônomicas para os cultivos e para a criação dos rebanhos. Pode-se, assim, considerar que são verdadeiros nômades vivendo em toda parte do planeta.

O Relatório sobre Desenvolvimento Mundial (BANCO MUNDIAL, 2007), intitulado “Agricultura para o Desenvolvimento”, adverte que as metas internacionais de redução da pobreza extrema e da fome pela metade, até 2015, estão seriamente comprometidas e, certamente, é pouco provável que sejam alcançadas. Neste enfoque, a agricultura seria a ferramenta determinante para o cumprimento da Meta de Desenvolvimento do Milênio. Ou seja, para manter tais objetivos, serão necessárias mais ações e vultosos investimentos injetados nos setores agrícolas e na população rural dos países em desenvolvimento. De fato, “a pobreza rural é responsável, extraordinariamente, por 82% de todos os miseráveis no planeta”, afirmou Robert Zoellick, Presidente do Banco Mundial - Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD). Como ação efetiva para o desenvolvimento mundial, nota-se que incentivos ao produto interno bruto (PIB) agropecuário seriam cerca de quatro vezes mais eficazes no combate e redução da pobreza, do que incentivos em PIBs de outros setores econômicos.

Em 2008, o BIRD, após um realinhamento de estimativas, sinalizou para uma situação muito mais grave do que foi projetada, ou seja, o número atual de miseráveis no planeta seria da ordem 1,4 bilhão de pessoas – a margem antiga dava conta

de 985 milhões. Neste direcionamento, o Brasil experimenta a pobreza crônica, praticamente, desde o seu descobrimento. Em 2002, os especialistas divergiam quanto ao número de brasileiros em situação de pobreza extrema. O BIRD retratava a existência de 15 milhões de miseráveis. Por sua vez, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) dava conta da existência de 22 milhões de indigentes. O Instituto da Cidadania Brasil estimava 44 milhões e o Centro de Políticas Sociais (CPS), da Fundação Getúlio Vargas (FGV) sinalizava para alarmantes 50 milhões de indivíduos extremamente pobres. Contudo, a expectativa para 2008, números da FGV, é que o País ainda tenha 11,3 milhões de cidadãos abaixo da linha da pobreza. A redução do quadro de pobreza, como recomendado pelo BIRD, vem sendo motivada pelo do crescimento do setor agrícola. Certamente, a agricultura é o passe ou palavra mágica para o Brasil acabar com a situação de pobreza e de fome.

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), nos últimos relatórios, em 2007/2008, aborda que as alterações no regime pluviométrico, na

temperatura e na disponibilidade de água comprometerão a agricultura e, conseqüentemente, o abastecimento de alimentos para a população. Dessa maneira, os choques climáticos forçarão a elevação dos preços dos alimentos e nem mesmo as pessoas com melhores condições de renda estarão livres dos castigos impostos por essas alterações, pois a degradação, em virtude dos choques climáticos, destruirá com extrema ferocidade as capacidades humanas de estabelecimento e desenvolvimento, cabendo à agricultura e aos recursos hídricos alimentar e matar a sede de uma população mundial que deverá passar dos 6,5 bilhões, em 2005, para 8,3 bilhões, em 2030. O crescimento maior dar-se-á na Ásia, com aumento de 1,1 bilhão de pessoas entre 2005 e 2030. A população brasileira deverá alcançar 235 milhões de habitantes em 2030 (mais 62 milhões de indivíduos em relação a 2000).

No enfoque urbanização, já em 2010, prevê-se que a população mundial urbana ultrapassará a rural, atingindo 60%, em 2030. O Gráfico 3, mostra que a taxa de urbanização brasileira em 2030 atingirá 91,3%. O Brasil seguirá um padrão se-

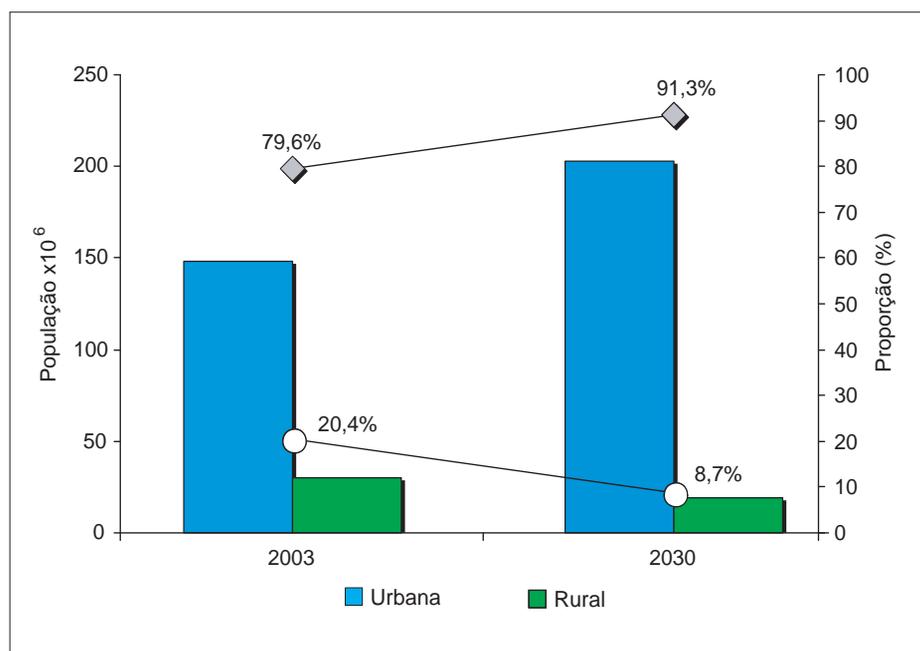


Gráfico 3 - Projeção da população urbana e rural do Brasil - 2003 - 2030

FONTE: United Nations (2003).

melhante aos países desenvolvidos, de concentração de sua população nos espaços urbanos.

A cada dia fica mais evidente que os países pobres e em desenvolvimento estarão mais vulneráveis às mudanças climáticas, em função de terem historicamente menor capacidade de responder à variabilidade natural do clima. O Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE), em 2005, em um relatório (BRASIL, 2005) com visões e diretrizes de longo prazo, afirma que o Brasil é um dos países que devem ser duramente atingidos pelos efeitos adversos das mudanças climáticas futuras, já que tem uma economia fortemente dependente de recursos naturais diretamente ligados ao clima na agricultura e na geração de energia hidrelétrica. Para um país com tamanha vulnerabilidade, as iniciativas e esforços devem convergir urgentemente para estruturação de modelos e mapeamento de tais vulnerabilidades e riscos, conhecendo com afinco suas causas, setor por setor, e subsidiar políticas públicas de mitigação e adaptação. No tocante à adaptação às mudanças climáticas, o relatório enfatiza que o País ainda se encontra insuficientemente preparado, o grau de conhecimento sobre o assunto é bastante precário e a preocupação é maior no setor agrícola.

Numa análise de tendências e projeções para o agronegócio brasileiro, técnicos do MAPA (BRASIL, 2006) apontaram como tendências ambientais que o setor agrícola deve, progressivamente, fundamentar-se em práticas conservacionistas e tecnologias voltadas para a conservação das águas, das florestas e a fertilidade natural das terras. A Floresta Amazônica será objeto de uma política específica, que visa preservar sua sustentabilidade. E a disponibilidade de recursos hídricos será de fundamental importância para o desenvolvimento do agronegócio e para a segurança alimentar. Por sua vez, como tendências tecnológicas, haverá avanços na biotecnologia que transformarão os

mercados e ampliarão as oportunidades na agricultura e na indústria. A nanotecnologia pode contribuir para o desenvolvimento de novas ferramentas para a biotecnologia e para a nanomanipulação de genes e materiais biológicos. O desafio é incorporar as inovações científicas e tecnológicas, em sintonia com o desenvolvimento no Brasil e no mundo, ao agronegócio brasileiro, garantindo a sua competitividade a médio e a longo prazos.

REFERÊNCIAS

BANCO MUNDIAL. **Relatório sobre o Desenvolvimento Mundial de 2008**: agricultura para o desenvolvimento - visão geral. Washington, 2007. 34p. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2008/Resources/2795087-1192111580172/FINAL_WDR-OV-Portuguese-text_9.26.07.pdf>. Acesso em: 22 set. 2008.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, n.5, p.704-716, Sept./Oct. 1996.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. **Projeções do agronegócio: mundial e Brasil - resumo executivo**. Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.srb.org.br/uploads/docs/proj_agro.doc>. Acesso em: 8 jun. 2008.

_____. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro, 1973 a 1986. 34v.

_____. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Mudanças de clima: negociações internacionais sobre a mudança de clima - vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança de clima**. Brasília, 2005. 250p. (NAE. Cadernos, 1).

CAMARGOS, D. A nova fronteira agrícola: produção do Brasil tem espaço de sobra para crescer. **Forbes Brasil**, 11 ago. 2003. Disponível em: <<http://jbonline.terra.com.br/jb/papel/economia/2003/08/10joreco2003081002.html>>. Acesso em: 8 ago. 2008.

COELHO, A.M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 78).

COSTA, L.C. Modelagem e simulação em

agrometeorologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro, 1981. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000, projeção policônica.

FAO. **FAOSTAT - production**. Rome, [2007]. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 5 jun. 2008.

IPCC. Summary for policymakers. In: _____. **Climate change 2007: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Contribution of working Group I of the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment_report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2008.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v.18, n.3/4, p.235-265, Jan. 2003.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informações do agronegócio: milho**. Belo Horizonte, [2008]. Disponível em: <<http://www.agricultura.mg.gov.br/dados/2-01.htm>>. Acesso em: 5 jun. 2008.

MORENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 212p.

SOUZA, S.S.; TOMASELLA, J.; GRACIA, M.G. de; AMORIM, M.C. de; MENEZES, P.C.P.; PINTO, C.A.M. O programa de monitoramento climático em tempo real na área de atuação da Sudene - PROCLIMA. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.25, n.1, p.15-24, abr. 2001.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. **Urban and rural areas 2003**. New York, 2003. Disponível em: <http://www.org.esa/population/publications/wup2003/2003Urban_Rural.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2008.

Zoneamento agrícola de riscos climáticos do Brasil: base teórica, pesquisa e desenvolvimento

Eduardo Delgado Assad¹

Fábio Ricardo Marin²

Hilton Silveira Pinto³

Jurandir Zullo Júnior⁴

Resumo - A relação entre o clima e a produção agrícola tem sido alvo da pesquisa agrícola brasileira. Um conjunto de ferramentas é utilizado, por parte do Estado, para apoiar o governo brasileiro no planejamento e controle de concessão de crédito de custeio e na oferta do seguro agrícola. Busca-se racionalizar o uso dos recursos públicos e estimular a aplicação adequada da tecnologia, para redução dos riscos de perda e elevação da produtividade. Desde 1996, o Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos (Zarc) constitui a ferramenta oficial para a indicação das melhores regiões, cultivares, variedades e períodos de semeadura, com menores riscos e perdas, o que proporciona uma economia expressiva de recursos financeiros e elevação de produtividade e de lucro aos produtores. Com a ampliação do debate sobre mudança climática global, a base teórica que constitui o Zarc tem sido utilizada como suporte para a simulação de cenários agrícolas futuros, com base nas projeções feitas pelo IPCC e com o intuito de proporcionar meios para avaliação da vulnerabilidade agrícola do Brasil e das melhores estratégias de adaptação à mudança climática global. São feitas explanações sobre a base teórica do Zarc e traçadas perspectivas futuras em termos de pesquisa e desenvolvimento que envolvem este instrumento de política pública.

Palavras-chave: Mudança climática. Aptidão climática. Zoneamento climático. Agroclimatologia. Balanço hídrico.

INTRODUÇÃO

A agricultura é um setor de importância fundamental para a economia brasileira. A partir da segunda metade do século passado, houve grandes transformações quanto ao avanço do conhecimento em agricultura tropical e à modernização das técnicas de cultivo. Ainda que alvo de controvérsias, atualmente com base em críticas sobre o modelo adotado pela chamada “revolução

verde”, este momento da agricultura brasileira – e mundial –, inquestionavelmente, resultou em aumento da produtividade e redução dos custos na atividade agrícola, o que permitiu elevar expressivamente a produção de alimentos. Entre 1950 e 1985, a produção de cereais passou de 700 milhões para 1,8 bilhão de toneladas, o que equivaleu a duplicar a produção e a elevar a disponibilidade de alimentos por habitante em cerca de 40%.

No Brasil, há 30 anos, os níveis de produtividade, que em muitas regiões não chegavam à metade do que se observa atualmente, aumentaram por causa do aprimoramento das técnicas de cultivo, do melhoramento genético e das práticas de manejo do solo.

Além desses, outro fator que pode ser listado como uma importante ferramenta para a redução das perdas e melhoria no aprimoramento da tomada de decisão no

¹Eng^o Agrícola, Pós-Doc., Pesq. Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, CEP 13083-886 Campinas-SP. Correio eletrônico: assad@cnptia.embrapa.br

²Eng^o Agr^o, D.Sc., Pesq. Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, CEP 13083-886 Campinas-SP. Correio eletrônico: marin@cnptia.embrapa.br

³Eng^o Agr^o, Pós-Doc., Pesq. UNICAMP-CEPAGRI, Caixa Postal 1170, CEP 13083-970 Campinas-SP. Correio eletrônico: hilton@cpa.unicamp.br

⁴Matemático, D.Sc., Pesq. UNICAMP-CEPAGRI, Caixa Postal 1170, CEP 13083-970 Campinas-SP. Correio eletrônico: jurandir@cpa.unicamp.br

setor agropecuário foi a aplicação no conhecimento em climatologia, modelagem e análise espacial, para a elaboração de zoneamentos agrícolas, permitindo definir as melhores épocas de semeadura para diferentes variedades e tipos de solo.

Este tipo de aplicação, além das consequências diretas de orientação ao produtor, teve também papel importante para o planejamento do setor agrícola brasileiro, permitindo aos órgãos da gestão pública antever os riscos da produção agropecuária e definir com mais clareza os custos do financiamento público da agricultura brasileira.

A questão dos riscos é especialmente importante, quando se trata de agricultura, pois a despeito do bom nível tecnológico, da grande capacidade de produção de alimentos e da importância do setor agrícola para a economia brasileira, dentre as atividades econômicas modernas, a atividade agropecuária é a que está sujeita aos maiores riscos de perdas e oscilações nos volumes produzidos, com impactos negativos para toda a sociedade.

Assim, a redução nos riscos da atividade agrícola é, sem dúvida, elemento que possibilita elevar a renda e melhorar as condições de vida do produtor rural, com aumento da produtividade, do nível de emprego e do volume de alimentos e matérias-primas produzidas. A produção com baixo risco de perda é, também, um instrumento de grande utilidade para o gestor público, na medida em que permite aprimorar o planejamento no médio e longo prazos, minimizar o custo para o financiamento do setor e reduzir os custos sociais, quando ocorrem fenômenos adversos intensos.

Apesar do risco de insucesso ser uma característica intrínseca do agronegócio, pode ser gerenciado e avaliado objetivamente. A produção agrícola pode variar intensamente de um ano para outro e entre regiões relativamente próximas, por fatores relacionados com a infestação de pragas e doenças, condições de mercado ou clima, causando grande variação temporal nos rendimentos obtidos pelos produtores e

nos preços praticados pelo mercado – um aspecto nem sempre desejável na maioria das atividades econômicas.

A incerteza na previsão da renda no futuro próximo complica o planejamento de curto e médio prazos, especialmente no que concerne à tomada de decisão quanto à expansão ou redução da produção, quanto ao investimento na aquisição de bens móveis e imóveis, quanto à permanência ou não em determinado ramo de atividade. Aplicando esta análise a uma escala macroeconômica, a redução expressiva da renda no curto prazo pode repercutir em todo um setor econômico, no que se conhece como choque sistêmico, podendo afetar a capacidade dos produtores de cumprir suas obrigações financeiras.

Neste trabalho, é descrita a metodologia utilizada no Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos (Zarc) do Brasil, mantendo uma perspectiva histórica do processo, traçando o estado atual da ferramenta e apontando para as próximas etapas pelas quais a ferramenta deve passar no futuro.

BASE TEÓRICA

Sabendo-se que a seca e a chuva excessivas são os principais eventos responsáveis pelas perdas na agricultura nacional (GÖEPFERT et al., 1993), foi realizado um estudo de caráter espaço-temporal, para a identificação das áreas de maior risco para a agricultura brasileira, dando origem ao que hoje se conhece como Zarc, programa transformado em política pública do governo federal e que indica para cada município o que plantar, onde plantar e quando plantar.

Para tanto, desenvolveu-se uma metodologia fundamentada em análises espaço-temporais dos dados climáticos e análises agrometeorológicas, pedológicas, estatísticas e agronômicas (ASSAD et al., 2007). Tais procedimentos são, predominantemente, multidisciplinares, com base em grandes esforços computacionais e de modelagem, associados ao inter-relacionamento de variáveis que definem o risco climático.

METODOLOGIA PARA CULTURAS ANUAIS

A metodologia do zoneamento agrícola tem como base a integração de modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento de culturas, bases de dados de clima e solo, técnicas de análise de decisão e ferramentas de geoprocessamento (CUNHA; ASSAD, 2001). Os calendários de plantio que compõem o zoneamento agrícola são revisados e atualizados, anualmente, com a inclusão de novas culturas e cultivares, aumento das bases de dados climáticos, uso de novas técnicas de interpolação. Há também condições de incorporar nos zoneamentos as previsões climáticas para a próxima safra, e adaptá-las o quanto possível às realidades daquele ano. A revisão e a atualização do zoneamento agrícola aumentam a precisão dos seus resultados e tornam-se cada vez mais úteis aos agricultores e aos órgãos de gestão agrícola.

O uso das culturas anuais no Brasil baseia-se no processamento de balanços hídricos sequenciais, calculados para períodos de 10 dias (decêndios), desde o plantio até a maturação da cultura. De maneira geral, o ciclo vegetativo das culturas de grãos é subdividido em quatro fases fenológicas:

- a) desenvolvimento inicial (Fase I);
- b) crescimento vegetativo (Fase II);
- c) florescimento e enchimento de grãos (Fase III);
- d) maturação (Fase IV).

A duração do ciclo fenológico pode ser estimada em função das exigências térmicas nos subperíodos “emergência florescimento” e “emergência início de maturação”, considerando-se uma temperatura base variável. O Quadro 1 apresenta exemplo de valores dos graus-dia e da temperatura basal utilizados para definir a duração das quatro fases fenológicas para três possíveis cultivares de milho.

A demanda de água pelas culturas e os períodos com deficiência ou excesso hídrico são determinados pelo coeficiente de cultura (Kc) apropriado, que possui

uma relação linear com os Índices de Área Foliar (IAF), conforme perfil padrão apresentado na Figura 1. Esse coeficiente é determinado experimentalmente, em cada região do Brasil, e pode ser estimado em função das latitudes, longitudes e altitudes dos locais, onde se pretende plantar e não existam resultados de experimentos.

Um modelo de balanço hídrico sequencial, apresentado por Forest (1984), testado por Assad (1986), modificado por Vaksman (1990), e validado por Affholder et al. (1997) tem sido utilizado para calcular o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (Isna), dado pela razão entre a eva-

potranspiração real e a evapotranspiração máxima da cultura, representando o grau de atendimento das necessidades hídricas da cultura em cada fase fenológica. Valores de Isna durante a fase crítica (Fase III – fase reprodutiva – florescimento e enchimento de grãos), para uma frequência mínima de 80% são espacializados, utilizando-se Sistema de Informações Geográficas (SIG), para determinar a viabilidade de determinado período de plantio. Essa qualificação é feita do seguinte modo: favorável, para valores de Isna iguais ou superiores a um valor de corte estabelecido, ou desfavorável, para valores de Isna inferiores ao valor

de corte. Para utilizar esse tipo de modelo devem ser consideradas apenas culturas sob regime de sequeiro, sendo utilizados três tipos de solos, conforme descrito em “Parametrização dos solos”, com base na textura de cada um. Os dados pluviométricos utilizados são os mesmos do zoneamento do café, ou seja, dados disponíveis no Brasil, com séries históricas maiores que 25 anos de dados diários.

A evapotranspiração potencial é calculada utilizando, por exemplo, o método proposto por Thornthwaite e Matter (1955). No caso do estado de São Paulo, utiliza-se a adaptação apresentada por Camargo e Camargo (1983), com base na temperatura média mensal, estimada a partir das equações apresentadas por Pinto et al. (1972), utilizando as coordenadas geográficas e altitude das estações pluviométricas.

Riscos de geada e insuficiência térmica também são incorporados ao estudo, permitindo quantificar e qualificar áreas e épocas adequadas à semeadura das culturas, quando necessário (normalmente na Região Sul, para as culturas de inverno, ou na Região Sudeste, para a safrinha).

QUADRO 1 - Parâmetros utilizados para definir a duração das fases fenológicas do milho para três tamanhos de ciclo diferentes

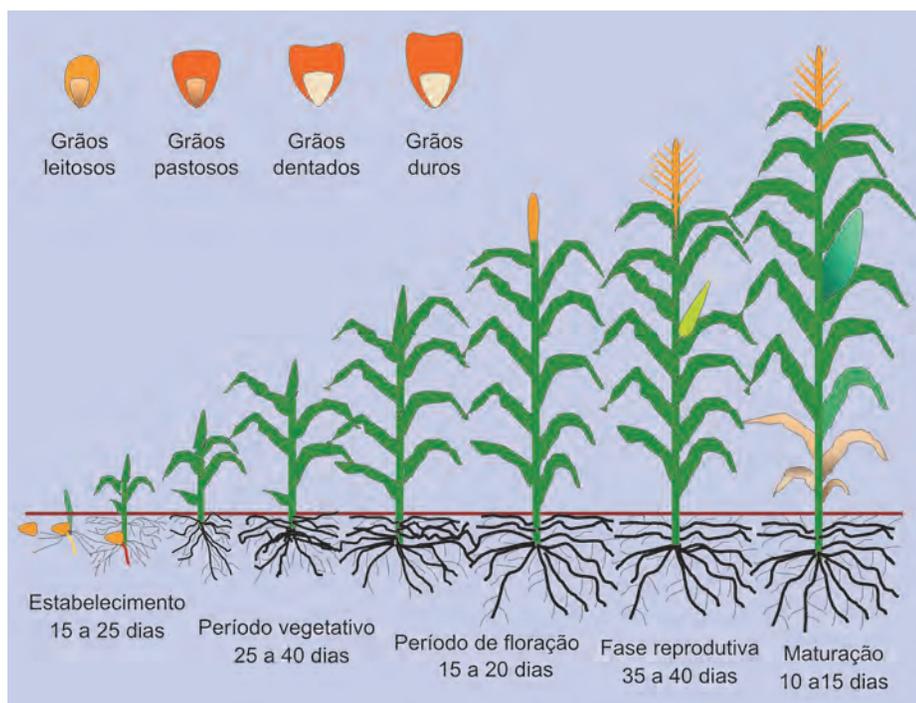
Ciclo	Graus-dia a partir da germinação	
	Até o florescimento (T _{BASAL} = 8°C)	Até a maturação (T _{BASAL} = 10°C)
I	862	1.237
II	820	1.190
III	780	1.075

FONTE: Brunini et al. (2001).

PARAMETRIZAÇÃO DOS SOLOS

Outra questão de grande importância no processo de elaboração do Zarc é a definição de épocas de plantio mais apropriadas para diferentes culturas, a fim de diminuir os riscos climáticos no processo produtivo. Tendo em vista o caráter amplo e pragmático do Zarc, as informações necessárias dos solos são aquelas que permitem avaliar seu comportamento enquanto reservatório de água, com base nas características físico-hídricas dos solos (ASSAD et al., 2001, 2007).

Para efeito do zoneamento, os solos têm sido agrupados, geralmente, em solos de baixa capacidade de retenção de água (Tipo 1), de média capacidade de retenção de água (Tipo 2) e de alta capacidade de retenção de água (Tipo 3). Essas designações representam quantidades de armazenamento de água na zona de maior densidade das raízes.



Arquivo: Embrapa Milho e Sorgo

Figura 1 - Perfil típico utilizado para definir o coeficiente de cultura (Kc)

Inúmeros atributos interferem na capacidade de armazenamento de água dos solos, sendo possível fazer uma estimativa razoável a partir de dados de profundidade, teor de argila, areia e silte e de uma avaliação do gradiente textural. A profundidade do solo é um dado que consta de qualquer tipo de mapeamento de solos, desde aqueles elaborados a partir de levantamentos de pequena escala, até os levantamentos feitos na propriedade. Além disso, pode ser facilmente medida no campo pelo produtor rural, extensionistas e técnicos de diferentes formações. O gradiente é avaliado a partir da relação entre os teores de argila de dois horizontes ou camadas consecutivas de solos.

A legislação ambiental deve ser rigorosamente respeitada no zoneamento agrícola e isso implica na exclusão de indicação para qualquer sistema de produção das áreas de preservação obrigatória, áreas ribeirinhas e áreas de declividade superior a 45%. Por outro lado, as áreas de solos pedregosos, em declives superiores a 20%, e áreas de solos com menos de 50 cm de profundidade também não devem ser utilizadas, pois representam sistemas de grande suscetibilidade à erosão.

Também os parâmetros de fertilidade não são considerados no zoneamento agrícola pelos seguintes motivos principais:

- a fertilidade do solo pode ser modificada utilizando-se, corretamente, adubos e corretivos;
- a influência de alguns atributos de fertilidade, como a capacidade de troca catiônica (CTC) e o teor de matéria orgânica, na capacidade de armazenamento de água no solo é ainda pouco evidente nos modelos de predição da retenção de água no solo e, aparentemente, exerce influência muito menor do que os parâmetros de textura e de gradiente textural.

As seguintes categorias de solos são utilizadas na avaliação do risco climático das culturas de grãos, considerando que

a estimativa da capacidade de armazenamento de água do solo depende da sua profundidade e da sua capacidade de reter água:

- solos Tipo 0: englobam solos com capacidade de armazenamento de água menor que 0,4mm/cm;
- solos Tipo 1: englobam solos com teor de argila superior a 10% e inferior a 15%, nos primeiros 50 cm de solo; e com teor de argila entre 15% e 35% e com teores de areia inferiores a 70%, que apresentam variação abrupta de textura nos primeiros 50 cm de solo, ou seja, que um horizonte ou uma camada de solo tenha 15% ou mais de argila, em valor absoluto, do que o outro nos 50 primeiros centímetros;
- solos Tipo 2: englobam solos com teor de argila entre 15% e 35% e com teores de areia inferiores a 70% nos primeiros 50 cm de solo;
- solos Tipo 3: englobam solos com teor de argila maior que 35% nos primeiros 50 cm de solo, e com menos de 35% de argila e menos de 15% de areia (textura siltosa), nos primeiros 50 cm de solo.

Estas classes de solos foram definidas considerando, também, a necessidade de padronização de critérios por meio de atributos de fácil utilização pelos diferentes tipos de usuários das informações contidas no Zarc. Dessa sistematização do enfoque pedológico, pode-se inferir que as plantas não são penalizadas por veranicos de até dez dias, quando cultivadas em solos do Tipo 3, veranicos de até sete dias, em solos do Tipo 2, veranicos de até quatro dias, para solos do Tipo 1, e veranicos de até três dias, no caso de solos do Tipo 0.

ALGUNS RESULTADOS PARA CULTURAS ANUAIS

A Figura 2 apresenta um fluxograma simplificado da metodologia utilizada para culturas anuais e as Figuras 3, 4 e 5

apresentam os resultados do Zarc para cultivares precoces de soja no estado de Minas Gerais, para plantios no primeiro decêndio de outubro, novembro e dezembro, respectivamente, em solo arenoso. Observa-se aumento substancial no tamanho das áreas aptas (em verde) para plantios em novembro, em comparação com os resultados para os meses de outubro e dezembro.

METODOLOGIA DE RISCO CLIMÁTICO PARA CULTURAS PERENES

Como exemplo de zoneamento para culturas anuais, tem-se o café Arábica como umas das primeiras culturas perenes a ser considerada no Zarc. Foram estabelecidos, inicialmente, critérios para estudos dos riscos climáticos para os principais Estados produtores: Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Paraná. Porém, em função da sua importância e da forte possibilidade de expansão da lavoura cafeeira, os estudos foram realizados, também, para os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rondônia, Espírito Santo e Rio de Janeiro.

As áreas aptas ao cafeeiro Arábica, segundo as necessidades climáticas apresentadas por Camargo et al. (1977), Instituto Agrônomo de Campinas (1972) e Instituto Brasileiro do Café (1977, 1986), são aquelas em que:

- a temperatura média anual está entre 18°C e 22°C;
- a deficiência hídrica anual está entre 0 mm e 100 mm;
- a probabilidade de geadas é menor ou igual a 25%.

Áreas em que, dos itens citados, apenas a probabilidade de geadas é superior a 25%, são consideradas aptas com restrição às geadas. Áreas em que a temperatura média anual fica entre 22°C e 23°C, mas atendem aos dois outros itens, são consideradas aptas com restrição térmica. Naquelas em que a deficiência hídrica fica entre 100 mm e 150 mm e a temperatura

média anual está entre 22°C e 23°C são consideradas aptas com restrições hídrica e térmica, recomendando-se a irrigação. Com base nestes parâmetros, Pinto et al. (2001), Caramori et al. (2001), Sedyama et al. (2001) e Assad et al. (2001) definiram as áreas aptas para a cultura do café Arábica nos estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Goiás, conforme esquematizado na Figura 6. A metodologia tem como base

o cruzamento de três planos principais de informações – deficiência hídrica anual, risco de ocorrência de geadas e temperatura média anual – definidos a partir da combinação de dados de campo com modelos numéricos.

A deficiência hídrica anual é obtida a partir da simulação de balanços hídricos climáticos, onde os dados de temperatura média mensal são estimados a partir das

equações de estimativa de temperatura, definidas em todos os Estados do Brasil. Os valores da precipitação média mensal são calculados a partir da série de dados pluviométricos disponíveis em Agritempo (2008a) (Fig. 7).

Para Minas Gerais, os valores da temperatura média mensal e anual foram calculados a partir da aplicação das equações propostas por Pinto et al. (1972), à base altimétrica do United States Geological Survey (2008), que corresponde a uma grade altimétrica uniforme de 30" x 30" de grau ou 800 x 800 m de distância. É importante salientar que essas equações existem e estão publicadas em periódicos específicos da área de climatologia, para cada Estado brasileiro. A probabilidade de geadas foi estimada a partir do modelo proposto por Camargo et al. (1993), considerando-se que o início de danos às folhas do cafeeiro ocorre, quando as temperaturas no abrigo meteorológico ficam abaixo de 1°C (PINTO et al., 1977, 1983).

A Figura 8 apresenta o zoneamento climático atual para a cafeicultura no estado de Minas Gerais, para sistemas irrigados e sem irrigação, indicando o bom potencial climático do Estado para o cultivo do cafeeiro, especialmente nas Regiões Sul, Centro-Oeste e Oeste do Estado. É importante salientar que a base desse zoneamento foi definida pelos trabalhos de Sedyama et al. (2001) desenvolvidos na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

A organização de um robusto e extenso banco de dados climáticos, a criação de mecanismos para sua rápida manipulação para simulações agrometeorológicas e a estruturação de um SIG, que permita a representação espacial dos riscos para a agricultura brasileira, constituíram também a base para estudos mais avançados e recentes, em resposta às novas demandas feitas à pesquisa agropecuária brasileira. Todas as informações do zoneamento agrícola bem como seus resultados para cada estado do Brasil, estão disponíveis em Agritempo (2008a).

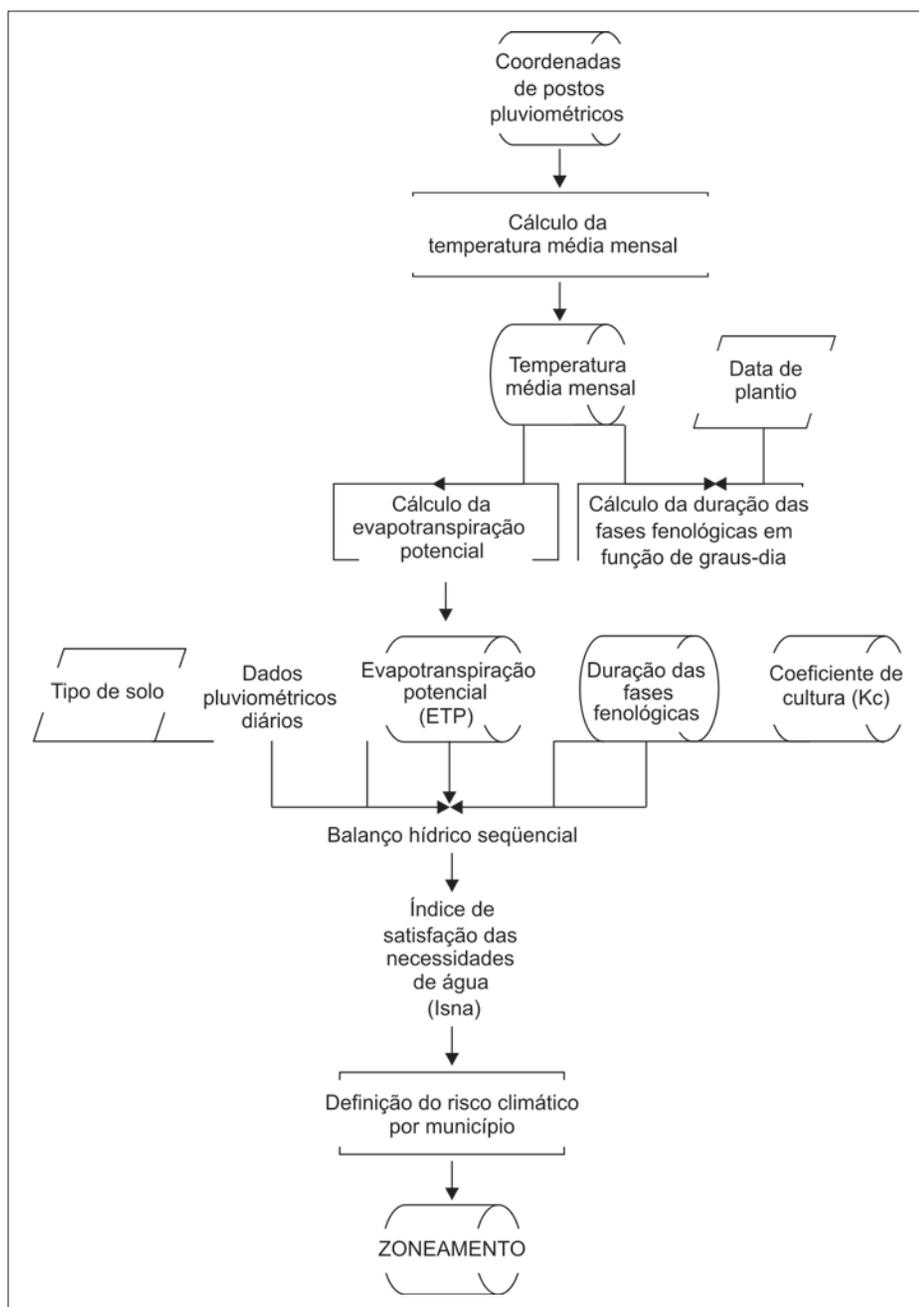


Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada no zoneamento de riscos climáticos de cultura anual

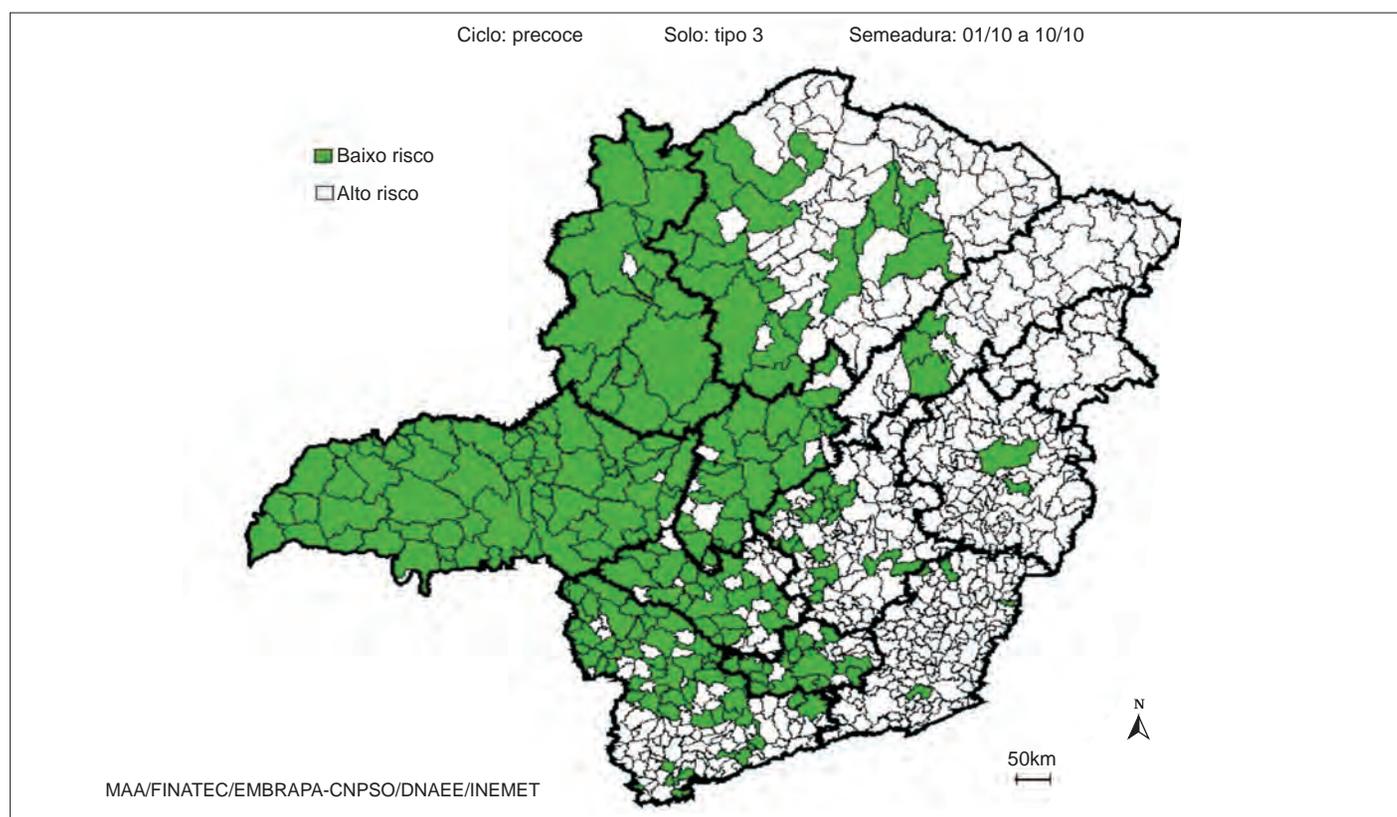


Figura 3 - Zoneamento de Riscos Climáticos (Zarc) da cultura da soja no estado de Minas Gerais, para plantios de cultivares precoces, no primeiro decêndio de outubro, em solo arenoso

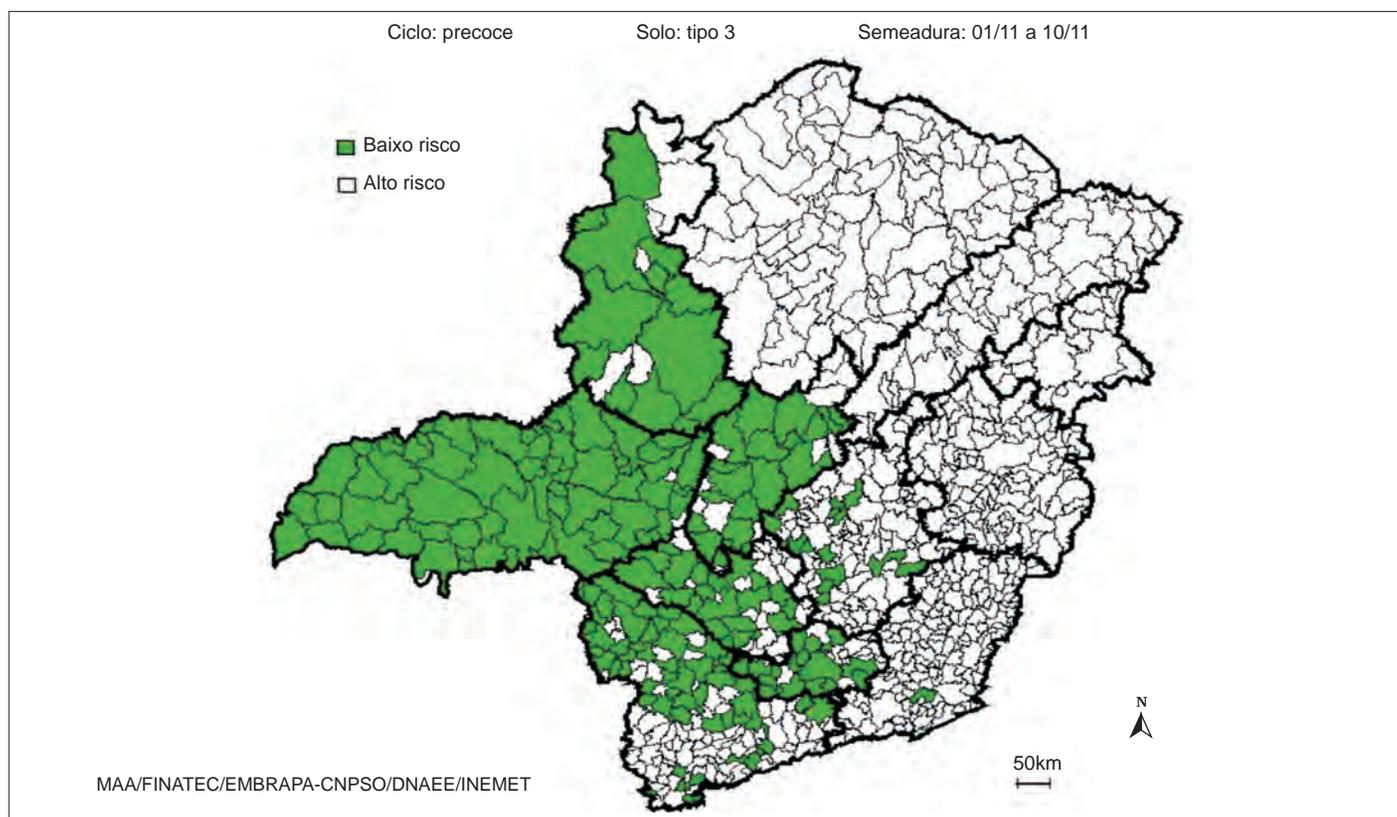


Figura 4 - Zoneamento de Riscos Climáticos (Zarc) da cultura da soja no estado de Minas Gerais, para plantios de cultivares precoces, no primeiro decêndio de novembro, em solo arenoso

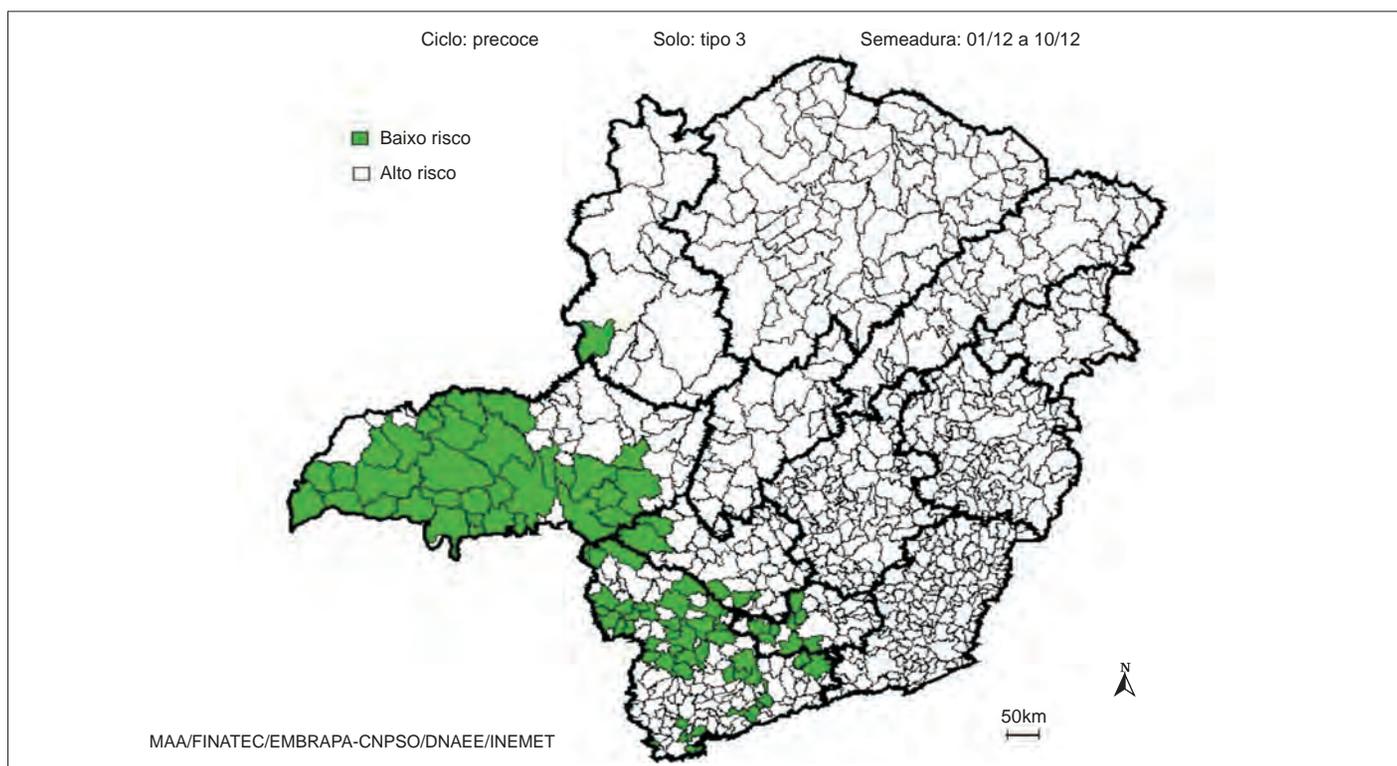


Figura 5 - Zoneamento de Riscos Climáticos (Zarc) da cultura da soja no estado de Minas Gerais, para plantios de cultivares precoces, no primeiro decêndio de dezembro, em solo arenoso

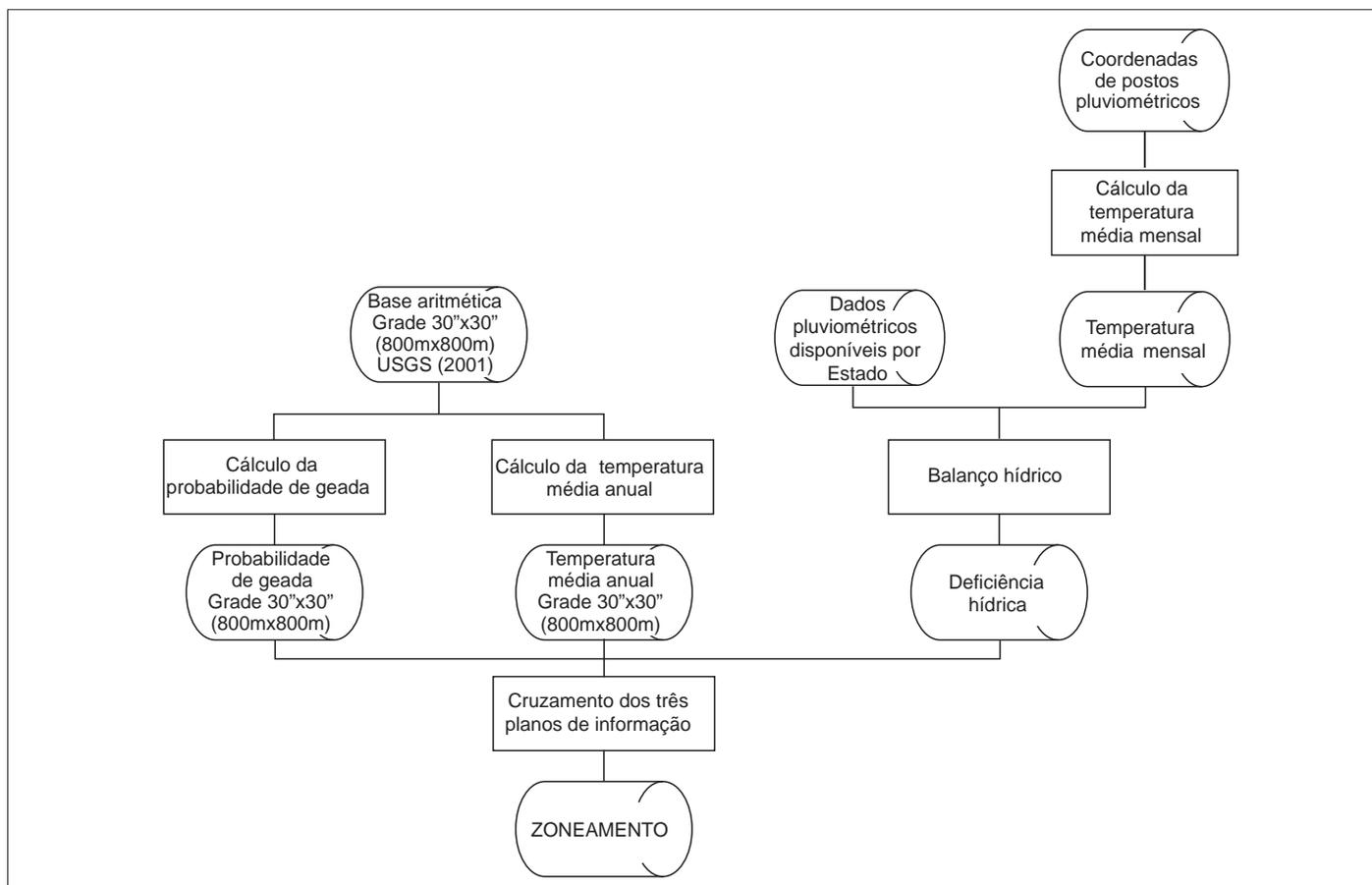


Figura 6 - Fluxograma da metodologia utilizada no Zoneamento de Riscos Climáticos (Zarc) da cafeicultura



Figura 7 - Distribuição espacial da rede de estações pluviométricas utilizada no Zoneamento Agrícola do Brasil
 FONTE: Agritempo (2008a).

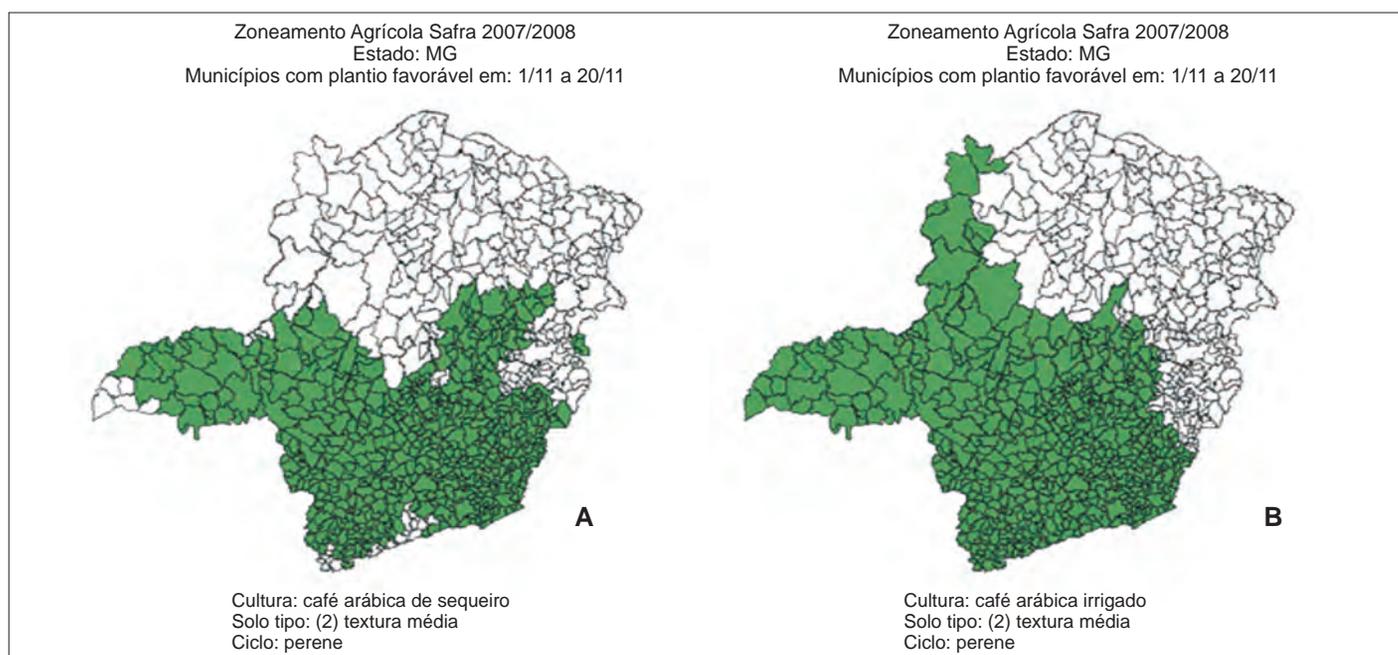


Figura 8 - Zoneamento Climático para a cafeicultura no estado de Minas Gerais
 FONTE: Agritempo (2008b).
 NOTA: A – Sem irrigação; B – Com irrigação.

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

É importante retomar o contexto atual do Zarc como instrumento de gestão e orientação da concessão de crédito de custeio e seguro agrícola no Brasil. As Resoluções 2.403, de 25 de junho de 1997 e 2.427 de, 1º de outubro de 1997, do Banco Central do Brasil foram as primeiras a dispor sobre a obrigatoriedade do zoneamento agrícola em todo o território nacional para acesso ao crédito rural e adesão ao Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), com tarifas diferenciadas. Atualmente, há mais de 20 resoluções que tratam desse tema, dado que a vinculação da concessão de crédito ao Zarc tem sido responsável por expressiva redução nas solicitações de cobertura por eventos meteorológicos sinistrantes, inibição das solicitações fraudulentas e redução na necessidade de aporte de recursos. Em meados da década de 1990, as culturas-alvo dos primeiros estudos para regionalização dos riscos climáticos foram arroz, feijão, milho, trigo, soja, algodão e maçã. No início desta atual década, foram disponibilizados ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) protocolos que permitiram a atualização das técnicas para culturas já contempladas no zoneamento e a regionalização dos riscos para culturas que estavam fora no programa, como as fruteiras tropicais, fruteiras temperadas e as essências florestais, além do estudo que envolve sistemas de produção diferenciados e relativamente recentes, como o sistema de Plantio Direto na palha e os cultivos em épocas secundárias – as chamadas safrinhas.

Atualmente, o foco da pesquisa relacionada com o Zarc é a ampliação do número de culturas com metodologia desenvolvida e testada, facultando a uma ampla gama de produtores o acesso ao financiamento público da agricultura com orientação técnica segura e com baixo risco de perda. Nesse sentido, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Ministério do Desenvolvimento Agrário vêm financiando o projeto “Zoneamento de Riscos

Climáticos: Abordagem para Agricultura Familiar, Bioenergia e Pastagens”, que tem por objetivo viabilizar soluções tecnológicas para atender aos diversos fatores do setor agrícola brasileiro, com foco para pequenos agricultores de todo o País, nos sistemas Integração Lavoura-Pecuária (ILP), e nas culturas destinadas à produção de energia. Existem atualmente no Brasil, próximo de 1,5 milhão de agricultores familiares. A restrição de adesão ao Proagro é grande por parte desses agricultores, uma vez que os zoneamentos existentes, na sua grande maioria, não contemplam as culturas consorciadas e culturas individuais além das chamadas *commodities* agrícolas, dificultando a diversificação das atividades na propriedade rural. Com a definição dos métodos de estimativa de riscos climáticos para essas culturas, será possível ampliar significativamente o acesso ao crédito oficial, com maior oferta de opções de cultivo com baixo risco para a atividade agrícola. Para as culturas destinadas à produção de energia, que atualmente apenas algumas são contempladas pelo Zarc, a definição dos estudos por um lado permite o alinhamento com os instrumentos de crédito oficial e, por outro, faculta aumentar as opções de cultivo com forte absorção de mão-de-obra. Havendo disponibilidade de estudos e informações para zoneamento dos sistemas de ILP, o acesso ao crédito de custeio será facilitado para o cultivo de grãos em rotação com pastagens, com expressivos impactos ambientais e econômicos. É possível prever que essa integração tenha grandes efeitos positivos para a melhora da ciclagem de nutrientes, redução da erosão, aumento da qualidade do pasto e da sua capacidade de suporte (podendo chegar a 2 UA/ha/ano).

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO AGRÍCOLA

Um outro ponto de interesse com relação estreita ao Zarc é o que trata das mudanças climáticas globais. Sem dúvida, essa questão que ganhou força no início desta década foi o tema das mudanças cli-

máticas globais e foi reforçada pelo quarto relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007), quando foi apresentada à comunidade científica uma forte possibilidade de elevação na temperatura da Terra, possivelmente, com graves conseqüências para a humanidade.

Este relatório teve como base uma série de estudos indicando que a temperatura média do planeta à superfície vem aumentando nos últimos 120 anos, já tendo atingido 0,6°C a 0,7°C, tendo a maior parte deste aquecimento ocorrido nos últimos 50 anos. A última década apresentou os três anos mais quentes dos últimos mil anos da história recente da Terra. Hoje, existe um crescente consenso na comunidade científica de que o aquecimento global observado nos últimos 120 anos é provavelmente explicado pelas emissões antropogênicas dos Gases de Efeito Estufa (GEEs), principalmente o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, CFCs e de aerossóis, e não por eventual variabilidade natural do clima.

A possibilidade de mudanças globais no clima torna-se mais realística ao se lembrar que a maioria dos GEEs tem longa vida (décadas a séculos) na atmosfera até serem removidos. Cálculos recentes com sofisticados modelos climáticos globais mostraram que, mesmo que as concentrações destes gases na atmosfera fossem mantidas constantes nos valores atuais, as temperaturas continuariam a subir por mais de 200 anos e o nível do mar, por mais de um milênio.

Após a análise do último relatório do IPCC (2007), as conclusões são de que o aquecimento é inequívoco e que suas principais conseqüências são que desde 1970 houve um acréscimo na temperatura global da terra, na temperatura da troposfera, temperatura dos oceanos, aumento no nível global dos oceanos, aumento no vapor d'água da atmosfera, na intensidade das chuvas, nas temperaturas mínimas, na intensidade e quantidade de furacões. Do mesmo modo houve uma redução na extensão de neve no Hemisfério Norte, na glaciação e no gelo no Ártico.

Quando se analisam os possíveis impactos das mudanças climáticas, as avaliações do IPCC (2001, 2007) indicam sem sombra de dúvida que os países em desenvolvimento são de modo geral os mais vulneráveis. Para o Brasil, não é difícil entender o porquê desta vulnerabilidade: encontram-se abundantes exemplos de impactos adversos da variabilidade natural do clima, como as secas e estiagens, as cheias e inundações e os deslizamentos de encostas, somente para citar alguns. Decorre daí que, quanto maior tenha sido a dificuldade histórica de uma sociedade em conviver com a variabilidade natural do clima e com seus extremos, maior será o esforço para se adaptar às mudanças futuras do clima.

Em particular, o dois setores podem ser particularmente vulneráveis: os ecossistemas naturais e os agroecossistemas. Para este último uma pergunta capital é o que aconteceria com o atual zoneamento agrícola e conseqüentemente com a agricultura, havendo aumento na concentração de CO₂ e elevação da temperatura, conforme as indicações do IPCC para os próximos 100 anos?

Num primeiro momento, o aumento na concentração de CO₂ não resulta em ganhos de produtividade, pois nem sempre o aumento na produção depende da fotossíntese, mas sim da capacidade de drenagem de fotoassimilados pelos grãos (FUHRER, 2003). De acordo com a revisão feita por Kimball et al. (2002), o enriquecimento da atmosfera com CO₂ estimularia a produção de biomassa em gramíneas C3 ** em cerca de 12%, na produção de grãos de trigo (*Triticum aestivum* L.) e do arroz (*Oryza sativa* L.) entre 10%-15% e, em batata (*Solanum tuberosum* L.), o ganho de produtividade pode chegar a 28%. Segundo Amthor (2001), em trigo, a elevação na concentração de CO₂ parece, em boa medida, compensar os efeitos de falta de água moderada para a cultura.

Num segundo momento, ocorre o efeito da elevação da temperatura do ar sobre as

culturas. Nesse sentido, Assad e Luchiarini Junior (1989) utilizaram um modelo fisiológico simplificado para avaliar o efeito da variação de temperatura nas condições do Cerrado brasileiro. Por exemplo, a temperatura média durante a estação chuvosa nessa região (outubro a abril) é de 22°C, tendo um máximo de 26,7°C e um mínimo de 17,6°C. Considerando uma variação térmica regional foram simulados dois cenários:

- a) aumento de 5°C na temperatura média. Nesse caso, para as plantas C4 (milho e sorgo) haveria um incremento potencial de pelo menos 10 kg/ha/dia de grãos secos na produtividade média observada hoje. Para as plantas tipo C3 (soja, feijão, trigo), esse aumento seria menor, da ordem de 2 a 3 kg/ha/dia de grãos secos;
- b) redução média de 5°C. A perda de produtividade nas plantas tipo C4** seria da ordem de 20 kg/ha/dia e nas plantas tipo C3, da ordem de 10 kg/ha/dia.

Neste tipo de abordagem, a tendência geral é que a elevação na concentração de CO₂, até níveis não superiores a 1.000 ppm, provocaria um aumento de temperatura de até 5°C na atmosfera e o resultado seria um aumento de produtividade nas plantas C4 na ordem de 20%, e nas plantas C3, na faixa de 10%.

Posteriormente, alguns modelos mais precisos foram desenvolvidos como é o caso do Ceres-Wheat versão 2.10 (GODWIN et al., 1989), Ceres Maize (JONES; KINIRY, 1989) e Soygro-Soybean (JONES et al., 1988). Esses modelos foram utilizados pelo International Benchmark Sites Network for Agrotechnology (Ibsnat) (JONES et al., 1989) e permitiram considerar, de forma integrada, fatores do solo, da planta e do clima para verificar as variações de produtividade em diversas condições ambientais. No modelo desenvolvido pelo Ibsnat existe uma opção de simular os efeitos

fisiológicos provocados pela variação na concentração de CO₂ da atmosfera.

Modelos como esses são testados em diversas regiões do Globo e têm servido de orientação para suporte à decisão na agricultura. No Brasil, Siqueira et al. (1994), ao utilizarem esses modelos e trabalhando com vários cenários diferentes, em 13 locais, desde baixas latitudes, como Manaus, até latitudes altas, como Pelotas, encontraram respostas bem próximas e mais exatas do que aquelas propostas por Assad e Luchiarini (1989). Trabalhando com os modelos de equilíbrio atmosférico, Siqueira et al. (1994) mostraram que todas as simulações projetavam aumento na temperatura, algumas mudanças de precipitação e efeitos menores na radiação solar. Em decorrência da elevação de temperatura, os ciclos fenológicos do milho e do trigo encurtaram e houve aumentos nas produtividades de milho, soja e trigo, quando ocorreram aumentos nas concentrações de CO₂ que passaram dos atuais 330 ppm para 550 ppm. Em alguns casos foram projetados ganhos superiores a 500 kg/ha, para o milho e trigo, e mais de 1.000 kg/ha, para a soja.

É importante destacar que, mesmo havendo tendência de aumento da produtividade, conforme aumenta a concentração de CO₂, como será o comportamento dessas plantas com relação ao fator hídrico, uma vez que o aumento de temperatura provocará também aumento na eficiência fotossintética com reflexos no consumo de água e maior vulnerabilidade aos estresses hídricos, comuns em regiões tropicais, durante o período das chuvas.

O aquecimento do ar também eleva as taxas evapotranspirativas e promove maior consumo de água por parte das plantas e, portanto, esvaziamento do reservatório "solo" mais rapidamente e, em conseqüência, aumento do risco. A segunda conseqüência seria a redução do ciclo das culturas, principalmente nas plantas C4, tornando-as mais eficientes em termos de assimilação e transformação energética, porém mais sensíveis à deficiência hídrica.

Elaborando-se uma análise similar para a cultura do feijão em Minas Gerais (Fig. 9), pode-se estimar uma redução na área apta para o cultivo do feijão em mais de 90% em relação às condições atuais, com redução de cerca de R\$ 360 milhões nas receitas oriundas da atividade para o Estado, considerando-se apenas o setor agrícola e desconsiderando seus reflexos nos demais setores da cadeia produtiva, caso a temperatura saia do seu patamar atual para mais 5,8°C, conforme a projeção do IPCC (2001).

Numa análise mais ampla, pode-se inferir que a cultura da soja poderia ter cerca de 40% de redução nas áreas aptas para seu cultivo no Brasil, caso a temperatura do ar fosse elevada em 3°C (Fig. 10). Mantido o calendário agrícola atual, a Região Sul do Brasil sofreria o maior impacto, com forte redução de produção. Por outro lado, havendo aumento da temperatura, o calendário de plantio nas altas latitudes

tenderá a deslocar-se, sendo possível o plantio de soja e milho até o final do mês de janeiro, com colheita em junho. No caso das regiões com baixas latitudes, haverá redução de área, sem opções de deslocamento de calendário. A mesma análise para os três cenários é feita para várias culturas, indicando redução na produção e na área plantada.

Essas projeções são feitas a partir de simulações de riscos climáticos de longo prazo, levando em conta os principais efeitos com possibilidade de mensuração e com reflexos na agricultura, ou seja, aumento da temperatura, com observações mais frequentes de dias quentes e ondas de calor; aumento na temperatura mínima, e observação de eventos de precipitação mais intensos.

No caso do café Arábica, são considerados os riscos de geadas, de abortamento de flores sob temperatura maior que 34°C e de deficiência hídrica. O aumento na

temperatura reduziria o risco de geadas, mas aumentaria os riscos de abortamento de flores. Na área dos Cerrados brasileiros, duas regiões podem ser fortemente atingidas no caso do aumento de 1°C na temperatura, isto é, todo o estado de Goiás e a região do oeste da Bahia. Quanto maior a temperatura, maior será o deslocamento da cultura do café em direção ao sul do País (ASSAD et al., 2004). Essas mesmas considerações são válidas para a cultura de citros. Considerando os resultados do primeiro cenário, com aumento de 1,0°C e a redução das áreas cultivadas com café nos estados de Minas Gerais, Paraná e São Paulo, o impacto econômico previsto é estimado em US\$ 375 milhões por ano, equivalentes à redução de 4 milhões de saca de café/ano.

A análise dos cenários é feita com intenção de identificar a vulnerabilidade multidimensional do sistema agrícola brasileiro e sua fragilidade diante das mudan-

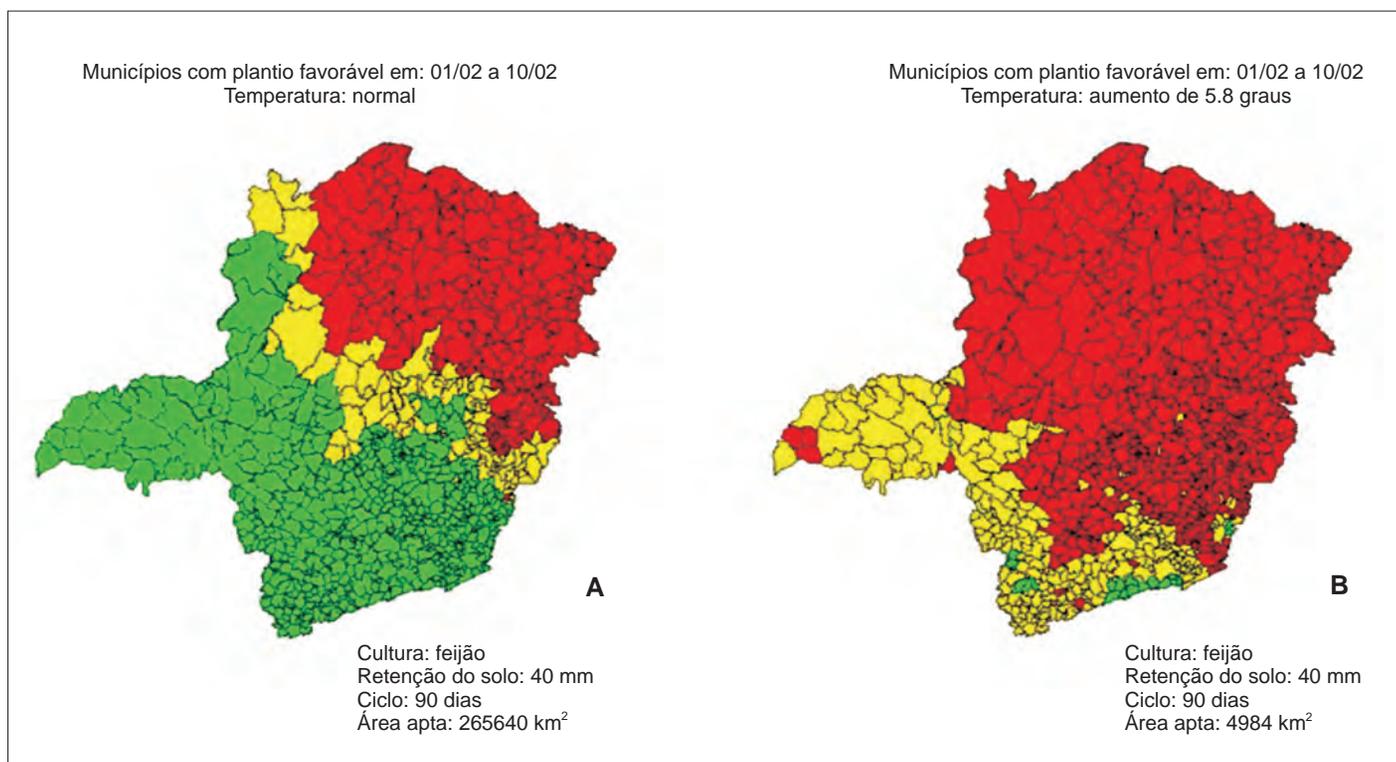


Figura 9 - Zoneamento da cultura do feijão para Minas Gerais

FONTE: Martins e Assad (2007).

NOTA: A - Nas condições atuais de temperatura; B - Com acréscimo de 5,8°C.

As áreas de baixo risco aparecem em cor verde, as de alto risco em vermelho e as intermediárias em amarelo.

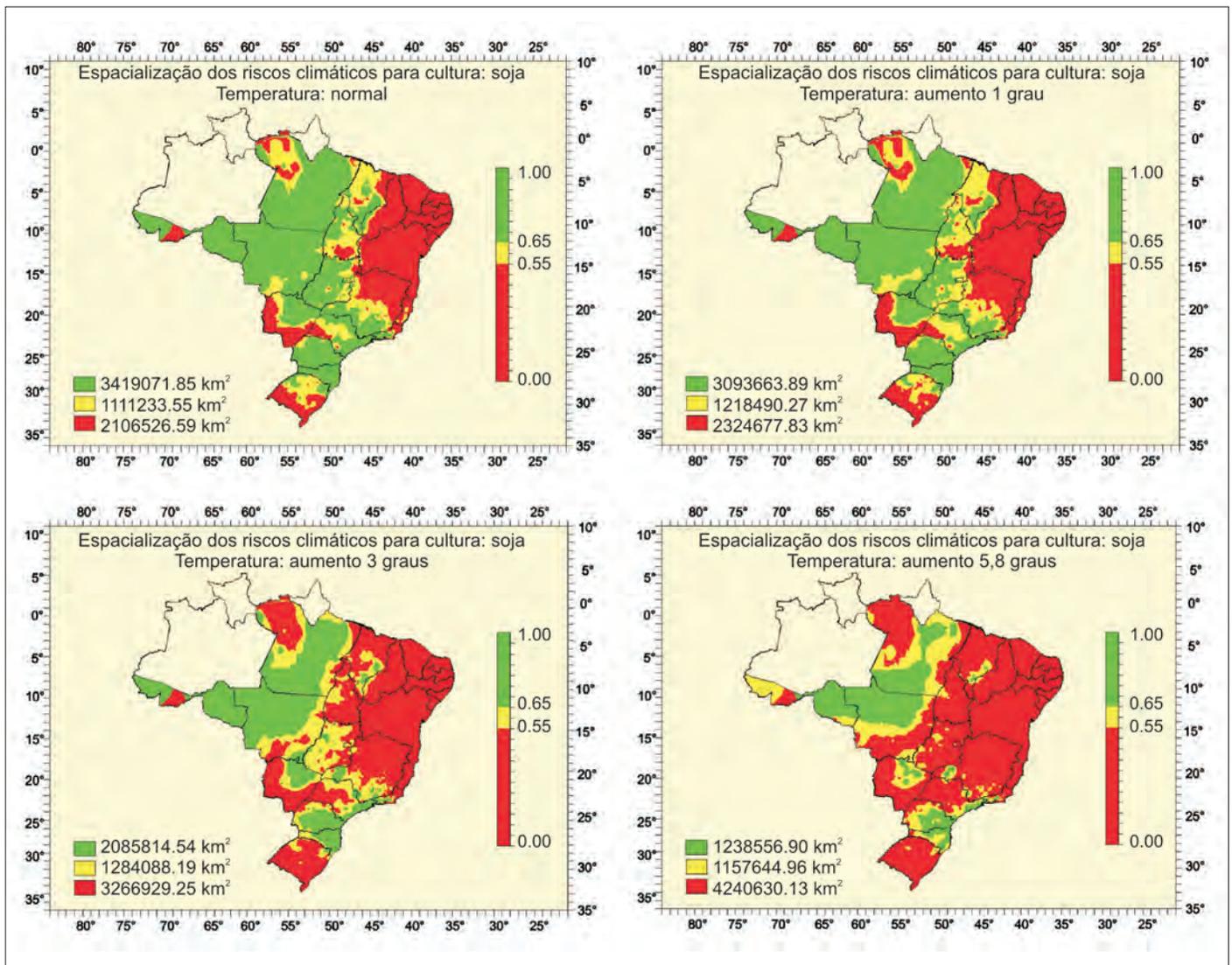


Figura 10 - Impacto do aumento da temperatura nas áreas potencialmente favoráveis (verde) para cultivo de soja no Brasil, para semeadura no primeiro decêndio de novembro, considerando diferentes cenários de mudanças climáticas globais

FONTE: Assad et al. (2007).

ças climáticas. É fundamental construir a capacidade de adaptação à mudança global do clima, utilizando novos princípios, que, basicamente, seriam:

- a adoção do princípio da precaução, evitando-se risco de um dano sério e irreversível, mesmo na ausência da completa certeza científica;
- a adoção do desenvolvimento econômico sustentável;
- no caso brasileiro, adotar o comércio de emissões de carbono como base de discussões comerciais.

Mantido o cenário atual, a adaptabili-

dade das atuais culturas deve ser buscada nos seguintes aspectos:

- tolerância ao calor (para todo o Brasil);
- tolerância à seca (Regiões Sul e Nordeste);
- manejo de solos procurando aumentar a capacidade de conservação de água.

No caso específico da adaptação aos estresses ambientais (tolerância à seca e ao calor), o País tem uma situação ainda privilegiada, que é sua grande biodiversidade. Certamente, na biodiversidade dos

Cerrados e da Amazônia é que se encontram os genes necessários, que permitirão a adaptação das atuais culturas exóticas às mudanças climáticas, mantendo o mesmo nível de produção agrícola. Isto, evidentemente, se num horizonte de curto e médio prazos tais biomas não forem destruídos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como resultados da utilização do Zarc pelo Proagro, podem ser destacados os seguintes fatores:

- redução das solicitações de cobertura por eventos climáticos sinistrantes;

- b) inibição e diminuição das solicitações fraudulentas;
- c) disponibilização de informações gerenciais necessárias à melhor gestão do Proagro;
- d) diminuição dos aportes de recursos financeiros do Tesouro Nacional, da ordem de R\$150 milhões por ano, decorrentes da melhor correlação entre os recursos arrecadados e os despendidos pelo Programa.

Além dos efeitos diretos do zoneamento agrícola, ações decorrentes do seu arranjo institucional e da base de dados de conhecimento gerados pela rede de pesquisa têm permitido contribuir para o avanço do conhecimento em áreas, notadamente no campo da avaliação dos impactos às mudanças climáticas globais sobre a agricultura brasileira. Nesse sentido, a rede de pesquisa tem-se ampliado para responder a mais essa demanda do Estado brasileiro, buscando elaborar o diagnóstico da agricultura brasileira diante do aquecimento global, propondo soluções para adaptação dos sistemas produtivos, contribuindo para o desenvolvimento de novas variedades e de processos de mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS

AFFHOLDER, F.; RODRIGUES, G.C.; ASSAD, E.D. Modelo agroclimático para avaliação do comportamento do milho na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.10, p.993-1002, out. 1997.

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Campinas, [2008a]. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em: abr. 2008.

_____. **Zoneamento agrícola MG**. Campinas [2008b]. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/publish/zoneamento/MG.html>>. Acesso em: abr. 2008.

AMTHOR, J.S. Effects of atmospheric CO₂ concentration on wheat yield: review of results from experiments using various approaches to control CO₂ concentration. **Field Crops Research**, v.73, n.1, p.1-34, Oct. 2001.

ASSAD, E.D. Simulation de l'irrigation et du

drainage pour les cultures pluviales de riz et de maïs en sols de bas-fonds à Brasília. In: TRAVAUX DE IRAT, 13., 1986. **Memoires...** Nogent-sur-Marne: IRAT, 1986.

_____; EVANGELISTA, B.A.; SILVA, F.A.M. da; CUNHA, S.A.R. da; ALVES, E.R.; LOPES, T.S. de S.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J. Zoneamento agroclimático para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.510-518, 2001. Número especial: Zoneamento Agrícola.

_____; LUCHIRARI JUNIOR, A. Future scenarios and agricultural strategies against climatic changes: the case of tropical savannas. In: REUNIÃO SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ESTRATÉGIAS FUTURAS, 1989, São Paulo. [Anais...] São Paulo: USP, 1989.

_____; MARIN, F.R.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J. Mudanças climáticas e agricultura: uma abordagem agroclimatológica. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n.34, p.169-182, jan./jun. 2007.

_____; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; AVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, Nov. 2004.

ASSAD, M.L.L.; BOSCHI, R.S.; NOMURA, E.; EVANGELISTA, B.A.; SILVA, J. dos S.V. da. Uso de informações de solos no Zoneamento Agrícola de Risco Climático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Efeito das mudanças climáticas na agricultura. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007.

_____; SANS, L.M.A.; ASSAD, E.D.; ZULLO JUNIOR, J. Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.588-596, 2001. Número especial: Zoneamento Agrícola.

BRUNINI, O.; ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H.S.; ASSAD, E.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A.P.; PATTERNANI, M.E.Z. Riscos climáticos para a cultura de milho no estado de São paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.519-526, 2001. Número especial: Zoneamento Agrícola.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. de. Teste de uma equação simples para estima-

tiva da evapotranspiração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983.

CAMARGO, M.B.P. de; ALFONSI, R.R.; PINTO, H.S. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em áreas do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1976, Brasília. Bases para utilização agropecuária. São Paulo: Itatiaia, 1977. p.89-120.

_____; PEDRO JUNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anual no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.52, t.2, p.161-168, 1993.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGE, M.S.; GONÇALVES, S.L.; FARIA, R.T. de; ANDROCIOLI FILHO, A.; SERA, T.; CHAVES, J.C.D.; KOGUISHI, M.S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.486-494, 2001. Número especial: Zoneamento Agrícola.

CUNHA, G.R. da; ASSAD E.D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p.377-385, 2001. Número especial: Zoneamento Agrícola.

FOREST, F. **Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales**: présentation et utilisation du logiciel BIP. Montpellier: IRAT: CIRAD, 1984. 63p.

FUHRER, J. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. **Agricultural Ecosystem Environment**, v.97, n.1/3, p.1-20, July 2003.

GODWIN, R.B.; RITCHIE, J.; SINGH, U. **A user guide to Ceres - wheat v.2.10**. Muscle Shoals: IFDC, 1989. 86p.

GÖEPFERT, H.; ROSSETTI, L.A.; SOUZA, J. **Eventos generalizados e seguridade agrícola**. Brasília: IPEA, 1993. 65p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Relatório das atividades desenvolvidas pela Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agrônomo de Campinas no período de junho de 1971 a junho de 1972**: zoneamento do café arábica a pleno sol no

Brasil por viabilidade climática. Campinas, 1972. 81p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. GERCA. Clima e fenologia. In: _____. **Cultura do café no Brasil**: pequeno manual de recomendações. Rio de Janeiro, 1986. p.8-21.

_____; **Plano de renovação e revigoração de cafezais – 1997/78**. Rio de Janeiro, 1977. 45p.

IPCC. **Climate change 2001**: synthesis report. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. **Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>>. Acesso em: abr. 2008.

_____. **Climate change 2007**: sunthesis report. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. **Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm>>. Acesso em: abr. 2008.

JONES, C.A.; KINIRY, J.R. **Ceres-Maize**: a simulation model of maize growth and development. College Station, Texas: University Press, 1989. 194p.

JONES, J.W.; BOOTE, K.J.; JAGTAP, S.S.; HOOGENBOOM, G.; WILKERSON, G.G. **Soygro v.5.41**: soybean crop growth simulation model user's guide. Gainesville: University of Florida, 1988. (Florida Agricultural Experiment Station Journal, 8304).

_____; JAGTAP S.S.; HOOGENBOOM, G. The structure and function of DSSAT. In: IBSNAT SYMPOSIUM, 1989, Las Vegas, Nevada. **Proceedings...** Honolulu: University of Hawai: IBSNAT, 1990. p.1-14.

KIMBALL, B.A.; KOBAYASHI, K.; BINDI, M. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. **Advances Agronomy**, v.77, p.293-368, 2002.

MARTINS, N.P.; ASSAD, E.D. Impactos econômicos das possíveis alterações climáticas na cultura do arroz nos estados de Goiás e Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Efeito das mudanças climáticas na agricultura. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007.

PINTO, H.S.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias mensais do estado de São Paulo em função de altitude e latitude**. São Paulo: USP - Instituto de Geografia, 1972. 20p. (USP – Instituto de Geografia. Caderno de Ciências da Terra, 23).

_____; PEDRO JUNIOR, M.J.; CAMARGO, M.B.P. de. Avaliação de efeitos causados por geadas à agricultura paulista através do uso de cartografia computadorizada. In: CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 1., 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Automação, 1983. p.274-279.

_____; TARIFA, J.R.; ALFONSI, R.R. Estimation of frost damage in coffee trees in the state of São Paulo-Brazil. In: CONFERENCE ON AGRICULTURE AND FOREST METEOROLOGY, 13., 1977, Boston. Boston: American Meteorological Society, 1977. p.37-38.

_____; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E.D.; ALFONSI, R.R.; CORAL, G.; BRUNINI, O. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.495-500, 2001. Número especial: Zoneamento Agrícola.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JUNIOR, J.C.F.; SANTOS, A.R. dos; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.M.N. da; COSTA, L.C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.501-509, 2001. Número especial: Zoneamento Agrícola.

SIQUEIRA, O.J.F.; FARIAS, J.R.B.; SANS, L.M.A. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture and adaptive strategies for wheat, maize and soybean. **Revista Brasileira de Agroclimatologia**, Santa Maria, v.2, p.115-129, 1994.

THORNTHWAITE, C.W.; MATTER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1).

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Earth Resources Observation and Science. [2008]. Disponível em: <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>. Acesso em: abr. 2008.

VAKSMANN, M. **Le modèle BIPODE**: Logiciel. Bamako, Mali: IRAT. 1990.



MONTANHAS E VALES MINEIROS:

NOVO CENÁRIO PARA VINHOS FINOS NACIONAIS

Produção de material vegetativo isento de víruses

Assessoria técnica para instalação de vinhedos

Análises para vinhos e derivados

Capacitação de mão-de-obra especializada em viticultura e enologia

Vinícola incubadora de empresas



EPAMIG
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Núcleo Tecnológico EPAMIG UVA e VINHO
Av. Santa Cruz, 500 - Caixa Postal 33 - CEP 37780-000 - Caldas/MG
Tel.: (35) 3735-1101 - epamig@epamigcaldas.com.br

Geotecnologias aplicadas à agrometeorologia

Margarete Marin Lordelo Volpato¹

Helena Maria Ramos Alves²

Tatiana Grossi Chquiloff Vieira³

Resumo - As geotecnologias são cada vez mais utilizadas em estudos meteorológicos, de previsão climática e monitoramento agrícola, tanto para coleta, processamento e análise de dados meteorológicos, como para geração de tabelas e mapas, produzindo um maior número de informações e ampliando a abrangência e as possibilidades de aplicação destas informações. A visualização de fenômenos climáticos por meio da espacialização dos dados e da produção de mapas facilita a interpretação, o entendimento e a percepção desses fenômenos em escala local, regional e global. Dessa forma, contribuem para o sucesso do planejamento agrícola diante das adversidades climáticas e da sustentabilidade da vida no planeta.

Palavras-chave: Mudança climática. Sensoriamento remoto. SIG. Radar meteorológico. Geoestatística.

INTRODUÇÃO

A preocupação com as adversidades do tempo e do clima remonta ao início da existência do homem, quando as forças naturais eram consideradas manifestações divinas. Com a evolução da humanidade, surgiram diversas correntes de pensamento sobre a relação homem-natureza, principalmente sobre o planejamento das atividades agrícolas diante das adversidades climáticas.

Na era moderna, as técnicas de coleta, processamento e análise de dados meteorológicos evoluíram rapidamente. Com o avanço da tecnologia da informação e o advento das geotecnologias, quanto maior o número de informações meteorológicas globais, regionais e locais, maior é a possibilidade de sucesso do planejamento agrícola.

Geotecnologias possibilitam associar qualquer tipo de informação, mas princi-

palmente as agrometeorológicas, ao espaço geográfico. Não existe uma definição completa e satisfatória para geotecnologia. De maneira simples e didática pode-se afirmar que é um conjunto de tecnologias que usa computadores e programas computacionais para a coleta, tratamento, processamento e modelagem de dados e informações georreferenciados, as geoinformações. Para tanto são utilizadas diversas ferramentas, tais como a geoestatística, o sensoriamento remoto, por meio de imagens de satélite e fotografias aéreas, o Global Positioning System (GPS) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

Os SIGs são programas computacionais que permitem armazenar, analisar e processar geoinformações, associando-as a dados cadastrais por meio de bancos de dados geográficos. Imagens de satélite permitem a visualização da distribuição das culturas agrícolas e seu estado vegetativo,

da temperatura da superfície terrestre, da presença de nuvens e outras informações relevantes que são processadas e analisadas pelo SIG. Dessa maneira, é possível caracterizar as condições ambientais e agrícolas com maior precisão, maior rapidez e menor custo e realizar o monitoramento destas condições com periodicidade pré-definida. Como produtos obtêm-se mapas digitais sobre temas diversos, que podem ser apresentados por municípios e/ou regiões geográficas. Dessa forma, as geotecnologias tornam-se cada vez mais presentes no dia-a-dia da agricultura.

Existe no mercado um grande número de opções de imagens de satélite, modelos de GPS e SIGs. Com uma equipe pequena, mas bem treinada, é possível realizar em semanas o trabalho que, sem o uso das geotecnologias, levaria meses. Periodicamente são lançados satélites com sensores mais potentes e SIGs com maior capacidade de

¹Eng^a Florestal, D.Sc., Pesq. EPAMIG-CTSM, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: margarete@epamig.ufla.br

²Eng^a Agr^a, D.Sc., Pesq. Embrapa Café/EPAMIG-CTSM, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: helena@ufla.br

³Eng^a Agrimensora, M.Sc., Pesq. IMA/EPAMIG-CTSM/Bolsista FAPEMIG, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: tatiana@epamig.ufla.br

análise, processamento e armazenamento de informações. Esses produtos estão sendo desenvolvidos por inúmeras empresas de ciência e tecnologia, inclusive empresas brasileiras, como, por exemplo, os satélites da série CBERS e o SIG SPRING, ambos projetados e desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), que fornece imagens e acesso gratuitos.

GEOESTATÍSTICA PARA ESTUDOS AGROMETEOROLÓGICOS

Antes da década de 1980 praticamente todos os estudos climáticos no Brasil apresentavam caráter local, sem a preocupação de espacializar os fenômenos de frequência e probabilísticos com definição de padrões regionais. Foi com o desenvolvimento da geoestatística que as análises regionais tornaram-se mais usuais.

A geoestatística é a aplicação de métodos matemáticos e estatísticos nas geociências e pode ser utilizada em diversas aplicações como, por exemplo, na estimativa espacial e temporal de dados, na modelagem de fenômenos e simulação de cenários, bem como na análise de riscos e zoneamentos.

A representação de dados climáticos no espaço é essencial em diversas áreas do conhecimento, sendo de uso extensivo nas áreas de agronomia, biologia, ecologia, geografia, geologia e meteorologia.

Um mapa é construído a partir das posições espaciais de pontos obtidos no campo, normalmente representados pelos valores X, Y e Z. As coordenadas são os valores X, posição do ponto no eixo da ordenada leste-oeste, e Y, posição na abscissa norte-sul. O valor Z representa o valor observado da variável no ponto XY.

O primeiro passo em qualquer estudo espacial é a definição do delineamento experimental que envolve, entre outros procedimentos, a escolha da técnica de coleta de amostras e também da malha de amostragem, pois é necessário que os dados XYZ estejam dispostos numa malha regular. Isto significa que, após a coleta de

dados no campo, geralmente numa malha irregular ou mesmo agrupados, estes deverão ser regularizados. Independentemente das diversas técnicas de amostragem, é sempre necessário conhecer a posição das amostras no espaço, ou seja, seu georreferenciamento. Nesses pontos são realizadas as medidas para o estudo, tais como: precipitação, evapotranspiração ou qualquer outra variável ambiental desejada.

A partir das coordenadas dos pontos e dos valores assumidos pela variável desejada em cada ponto de observação, pode-se obter um mapa da distribuição espacial dessa variável, utilizando-se um algoritmo de interpolação. Isto significa que os valores dos pontos desconhecidos serão estimados a partir dos pontos observados. Existem vários métodos de interpolação que podem fornecer diferentes resultados. Dessa forma, a escolha do método depende de cada caso específico. Os métodos mais comuns de interpolação são: Vizinheiro mais Próximo, Vizinheiro Natural, Triangulação Linear, Inverso da Potência da Distância, Mínima Curvatura, Regressão Polinomial e Krigagem. A geoestatística é, portanto, uma ferramenta importante que facilita o trabalho do técnico ou pesquisador, uma vez que evita a necessidade de traçar mapas com réguas, transferidores e outros instrumentos analógicos tradicionais, reduzindo o tempo desse processo. Constitui também um método menos subjetivo, pois usa algoritmos matemáticos para gerar isolinhas, otimizando o trabalho do usuário.

Dentre os estudos pioneiros que utilizaram a geoestatística na agrometeorologia podem-se citar Assad et al. (1993), que utilizaram a geoestatística para estudar a frequência e a probabilidade de ocorrência de veranicos na região dos Cerrados brasileiros, e Pellegrino et al. (1998), que utilizaram a geoestatística para gerar mapas de temperatura do ar, água disponível no solo e outras variáveis ambientais para o estado de São Paulo. A partir desses trabalhos iniciou-se a disponibilização de dados agrometeorológicos espacializados na Internet.

O Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (Ciiagro), do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em cooperação com o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri), da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), disponibiliza informações agrometeorológicas do estado de São Paulo, bem como os mapas gerados. Estas informações estão disponíveis em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br>.

Mais recentemente, o Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agri-tempo) gerenciado pela Embrapa Informática Agropecuária em cooperação com o Cepagri, permitiu o acesso a informações agrometeorológicas dos demais Estados brasileiros via Internet. O sistema possui dados de 912 estações agrometeorológicas e gera, como produtos, mapas e gráficos de séries históricas, monitoramento com base no balanço hídrico (estiagem, água disponível no solo, temperatura, evapotranspiração), previsão (temperatura, precipitação), seca (dias sem chuva), zoneamentos e produção agrícola por região e por Estado. Essas informações estão disponíveis em: <http://www.agritempo.gov.br>.

A Figura 1 apresenta o mapa de monitoramento da precipitação acumulada da Região Sudeste. A Figura 2 apresenta o mapa de previsão de temperatura máxima da mesma região e a Figura 3 apresenta o mapa de índice de seca para o estado de Minas Gerais.

SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDOS AGROMETEOROLÓGICOS

Sensoriamento remoto pode ser definido como uma tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação e registro da energia refletida ou emitida desta superfície, por equipamentos sensores (MOREIRA, 2003). Os sensores podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas (aviões) e orbitais (satélites artificiais). Esses sensores operam em diferentes regiões do espectro eletromagnético, captando

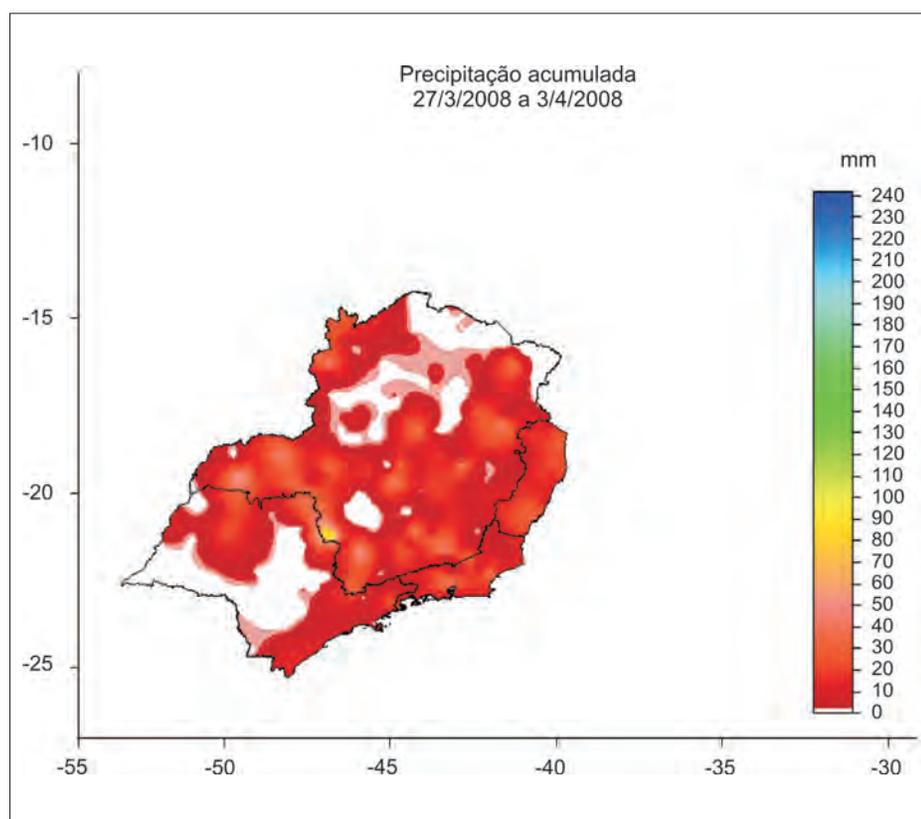


Figura 1 - Mapa de monitoramento da precipitação acumulada da Região Sudeste brasileira

FONTE: Agritempo (2008b).

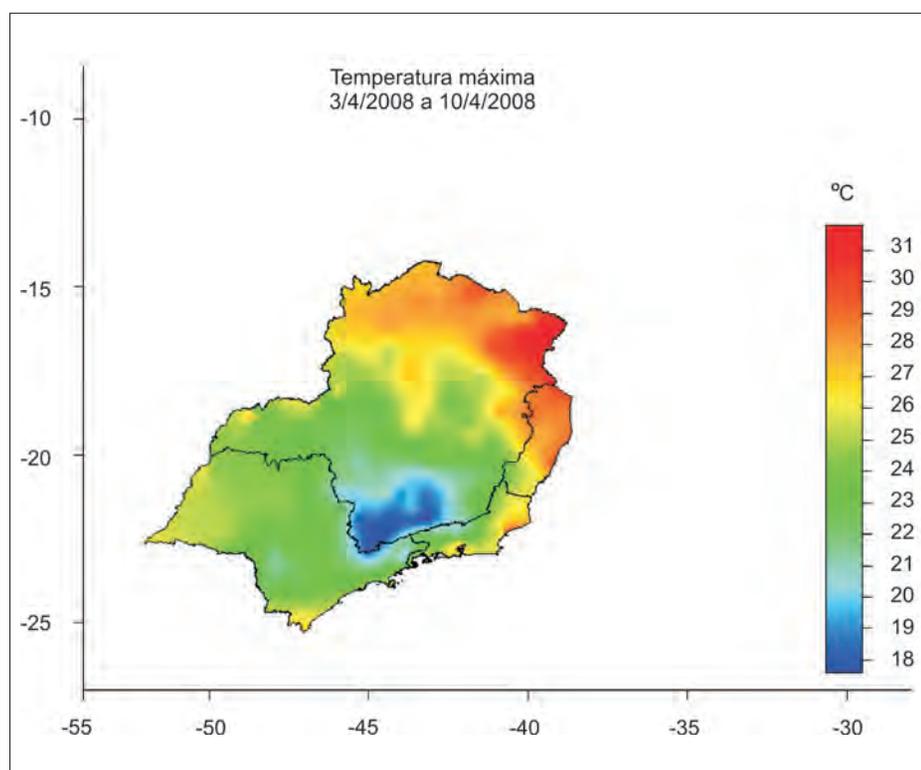


Figura 2 - Mapa de previsão de temperatura máxima da Região Sudeste brasileira

FONTE: Agritempo (2008b).

dados de uma ou mais regiões do espectro no sistema de varredura.

O sensoriamento remoto tem sido utilizado em inúmeros estudos meteorológicos, climáticos, de previsão e monitoramento agrícola.

As observações ambientais por meio de sensores orbitais vêm sendo realizadas desde 1960, quando o satélite ambiental Television and Infrared Observation Satellite (Tiros 1), destinado a coletar informações sobre a atmosfera terrestre, foi lançado pelos Estados Unidos.

O sensoriamento remoto fundamenta-se na captação da radiação eletromagnética, ou seja, energia que se propaga através do espaço em forma de ondas, e sua interação com alvos naturais (nuvens, superfícies continentais e oceânicas, aerossóis etc.). O espectro eletromagnético abrange um vasto campo de comprimentos de onda, classificado por região: raios gama, raios X, ultravioleta, visível, infravermelho, microondas e ondas de rádio.

Para a compreensão do processo de sensoriamento remoto é importante entender as principais características dos espectros de radiação solar e da reirradiação da Terra. A principal fonte de energia para os fenômenos que ocorrem em nosso planeta é a radiação solar (ou radiação de ondas curtas). Esta é concentrada principalmente na região do visível (entre cerca de 0.4 e 0.7 μ m). Ao interagir com o sistema Terra-atmosfera, a radiação solar sofre uma série de transformações, sendo então reirradiada para o espaço na forma de radiação terrestre (ou radiação de ondas longas), que se concentra principalmente no infravermelho termal (entre cerca de 4 a 100 μ m). A Figura 4 ilustra a obtenção de imagens por sensoriamento remoto por meio de satélites orbitais.

Imagens produzidas pelo sensor na região do visível são resultado da reflexão da radiação solar pelas nuvens e pela superfície da Terra. O brilho neste tipo de imagem é uma indicação do albedo, ou seja, a porcentagem da radiação solar refletida dos alvos. Tons claros representam áreas de alto albedo e tons mais escuros

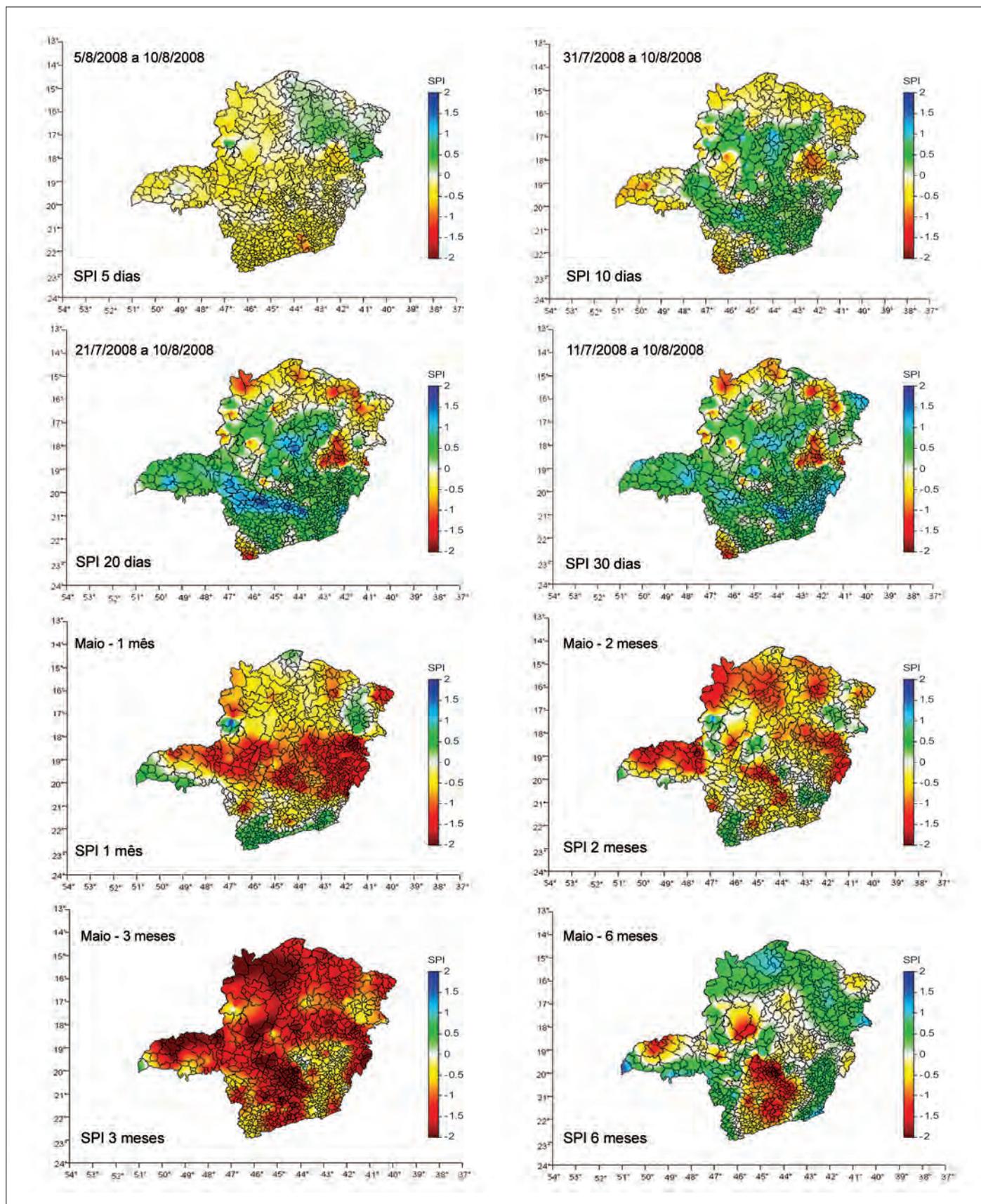


Figura 3 - Mapa de índice de seca para o estado de Minas Gerais

FONTE: Agritempo (2008a).

NOTA: SPI - Standardized Precipitation Index.

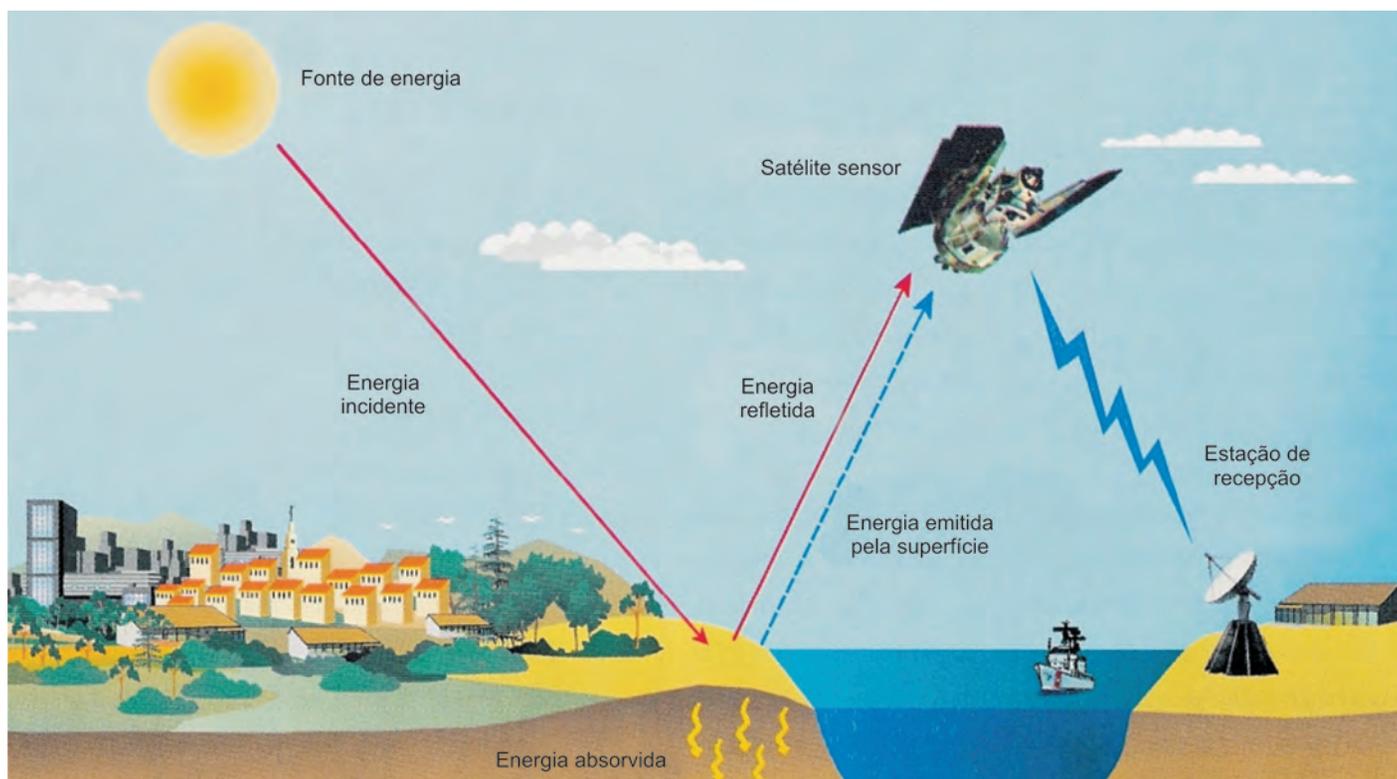


Figura 4 - Representação dos sistemas de obtenção de imagens por sensoriamento remoto
 FONTE: Florenzano (2002).

representam áreas de baixo albedo. O brilho de uma nuvem, conforme vista do espaço, é afetado pela posição angular da nuvem em relação ao sensor e ao Sol na hora da observação e pela refletividade da própria nuvem. A refletividade, por sua vez, está relacionada com a profundidade da nuvem, distribuição e tamanho das gotas, composição (gotas de água ou gelo) e conteúdo de água líquida.

Os sensores de radiação infravermelha medem a energia emitida pela superfície e pela atmosfera da Terra. A quantidade de energia emitida depende da temperatura da fonte radiativa. Na imagem do infravermelho, por convenção, tons claros representam áreas frias e tons escuros representam áreas quentes.

Outra característica importante do sensoriamento remoto é a possibilidade de interpretação dos fenômenos no decorrer do tempo. Com esta informação pode-se acompanhar a formação e o avanço de uma frente fria, o deslocamento das nuvens, a variação da temperatura das superfícies e o comportamento das culturas agrícolas.

Os principais sensores orbitais utilizados para estudos agrometeorológicos são o Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) dos satélites National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), os sensores dos satélites Geostationary Satellite Server (GOES) e, mais recentemente, o sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) dos satélites Aqua e Terra. O Quadro 1 mostra as principais características destes sensores, que possibilitam extrair informações sobre plantas e solos.

Existem também os sensores do tipo radar, instalados em plataformas terrestres, que produzem sua própria energia eletromagnética na região de microondas. Os radares meteorológicos têm como função localizar a presença de chuva em sua área de abrangência, sendo utilizados para previsão do tempo e de inundações. O radar emite ondas eletromagnéticas que, ao passar por uma nuvem, causam em cada gota uma ressonância na frequência da onda incidente. Desse modo, cada gota produz ondas eletromagnéticas que são irradiadas

em todas as direções. Parte dessa energia gerada pelo volume total de gotas volta ao prato do radar. Sabendo-se o momento em que o feixe de onda foi emitido pelo radar e quanto tempo depois o sinal retornou, determina-se a distância do alvo ao radar. A intensidade do sinal de retorno está ligada ao tamanho e à distribuição das gotas no volume iluminado pelo radar.

O radar não mede diretamente a chuva, mas recebe um determinado nível de retorno dos alvos de chuva denominado refletividade. Esta refletividade possui uma relação física com o espectro de gotas observado. A partir deste espectro pode-se determinar a relação entre a refletividade do radar e a taxa de precipitação correspondente. A Figura 5 apresenta a imagem composta dos radares de Bauru e de Presidente Prudente.

São inúmeras as aplicações dos dados de sensoriamento remoto em estudos do meio ambiente, especialmente no monitoramento da vegetação. Neste campo merecem destaque as pesquisas de monitoramento das florestas tropicais, os estudos

QUADRO 1 - Características dos satélites ambientais meteorológicos

Características	GOES	AVHRR/NOAA	MODIS (Aqua/Terra)
Órbita	Geoestacionária	Quase polar	Quase polar
Altitude	36.000 km	850 km	705 - 707 km
Tempo de imagens	30 min	12 horas	1 - 2 dias
Número de canais espectrais	5	5	36
Resolução espacial	1, 4 e 8 km	1,1 km	250 m (bandas 1-2) 500 m (bandas 3-7) 1 km (bandas 8-36)

NOTA: GOES – Geostationary Satellite Server; AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer; NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration; MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

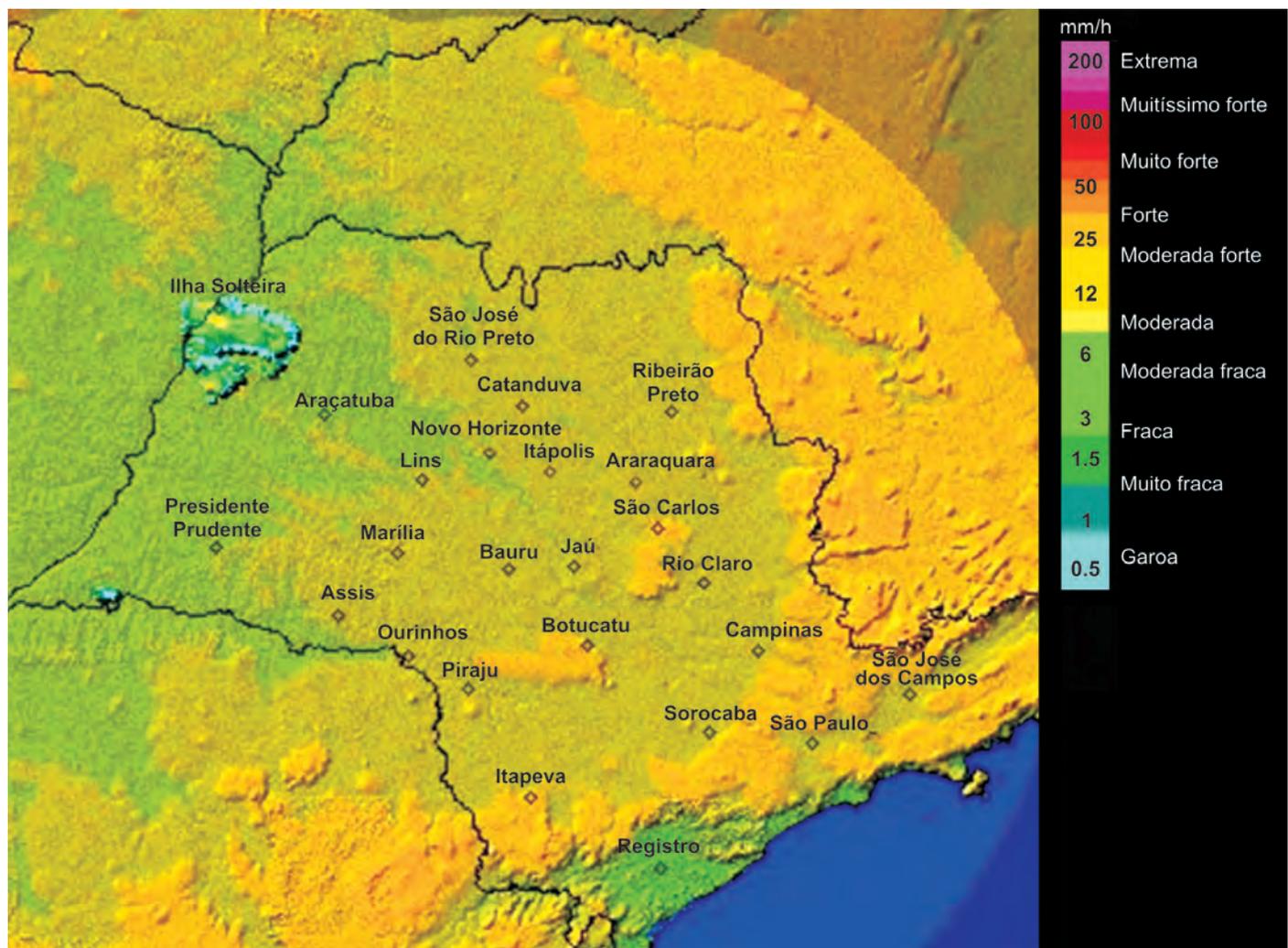


Figura 5 - Imagem composta dos radares de Bauru e de Presidente Prudente

FONTE: Ipmet (2008).

NOTA: No dia 10/4/2008 às 9 horas.

dos desmatamentos, de averiguação da dinâmica da vegetação, de determinação e previsão de seca, de avaliação de risco de incêndio e estudos de correlação com dados pluviométricos.

Estimativa de precipitação em regiões tropicais utilizando imagens do satélite GOES

Das variáveis que compõem o balanço hídrico, a precipitação é, certamente, o fator natural determinante da produção agrícola no País. A deficiência hídrica afeta praticamente todos os aspectos relacionados com o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas. Por outro lado, o excesso de precipitação também pode influenciar negativamente a quantidade e a qualidade dos grãos a serem colhidos.

Uma das maiores dificuldades para os tomadores de decisão é o acompanhamento das condições climáticas. A rede de estações de superfície é deficiente e mal distribuída e nem sempre os dados são disponibilizados. Deve-se considerar, ainda, que a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação impede que o pluviômetro represente adequadamente as chuvas incidentes em uma determinada área.

A estimativa de precipitação a partir de imagens obtidas por satélites ou radares, em função da excelente cobertura espacial e temporal, pode-se apresentar como a única forma de obtenção de dados pluviométricos representativos de uma determinada área.

Avila (2006) propôs um método de estimativa de precipitação para fins agrícolas por meio de imagens do satélite meteorológico GOES, utilizando como referência terrestre os dados do radar meteorológico do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (Ipmet) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho (Unesp), localizado em Bauru, e quatro pluviômetros localizados dentro da área de cobertura do radar. Os resultados mostram que precipitações oriundas de nuvens mais frias são mais previsíveis pelos satélites do que

as provenientes de nuvens mais quentes. Segundo esse autor, o estudo desenvolvido indica a possibilidade de acompanhamento dos intervalos de estiagens em regiões agrícolas com o uso de imagens de satélite, que se tornam ferramenta adequada ao monitoramento agrícola, na estimativa de quebra de safras no País.

Estimativa do potencial de incêndios em pastagens

Volpato (2002), com o intuito de contribuir para o desenvolvimento de sistemas de prevenção de incêndio em áreas de pastagem, realizou um estudo para estimar índices de perigo de incêndios, utilizando AVHRR/NOAA. Esse estudo foi realizado nos períodos de seca (junho a setembro), dos anos de 1998 e 1999, na Fazenda Experimental do Instituto de Zootecnia da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, localizada no município de Nova Odessa. Foram realizadas medidas de umidade da vegetação (pastagem de *Brachiaria* sp.) e do solo, estudo diário das variáveis meteorológicas, cálculo diário dos índices de perigo de incêndio e coleta de dados radiométricos de campo e do satélite AVHRR/NOAA.

A umidade da vegetação foi correlacionada com os índices de perigo de incêndio, com o balanço hídrico climatológico, com as respostas espectrais do campo e as imagens AVHRR/NOAA.

Nos períodos de seca de 1998 e 1999, a umidade do material combustível decresceu de 50% a 45%, para 35% a 30%. No início do período de maior número de focos de fogo, a umidade do material combustível foi menor que 40%. Os resultados também mostraram que um déficit de 60% de água disponível no solo, para uma Capacidade de Água Disponível (CAD) de 125 mm, pode representar perigo de incêndio em pastagens. Fatores de reflectância no Canal 1 (vermelho) do AVHRR/NOAA maiores que 0,07 e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI⁴) menores que 0,5 podem representar perigo de incêndios em pastagens, com 80% de probabilidade de acerto. O Quadro 2 apresenta valores do coeficiente de correlação entre as variáveis fator de reflectância no Canal 1, NDVI, umidade da vegetação *Brachiaria*, umidade do solo, dias sem chuva maior que 10 mm e fórmula de Monte Alegre (FMA) para os anos de 1998 e 1999.

QUADRO 2 - Valores do coeficiente de correlação (r) entre as variáveis: fator de reflectância no Canal 1 (C1), NDVI (ambos obtidos a partir do AVHRR/NOAA), umidade do material combustível (UMC), umidade do solo (US), dias sem chuva maior que 10 mm (DSC10) e fórmula de Monte Alegre (FMA), para os anos de 1998 e 1999 e calculados a partir de sete imagens

Variáveis	C1	NDVI
Em 1998		
UMC	-0,89	0,73
US	-0,78	0,65
DSC10	0,81	-0,76
FMA	0,84	-0,67
Em 1999		
UMC	-0,64	0,72
US	-0,63	0,79
DSC10	0,82	-0,89
FMA	0,84	-0,89

FONTE: Volpato (2002).

NOTA: Correlações significativas a 5%.

⁴NDVI = (Infravermelho - vermelho)/(Infravermelho + vermelho).

Segundo Volpato (2002), o emprego das imagens do satélite AVHRR/NOAA demonstrou grande potencial para estimativa do grau de perigo de incêndios em pastagens, em consequência da sua frequência de imageamento e dos bons resultados obtidos neste trabalho.

A Figura 6 apresenta a imagem do canal infravermelho do AVHRR/NOAA, do dia 24/6/99, utilizada para estimar o perigo de incêndio em pastagem de *Brachiaria* em Nova Odessa.

Deteção de geadas em lavouras de café

Os danos causados pela geada são geralmente avaliados por métodos convencionais, que requerem intensivo trabalho

de levantamento no campo. Este trabalho, além de caro, é subjetivo, muito demorado e quase sempre leva à especulação do mercado cafeeiro por falta de um real dimensionamento do impacto da geada sobre as lavouras.

A geada provoca mudanças fisiológicas na vegetação que podem ser observadas por sensores remotos, em função das mudanças no comportamento espectral das coberturas vegetais afetadas. Portanto, uma alternativa para substituir a metodologia convencional pode ser o emprego de imagens de satélite para detectar a abrangência da área atingida por geada.

Para avaliar o uso de imagens do sensor MODIS para detectar áreas cafeeiras atingidas por geada no Noroeste do estado

do Paraná, Rafaelli e Moreira (2007) estudaram duas geadas de alta intensidade ocorridas nos dias 13 e 17 de julho de 2000. Foram selecionadas imagens MODIS, bandas 1 e 2 (correspondentes ao vermelho e infravermelho), com resolução de 250 m, obtidas nas datas 6, 17 e 24 de julho de 2000. As imagens e informações de campo coletadas com GPS em 36 lavouras afetadas pela geada foram inseridas no Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (Spring). Também foram processadas as imagens NDVI, que permitem avaliar as mudanças de vigor da vegetação. O Gráfico 1 mostra os valores médios de NDVI das 36 lavouras de café avaliadas nas três datas das imagens MODIS.

Dados meteorológicos, correspondentes às temperaturas mínimas ocorridas nos dias das geadas, foram obtidos nas estações meteorológicas terrestres. Foram registradas temperaturas mínimas de 2,5°C a 0,2°C em Bandeirantes, -0,2°C a -1,3°C em Londrina e 2,4°C a 0°C em Irati, nos dias 13 e 17 de julho, respectivamente.

Com os resultados obtidos, Rafaelli e Moreira (2007) concluíram que no estado do Paraná foi possível observar o vigor vegetativo da cultura do café ao analisar imagens MODIS obtidas antes e depois da ocorrência de geada e detectar as áreas atingidas.

Modelo agrometeorológico-espectral para monitoramento e estimativa da produtividade do café na Região Sul/Sudoeste de Minas Gerais

Rosa (2007) desenvolveu um modelo agrometeorológico-espectral utilizando imagens do satélite MODIS para monitorar e estimar a produtividade de áreas cafeeiras na Região Sul/Sudoeste do estado de Minas Gerais.

A fim de obter uma caracterização espectral da cultura do café, foi avaliado o comportamento dos índices de vegetação, Índice de Vegetação Potencializado (EVI) e NDVI, oriundos das imagens MODIS, para três tipos de lavoura de café: café em

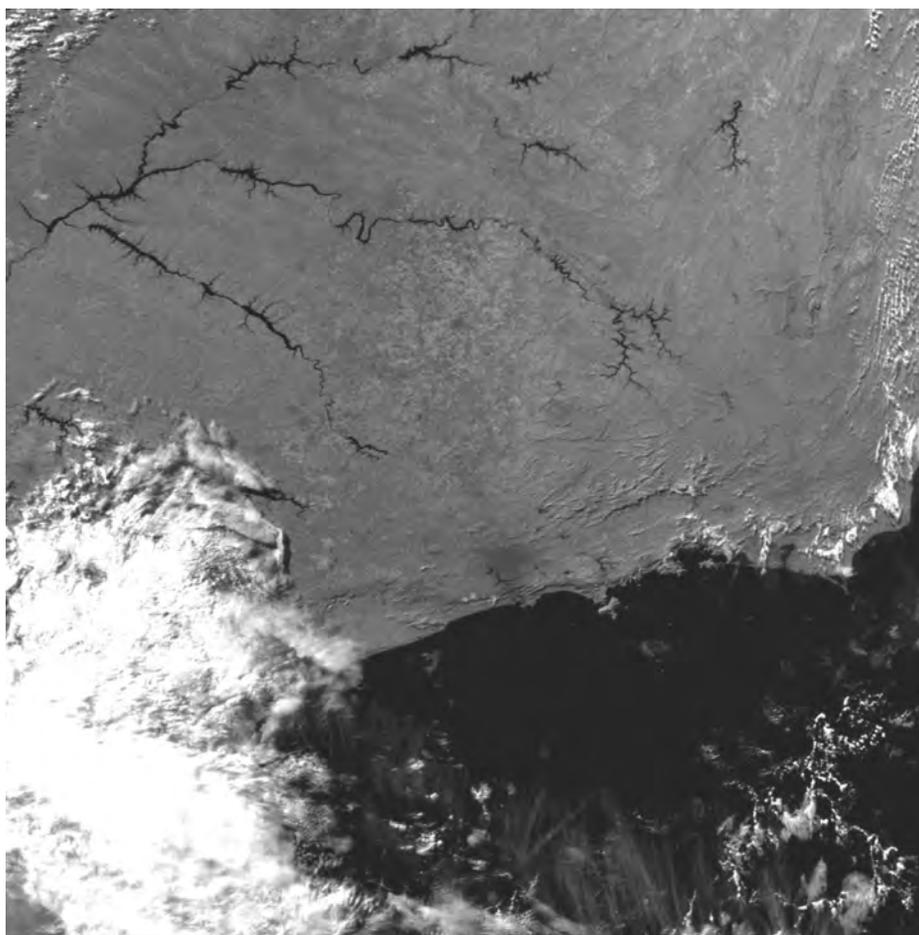


Figura 6 - Imagem do canal infravermelho do AVHRR/NOAA

FONTE: Volpato (2002).

NOTA: No dia 24/6/1999.

AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer; NOAA - Nacional Oceanic and Atmospheric Administration.

produção, café em formação e café podado. Os resultados mostraram que os índices apresentaram relação com a fenologia e o manejo da cultura. A estimativa da produtividade regional, microrregional e municipal foi realizada para os anos agrícolas 2001/2002, 2002/2003, 2003/2004 e 2004/2005. A metodologia consistiu em

adaptar um modelo agrometeorológico-espectral inserido em um SIG, cuja variável espectral de entrada é o Índice de Área Foliar (IAF) estimado a partir das imagens NDVI do sensor MODIS.

Outras variáveis de entrada foram os dados meteorológicos gerados pelo modelo regional de previsão de tempo Eta e

a capacidade de água disponível no solo, obtida a partir de um mapa de solos. Os parâmetros do modelo foram ajustados com base nos dados de produtividade disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para os anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005. As diferenças relativas entre a estimativa da produtividade pelo modelo proposto e os dados do IBGE, na escala regional, foram de 0%; 14,36%; 0,6% e 2,4% para os anos agrícolas 2001/2002, 2002/2003, 2003/2004 e 2004/2005, respectivamente (Quadro 3). Em escala microrregional, os melhores resultados foram obtidos para os anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005, cujas diferenças relativas não ultrapassaram 11%.

Segundo Rosa (2007), os resultados encontrados comprovaram o grande potencial da aplicação do modelo agrometeorológico-espectral para obtenção da estimativa da produtividade de áreas cafeeiras, em escala regional, utilizando-se imagens MODIS.

Outros estudos, utilizando geotecnologias e agrometeorologia, foram descritos por Vieira et al. (2007), Alves et al. (2007), Meireles et al. (2007), Camargo et al. (2007), Caramori et al. (2007) e Machado et al. (2007). Os trabalhos completos podem ser encontrados no Informe Agropecuário (2007).

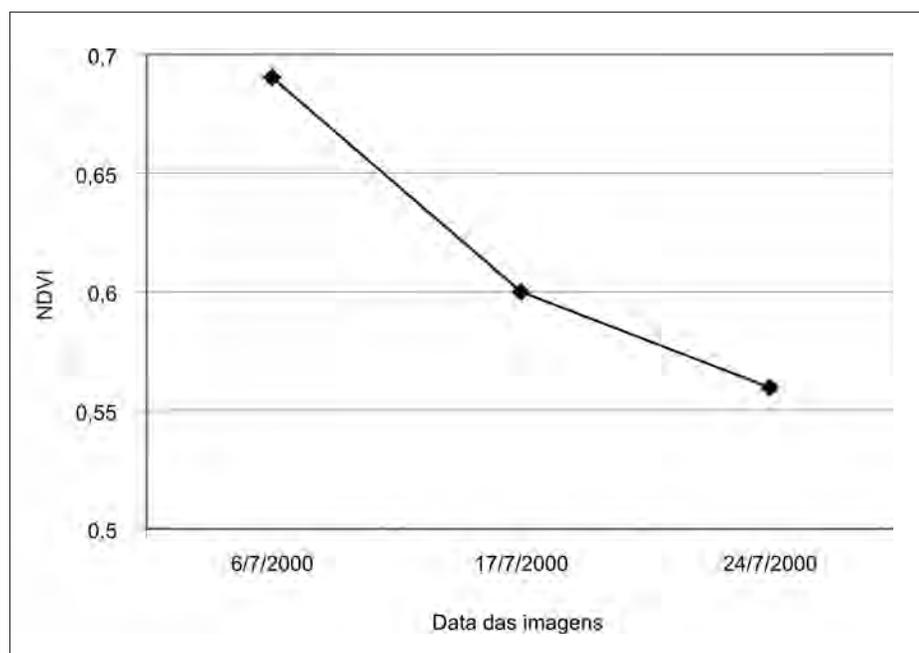


Gráfico 1 - Valores médios de NDVI de 36 lavouras de café para três datas de imagens MODIS

FONTE: Rafaelli e Moreira (2007).

NOTA: NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

QUADRO 3 - Produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico-espectral para a Região Sul/Sudoeste de Minas Gerais

Ano agrícola	Dado	Produtividade (kg/ha)	Diferença (kg/ha)	%
2001/2002	IBGE	1.266	0	0
	Modelo	1.266		
2002/2003	IBGE	724	+104	14,36
	Modelo	828		
2003/2004	IBGE	1.175	-7	0,60
	Modelo	1.168		
2004/2005	IBGE	823	+20	2,43
	Modelo	803		

FONTE: Rosa (2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo não teve a pretensão de abranger todos os estudos, utilizando geotecnologias na agrometeorologia. Existem inúmeros outros exemplos de aplicações no monitoramento de áreas irrigadas, zoneamento agroclimatológico, monitoramento e previsão climática. No Brasil, o uso de geotecnologias cresce, porém lentamente, pois não há suficientes recursos humanos e as instituições ainda resistem às inovações. Países como os Estados Unidos, Canadá, Índia, Japão, China e a maioria dos países europeus têm investido em inúmeros estudos agroclimatológicos utilizando as geotecnologias. Na literatura internacional existe um vasto número de artigos publicados que vêm demonstrar a importância desta área.

Imagens de satélites, aparelhos GPS e SIGs são geotecnologias que evoluem rapidamente e tornam-se cada vez mais acessíveis. Por seu caráter multidisciplinar, contribuem cada vez mais em diversos campos de conhecimento e auxiliam na tomada de decisão e no planejamento local e regional, para a proteção ambiental e o incremento sustentável da produção agropecuária.

REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. **Mapas de índice-MG**. Campinas, [2008a]. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/SPI/mapa_MG_GLI.html>. Acesso em: ago. 2008.

_____. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Campinas, [2008b]. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em: abr. 2008.

ALVES, H.M.R.; VIEIRA, T.G.C.; BERNARDES, T.; LACERDA, M.P.C.; VOLPATO, M.M.L. Dinâmica espaço-temporal de ambientes cafeeiros de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.38-49, nov./dez. 2007.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L.H.R. de; SILVA, F.A.M. da. **Veranicos na região dos Cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência**. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p.993-1003, set. 1993.

AVILA, A.M.H. de. **Estimativa de precipitação em regiões tropicais utilizando imagens do satélite GOES 12**. 2006. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

CAMARGO, M.B.P. de; ROLIM, G. de S.; SANTOS, M.A. dos. Modelagem agroclimatológica do café: estimativa e mapeamento das produtividades. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.58-65, nov./dez. 2007.

CARAMORI, PH.; ANDROCIO FILHO, A.; MORAIS, H.; CARNEIRO FILHO, F.; DUQUILA, C. Sistema de alerta para geadas na cafeicultura do Paraná. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.66-71, nov./dez. 2007.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

INFORME AGROPECUÁRIO. Geotecnologias. Belo Horizonte: EPAMIG, v.28, n.241, nov./dez. 2007. 120p.

IPMET. **Instituto de Pesquisas Meteorológicas**. Bauru, [2008]. Disponível em: <<http://www.ipmet.unesp.br>>. Acesso em: abr. 2008.

MACHADO, M.L.; SIMÃO, M.L.R.; GOMES, I.; NAIME, U.J. Zoneamento agropedoclimático da mamona para o estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.72-78, nov./dez. 2007.

MEIRELES, E.J.L.; VOLPATO, M.M.L.; ALVES, H.M.R.; VIEIRA, T.G.C. Zoneamento agropedoclimático: um estudo de caso para o café. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.50-57, nov./dez. 2007.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. 307p.

PELLEGRINO, G.Q.; PINTO, H.S.; ZULLO JÚNIOR, J.; BRUNINI, O. O uso de sistemas de informações geográficas no mapeamento de informações agrometeorológicas. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2.ed. rev. e ampl. Brasília: EMBRAPA-SPI; EMBRAPA-CPAC, 1998. cap.17, p.329-348.

RAFAELLI, D.R.; MOREIRA, M.A. Detecção de geada em lavouras de café. In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. (Org.). **O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. cap.11, p.145-155.

ROSA, V.G.C. da. **Modelo agrometeorológico-espectral para monitoramento e estimativa da produtividade do café na região Sul/Sudoeste do estado de Minas Gerais**. 2007. 142f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

VIEIRA, T.G.C.; ALVES, H.M.R.; VOLPATO, M.M.L.; SOUZA, V.C.O. de; BERNARDES, T. Sistema de geoinformação para a cafeicultura do Sul de Minas. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.16-26, nov./dez. 2007.

VOLPATO, M.M.L. **Imagens AVHRR-NOAA para determinação do potencial de incêndios em pastagens**. 2002. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

AVALIAÇÃO DE VARIEDADES MELHORADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Produção de mudas e capacitação técnica para produtores

Avaliação e recomendação de variedades para produção de cachaça, utilização em usinas e alimentação animal.

EPAMIG
 Centro Tecnológico do Centro-Oeste
 Rod. MG-424 km 64 - Caixa Postal 295
 CEP 35701-970 - Prudente de Moraes - MG
 Telefax: (31) 3773-1980 - e-mail: ctco@epamig.br

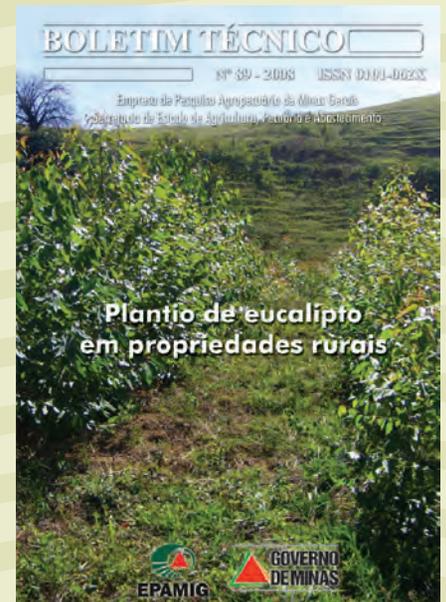
Novos Boletins da EPAMIG



nº 87



nº 88



nº 89

- nº 87 - Técnicas para processamento de café e inovações tecnológicas acessíveis para produção com qualidade** - aborda todos os processos para a produção de café com qualidade por meio da utilização de tecnologias acessíveis aos agricultores familiares.
- nº 88 - Aspectos técnicos da cultura da oliveira** - descreve o panorama da olivicultura no Brasil e apresenta os resultados das pesquisas da EPAMIG para produção de azeitona e azeite de oliva em Minas Gerais.
- nº 89 - Plantio de eucalipto em propriedades rurais** - apresenta de forma prática, aspectos como planejamento florestal, produção de mudas, implantação da floresta, tratamentos culturais e combate a pragas.

A tecnologia da EPAMIG ao seu alcance!

Informações: (31) 3489-5002 - publicacao@epamig.br



Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Agrometeorologia e otimização do uso da água na irrigação

Reinaldo Lúcio Gomide¹
Paulo Emílio Pereira de Albuquerque²

Resumo - Como medir, avaliar e utilizar os principais parâmetros agrometeorológicos de superfície e também alguns relacionados com o contínuo solo-planta, que afetam a demanda hídrica das culturas. Para tanto, torna-se necessário o uso de plataformas automáticas de coleta de dados, de sensores, de alguns métodos para determinar a evapotranspiração de culturas (ETc) e de uma planilha eletrônica, que envolve a técnica do balanço da água no solo. Busca-se estabelecer e definir estratégias de manejo adequado de irrigação de algumas culturas anuais, ou seja, o momento correto de aplicar a água na quantidade necessária à cultura, em cada aplicação, visando à otimização do seu uso aos sistemas agrícolas, principalmente os irrigados. A nova proposta de cálculos diários de ETo, com base na equação combinada de Penman-Monteith, é mais eficiente e precisa na determinação da ETc com o uso de coeficientes de culturas (Kc) apropriados.

Palavras-chave: Evapotranspiração. Plataforma automática. Coleta de dados climáticos. Balanço de energia. Razão de Bowen. Planilha eletrônica. Balanço hídrico. Produtividade de água.

INTRODUÇÃO

A influência das condições meteorológicas e climáticas sobre a produção agrícola é tratada por um dos ramos da meteorologia denominado Agrometeorologia, que enfatiza, principalmente, os parâmetros agroclimáticos de superfície. Alguns destes diretamente responsáveis pela força de demanda hídrica da atmosfera, que são importantes na determinação da necessidade hídrica ou requerimento de água ou evapotranspiração de culturas (ETc). O crescimento, o desenvolvimento e a produção das culturas são afetados pela taxa de ETc, que, por sua vez, está relacionada com a água, recurso natural que está-se tornando cada vez mais es-

caso, demandando estudos criteriosos voltados para a sua produtividade e uso mais eficiente.

Do total de água usada no mundo, cerca de 70% destinam-se à agricultura irrigada, valor esse bem superior às quantidades demandadas por outros segmentos, tais como os setores industrial (21%) e urbano (9%) (CHRISTOFIDIS, 2002). Essa demanda refere-se a, aproximadamente, 18% (275 milhões de hectares) da área total cultivada no planeta (1,5 bilhão de hectares) (SANTOS, 1998). Somente na América Latina, as áreas irrigadas totalizam cerca de 16 milhões de hectares, distribuídas principalmente no México, Argentina, Brasil, Chile e Peru. Apesar de corresponder a uma pequena parcela

do total cultivado, a área irrigada mundial contribui com 42% da produção total.

No Brasil, a área irrigada corresponde a cerca de 18% da área total cultivada, contribuindo com 42% da produção total (CHRISTOFIDIS, 2002). Em 2000, a água utilizada na produção agrícola correspondeu a um consumo médio específico de 9.436 m³/ha/ano. É importante destacar que, com a incorporação de tecnologias e processos mais eficientes de gestão do uso e manejo da água, esse consumo deverá ser reduzido ao longo dos anos, sendo que para 2025 é estimada uma queda para 8.100 m³/ha/ano. Mesmo assim, em 2025, estima-se que três bilhões de pessoas serão afetadas pela escassez de água, cuja disponibilidade deverá ser inferior a

¹Eng^a Agr^a, Pós-Doc, Pesq. Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas-MG. Correio eletrônico: gomide@cnpms.embrapa.br

²Eng^a Agrícola, D.Sc., Pesq. Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas-MG. Correio eletrônico: emilio@cnpms.embrapa.br

1.700 m³/ha/ano, devido, principalmente, ao aumento populacional (CHRISTOFIDIS, 2002).

Esse cenário indica que há uma tendência natural de aumento do uso da água no futuro próximo, devido tanto ao aumento populacional, o que vai demandar em maior necessidade por alimentos, como ao aumento de disponibilidade de áreas irrigadas. O grande problema é que não há uma previsão de aumento da água a curto e médio prazo na terra. Os dados indicam o contrário, os intermináveis desmatamentos e o uso inadequado do solo têm mantido um elevado escoamento superficial com uma baixa reposição contínua das fontes hídricas superficiais e subterrâneas. Assim, em termos ambientais, é crucial que seja assegurada uma sustentabilidade para a agricultura irrigada por intermédio de uma gestão e um manejo eficiente no uso da água.

Infelizmente, ainda no Brasil, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não utiliza qualquer tipo de estratégia de uso e manejo eficiente (racional) da água na irrigação. Como os sistemas agrícolas irrigados têm uma utilização mais intensiva das áreas, com dois ou mais cultivos por ano, aumenta o risco de danos ambientais e de problemas na cultura, tais como, incidência de pragas, doenças e plantas daninhas, desnutrição de plantas, etc. A aplicação da água de irrigação em excesso pode levar à poluição de rios, lagos e lençol freático, por causa da lixiviação de elementos tóxicos e nutrientes. Por outro lado, a aplicação dessa água em quantidade insuficiente pode resultar em estresse hídrico da cultura e afetar o crescimento normal das plantas. Tudo isto pode comprometer todo o sistema de produção agrícola e o meio ambiente.

Os sistemas agrícolas irrigados têm como objetivo prevenir o estresse hídrico das plantas por meio de aplicações de quantidades adequadas de água às culturas, assegurando boas produções, tanto em quantidade como em qualidade, onde o contínuo solo-água-planta-atmosfera deve ser considerado como um sistema dinâmico, fisicamente integrado, em que

os processos de transporte ocorrem interativamente. Neste contínuo, os parâmetros climáticos de superfície determinam a força de demanda hídrica, atuando como “dreno”, os de solo controlam a fonte de água e os ligados à planta exercem influência direta sobre a transmissão de água da fonte para o dreno. Daí, torna-se evidente que para determinar a ETc, há necessidade de um sistema de monitoramento e registro, com base em medições, em tempo real, de parâmetros ligados ao contínuo solo-planta-atmosfera. Com a determinação da ETc, é possível estabelecer critérios e estratégias de manejo adequado de irrigação, visando otimizar a utilização da água e da energia na agricultura irrigada.

A quantidade de água a ser aplicada em cada irrigação e o momento de aplicação dessa água são parâmetros governados pelas condições climáticas locais, pelo tipo de cultura e seu estágio de crescimento e desenvolvimento, pela profundidade efetiva do sistema radicular e pela umidade do solo. Suprir a ETc, com a aplicação de água de irrigação, faz-se necessário sempre que a água proveniente da precipitação efetiva não for suficiente para atender à demanda hídrica das plantas e a disponibilidade de água do solo for esgotada em níveis que irão provocar redução significativa de produtividade.

As redes de estações agrometeorológicas, principalmente aquelas com monitoramento e registro automático de parâmetros agroclimáticos de superfície, são ainda incipientes nas diferentes regiões do Brasil. Isto, em parte, dificulta a racionalização de uso da água na irrigação. Este quadro pode ser revertido com o uso de plataformas automáticas de coleta de dados climáticos de superfície, envolvendo técnicas de microprocessamento, emprego da microeletrônica e utilização de sensores para registrar os principais parâmetros climáticos, possibilitando o controle, a aquisição, a transferência e o armazenamento de dados digitais envolvidos nas medições em condições de campo.

O mais atrativo é que a automação é uma ferramenta de tomada de decisão da programação das irrigações, uma vez que

os sensores facilitam a aquisição de dados e os *dataloggers* o processamento automático desses dados, por meio de uso de microcomputadores portáteis e de *softwares*, desenvolvidos para o gerenciamento e controle de todo o processo. Aliado a isso, a utilização da técnica de balanço da água no solo, a partir de dados agroclimáticos diários, disponibilizada e programada em planilha eletrônica (Microsoft Office Excel), para fazer o manejo de irrigação de culturas anuais, pode contribuir na racionalização do uso da água de sistemas agrícolas irrigados. Tudo isso possibilita o controle mais preciso de aplicação de quantidades reais de água para as plantas e uma maior eficiência de seu uso, o que assegura a sustentabilidade da agricultura irrigada e a preservação do meio ambiente.

Este trabalho tem como objetivos medir e avaliar os principais parâmetros agrometeorológicos de superfície, os quais afetam a demanda hídrica das culturas. Para tanto, serão utilizados sensores e métodos para determinar a ETc e o momento correto de aplicar a água de irrigação e a quantidade necessária em cada irrigação, com base em medições de variáveis relacionadas com o contínuo solo-planta-atmosfera. Assim, é fundamental o uso de tecnologia da automação e de uma planilha eletrônica para adequar o manejo de irrigação de algumas culturas anuais, envolvendo a técnica do balanço da água no solo, a partir de dados agroclimáticos diários de entrada, para a otimização do uso da água na irrigação.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DAS CULTURAS E EFEITO DOS PRINCIPAIS FATORES AGROMETEOROLÓGICOS

A ETc é responsável pela taxa de transferência de água, na forma de vapor, de uma superfície coberta com vegetação para a atmosfera, considerando tanto a evaporação direta das superfícies do solo e das plantas (água de intercepção), como a transpiração das plantas. A taxa de evaporação direta da água do solo depende de sua estrutura e textura (tipo de solo), conteúdo de umidade, condutividade hidráulica e demanda evaporativa da atmosfera.

A taxa de ETc é um processo físico difusivo, que envolve uma parte turbulenta e outra molecular. A parte turbulenta é o mecanismo dominante, que depende da taxa de variação da velocidade do vento com a altura, exceto na fina camada próxima à superfície evaporante. É importante salientar que a evaporação é proporcional ao déficit de saturação da pressão de vapor do ar, quando a temperatura da superfície evaporante é igual à temperatura do ar. Caso contrário (mais comum na prática, uma vez que é predominante a falta dessa igualdade), a evaporação será proporcional ao gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar da atmosfera logo acima do dossel (cerca de 1,5 m). Contudo, é impossível uma interpretação estritamente física do processo de ETc, sem o necessário envolvimento e padronização do tipo de vegetação, tendo em vista a estrutura complexa dos processos turbulentos no interior e na parte acima do dossel vegetativo, associado ao fenômeno da partição do saldo de energia radiante e a própria fisiologia das plantas. Portanto, o processo deve ser considerado biofísico para um melhor entendimento da evapotranspiração.

O efeito de fatores agrometeorológicos ambientais sobre a ETc é chamado demanda atmosférica ou demanda evaporativa. Quanto maior a demanda atmosférica, mais rápida a água pode ser evaporada de uma superfície de água livre. Os principais fatores agrometeorológicos que influenciam a demanda atmosférica são os seguintes:

- a) radiação solar (Rs): da radiação solar absorvida pelas folhas das plantas, de 1% a 5% são usados no processo de fotossíntese, e de 75% a 85% são utilizados no processo de aquecimento das folhas e do ar atmosférico logo acima do dossel da cultura (fluxo de calor sensível) e, também, no processo de evapotranspiração (fluxo de calor latente). Um aumento na Rs aumenta a demanda atmosférica e a temperatura do ar;
- b) temperatura do ar (Ta): o aumento da temperatura do ar aumenta a capacidade de retenção de umidade

do ar, o que resulta em uma maior demanda atmosférica;

- c) umidade relativa do ar (UR): quanto maior o conteúdo de umidade (vapor d'água) do ar, maior será o potencial hídrico da atmosfera. Isto significa que a demanda atmosférica diminui com o aumento da UR;
- d) vento: possui influência direta sobre a difusão de vapor d'água pelos estômatos, por meio da resistência aerodinâmica (ra). A formação de turbulência do ar é iniciada em condições de aumento de velocidade do vento, resultando em remoção de vapor d'água (umidade) bem próximo às folhas das plantas e aumento da diferença em potencial hídrico internamente e imediatamente do lado de fora das aberturas estomatais, o que acarreta em um aumento da difusão de vapor d'água.

No Brasil, geralmente os maiores valores de demanda evaporativa da atmosfera são verificados nos meses de outubro a fevereiro, período em que são registrados os maiores valores de radiação solar e temperaturas do ar.

MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração (ET) pode ser determinada por meio de equações, que envolvem dados agroclimatológicos ou de medidas direta em lisímetros. As equações podem ser classificadas, com base em seus termos, em radiação, evaporação, temperatura, umidade e múltipla correlação ou combinação desses termos, podendo ter base física, empírica ou então envolvendo base física aliada a fatores ou componentes empíricos (JENSEN, 1974). A escolha do método de determinação da ETc depende de sua aplicação, precisão e principalmente da duração dos períodos envolvidos no estudo. Estimativas mensais ou até mesmo anuais de ETc são necessárias em estudos regionais de recursos hídricos. No entanto, períodos mais curtos (diários, semanais) são necessários para fins de uso e manejo de água de irrigação (TANNER, 1967).

Os elementos climáticos obtidos nas estações automáticas podem ser usados na determinação da ET a partir de métodos desenvolvidos para obtenção da ET de referência (ETo). A determinação da ET da cultura (ETc) é obtida pela multiplicação do valor da ETo por um coeficiente de cultura (Kc). Todo o processo pode ser automatizado, desde a aquisição dos dados meteorológicos até os cálculos de ETc, sendo a informação disponível aos usuários quase em tempo real (GOMIDE, 1998). Com isso, estratégias de tomada de decisão de quando e quanto irrigar podem ser estabelecidas. O problema maior é com o desenvolvimento e ajuste do Kc apropriado para cada área (região) e cultura. Mais recentemente, existem alguns esforços na tentativa de usar informação de reflectância como um substituto para o tradicional Kc. Se esta idéia obtiver êxito, é provável que haja um uso crescente de métodos agrometeorológicos para a determinação de ETc.

A equação modificada de Penman, conhecida como Penman-FAO, é usada para determinar a ETo, tendo a grama como cultura de referência. As principais modificações envolveram a função devido ao vento, o fator de ajustamento c e a hipótese de que o fluxo de calor no solo (G) é igual a zero (períodos superiores a 24 horas). A equação é da seguinte forma (DOORENBOS; PRUITT, 1977):

Equação 1

$$ET_o = c \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 2,7 (1 + 0,864 U_2)(e_a - e_d) \right]$$

em que, ETo e Rn são em mm/d, Δ é a declividade da curva de pressão de vapor de saturação em KPa/°C, γ é a constante psicrométrica em KPa/°C, c é o fator de ajustamento, U2 é a velocidade média do vento em m/s e (ea - ed) é o déficit de pressão de vapor d'água em KPa. Os valores de c são encontrados em tabela (DOORENBOS; PRUITT, 1977) ou então obtidos da seguinte equação polinomial (ALLEN; PRUITT, 1991):

Equação 2

$$c = 0.68 + 0.0028 UR_{max} + 0.018 R_s - 0.068 U_d + 0.013 U_d / U_n + 0.0097 U_d (U_d / U_n) + 0.430 \times 10^{-4} UR_{max} R_s U_d / U_n$$

em que, UR_{max} é umidade relativa máxima diária em porcentagem, R_s é a radiação solar global em mm/d, U_d/U_n é a razão entre a velocidade do vento do período diurno e noturno e U_d é a velocidade do vento do período diurno (7 h às 19 h) em m/s. A Equação 1, quando usada com o fator c , resulta o método conhecido como “Penman-FAO corrigido”. Para o caso do fator $c = 1$, o método é denominado apenas Penman-FAO. Conforme pode ser observado, na determinação do fator c requer também medições de dados meteorológicos.

Uma revisão sobre a tendência de superestimativa da ETo , pelo método Penman-FAO, tendo a grama como referência, é apresentada por Sedyama (1995). Resultados de trabalhos indicam superestimativas da ordem de 8% a 35%, dependendo do clima da região. Esse mesmo autor realça a complexidade do uso do fator c e salienta a importância desse método, utilizado por muitos como padrão internacional, especialmente no Brasil.

Sedyama (1995) fornece uma criteriosa análise dos conceitos e procedimentos metodológicos de cálculos da ETo , ressaltando as dificuldades de utilização dos lisímetros, dos métodos de balanço de energia e aerodinâmicos ou combinados e da equação de Penman-FAO, dando um enfoque de estabelecer um critério e uma metodologia para atender a uma nova definição de cultura de referência e a estimativa de ETo , com base nos procedimentos para revisão do Boletim FAO-24, de acordo com Smith (1991). A nova ETo é conceituada como sendo a taxa de ET de uma cultura hipotética, com uma altura uniforme de 0,12 m, resistência do dossel da cultura de 70 s/m e albedo de 0,23. Esse conceito de ETo assemelha-se, bem de perto, à ET de uma superfície extensa coberta com grama de altura uniforme, em crescimento ativo e cobrindo completamente a superfície do solo e sem restrição de umidade. O método

combinado de Penman-Monteith tem fornecido melhores resultados de estimativa da ETo para o caso dessa cultura hipotética de referência, atendendo tanto a definição original de ET potencial de Penman, quanto o conceito de ETo da FAO. Para fins de padronização dos procedimentos de cálculos da nova proposta da ETo , para estimativas de 24 horas, a seguinte equação foi proposta (SMITH, 1991):

Equação 3

$$ETo = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} * \frac{900}{T + 275} U_2 (ea - ed)$$

em que, ETo é a evapotranspiração de referência da cultura hipotética em mm/d, R_n é dado em MJ/m²/d, G é o fluxo de calor no solo em MJ/m²/d, T é a temperatura do ar em °C, U_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura em m/s, $(ea - ed)$ é o déficit de pressão de vapor em KPa, Δ é a declividade da curva de pressão de vapor de saturação em KPa/°C, λ é o calor latente de evaporação em MJ/kg, γ^* é a constante psicrométrica modificada em KPa/°C ($=1 + 0,33 U_2$) e o número 900 é um fator de conversão para as umidades kg K/kJ.

PLATAFORMAS AUTOMÁTICAS AGROMETEOROLÓGICAS

As plataformas automáticas agrometeorológicas baseiam-se em dispositivos eletrônicos e, geralmente, são compostas de: sensores para prover sinais eletrônicos dos parâmetros agrometeorológicos de superfície, amplificadores e conversores de sinais para ampliar e converter os sinais analógicos para valores digitais e áreas de memória para armazenamento dos dados coletados localmente. Estas plataformas apresentam sistemas de aquisição de dados totalmente integrados, que envolvem *dataloggers*, sensores e computadores

portáteis (*notebooks*), e são utilizadas para medir e registrar os parâmetros climáticos, em nível de superfície, de forma precisa e acurada, em intervalo de tempo programável. Atualmente, para alimentá-las, a fonte de energia é proveniente de painéis solares e baterias.

Quando em funcionamento, as plataformas automáticas são programadas para fazer leituras nos sensores a intervalos de 1 segundo a 1 minuto e calcular as médias dos parâmetros registrados para armazenamento nas áreas de memória a cada intervalo de 0,5 a 1 hora. Apenas as médias dos dados são armazenadas no *datalogger*, para futura transferência, na forma de arquivo de dados por meio de interface direta com *notebooks* ou transmissão a distância com sistemas de telemetria, fazendo uso de ondas de frequência de rádio. Os intervalos de varredura dos sensores e os cálculos de médias dos parâmetros climáticos podem ser alterados nos *dataloggers*, por meio de programação adequada, de acordo com a necessidade dos usuários.

Para fins de uso e manejo da água na irrigação, a configuração típica das plataformas automáticas agrometeorológicas envolve medições dos seguintes parâmetros climáticos de superfície: temperatura e umidade relativa do ar, irradiância solar global (mais comum) e saldo de radiação, velocidade e direção do vento, precipitação, evaporação da água do tanque Classe A, albedo e temperatura do solo (Fig. 1).

Instruções e detalhes de características de operação, funcionamento, resolução, precisão, sensibilidade, estabilidade, tipo de sinal gerado e endereços de distribuidores e fabricantes de vários sensores usados nas plataformas automáticas podem ser encontrados em Tanner (1990).

A temperatura (°C) e a umidade relativa do ar (%) devem ser registradas a uma altura de 1,5 a 2,0 m. Esses sensores devem ser instalados dentro de abrigo meteorológico



Reinaldo Lúcio Gomide

Figura 1 - Configuração típica de uma plataforma automática agrometeorológica com os sensores mais utilizados para fins de uso e manejo da água na irrigação

para evitar a incidência direta de radiação solar durante o dia e serem protegidos do resfriamento decorrente das ondas longas durante a noite. Um elemento sensor muito usado para medir a temperatura do ar é o termômetro de resistência de platina (TRP, 1000 Ω), encapsulado em cerâmica, com características de estabilidade, confiabilidade e resposta extremamente rápida, assegurando uma transdução precisa da magnitude da temperatura do ar. Para a umidade relativa do ar, é comum a utilização de um sensor capacitivo. Ambos condicionam sinais de saída de 0 a 1.000 mV e são montados em uma única sonda (Vaisala, HMP 35C) (Fig. 1). Além desses, também são utilizados para medir a temperatura do ar os termistores e termopares (TP), que mudam as suas resistências com a temperatura e já vêm calibrados de fábrica. A umidade relativa do ar é uma das variáveis mais difíceis de ser medida com precisão (GOMIDE, 1998).

A R_s global é registrada, geralmente, em W/m^2 , a uma altura de 1,5 a 2 m do solo, com um sensor que mede a radiação global incidente por meio de um detector fotovoltaico de silício, acondicionado em uma peça maciça (LICOR) (Fig. 1). O sen-

sor possui uma base nivelável de alumínio, com aparato mecânico complementar em aço inoxidável para sua instalação. O sinal de saída desse sensor é de 0,2 $kW/m^2/mV$ (GOMIDE, 1998). O saldo de radiação (R_n) é medido por meio de um sensor formado por 60 junções de termopilhas, com baixa resistência elétrica (4 Ω). Esse sensor, instalado a 1,5 m do solo, registra a soma algébrica do balanço de todas as ondas de radiação que chegam e saem da superfície, isto é, os componentes referentes às ondas curtas e longas (GOMIDE, 1998). O sensor integra todas essas radiações e o sinal enviado para o *datalogger* já é a R_n disponível em nível de superfície (geralmente em W/m^2).

Os sensores de velocidade e direção do vento são construídos em alumínio para ter baixo peso e alta resistência à corrosão. Ambos devem ser instalados a 2,0 m de altura do solo. A velocidade do vento, em m/s, é medida com um anemômetro de três conchas, que produz um sinal, cuja frequência é detectada por meio de um interruptor de luz *light chopper*. A direção do vento é medida em graus, tendo como referência o norte verdadeiro e contado no sentido horário, com um leme e contrapeso

conectados a um potenciômetro de precisão (Climatronics CS800-L) (Fig. 1).

A precipitação é monitorada geralmente com um pluviômetro de caçamba oscilante, em mm/h, que deve ser instalado a uma altura de 1,5 m (TE525) (Fig. 1). A unidade é construída em alumínio anodizado e é composta de um funil, base e caçamba. A seção de captação do pluviômetro apresenta um diâmetro de 158,8 mm. O sensor é calibrado para registrar a precipitação com uma resolução de 0,25 mm por meio da geração de um pulso magnético (GOMIDE, 1998). A temperatura do solo pode ser registrada por termistores e termopares em profundidades que variam de 0,02 a 0,15 m.

Manuais de instruções acompanham os sensores que constituem as plataformas automáticas, onde se tem orientações detalhadas de instalação, operação, manutenção, conexão de fios e configuração da aquisição dos dados. A maioria das plataformas já vem acompanhada com *software*, sendo que algumas para rodar em ambiente *Windows*, que permite ao técnico especialista editar o programa de coleta de dados, monitorar os dados das estações remotas em tempo real, descarregar os bancos de dados armazenados e executar o pré-processamento dos dados para posterior exportação aos diversos *softwares* de análise de dados (Microsoft Excel, etc.).

Alguns resultados de variação do microclima, no período de dezembro de 2005 a maio de 2006, com base em dados registrados na plataforma automática agrometeorológica, localizada na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, são apresentados a seguir. O Gráfico 1 mostra a variação diária da temperatura do ar mínima (T_{min}), média (T_{med}) e máxima (T_{max}), em $^{\circ}C$. Verifica-se que a amplitude térmica no período (diferença entre T_{max} e T_{min}) variou de $5^{\circ}C$ a $14^{\circ}C$. Os valores registrados de temperatura do ar mínima, média e máxima variaram de, aproximadamente, $11^{\circ}C$ a $21^{\circ}C$; $19^{\circ}C$ a $26^{\circ}C$ e $22^{\circ}C$ a $34^{\circ}C$, respectivamente. Os dias 22 de abril

e 5 de maio de 2006 apresentaram as mais baixas temperaturas do ar, 11,5°C e 13°C, respectivamente. As maiores temperaturas máximas estão na faixa de 30°C a 34°C e ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro (verão).

O Gráfico 2 mostra a variação diária da R_s , em MJ/m²/dia, e T_{med} , em °C. Pode-se constatar a existência de uma relação praticamente direta de variação desses dois parâmetros microclimáticos. A radiação solar diária varia desde um mínimo de 8,5 até um máximo de 30,5 MJ/m²/dia. As oscilações abruptas dos valores diários de R_s podem ser explicadas principalmente pela ocorrência de nuvens (tempo nublado), que afetam diretamente a incidência direta e difusa dos raios solares.

A variação diária da umidade relativa do ar mínima (UR_{min}), média (UR_{med}) e máxima (UR_{max}), em %, é apresentada no Gráfico 3. Observa-se a ocorrência de dias mais secos com valores de UR_{min} do ar abaixo de 35%. Isso, associado às elevadas temperaturas do ar, propicia condições de alta demanda evaporativa da atmosfera. Os valores de UR_{med} do ar variaram em 68% a 100%, sendo o último valor decorrente de um dia com chuva.

O Gráfico 4 mostra a variação diária da precipitação (P), em mm. A estação chuvosa (dezembro de 2005 e janeiro a março de 2006) compreende período dos dados em que foram registrados os maiores valores diários de P (de 50 a 118 mm). A precipitação acumulada mensal foi de 396, 126, 108, e 414 mm para os meses de dezembro de 2005 e janeiro a março de 2006, respectivamente. As variações diárias da E_{To} , em mm/dia, determinada pelo método de Penman-Monteith, e velocidade média do vento (VV_{med}), em m/s, encontram-se no Gráfico 5. Os maiores valores diários de E_{To} (demanda hídrica da cultura) foram na faixa de 4,8 a 6,6 mm/dia e os menores valores diários foram da ordem de 1,2 a 2,8 mm/dia. A variação diária da velocidade média do vento (VV_{med}), em m/s, ficou na faixa de 0,6 a 2,4 m/s.

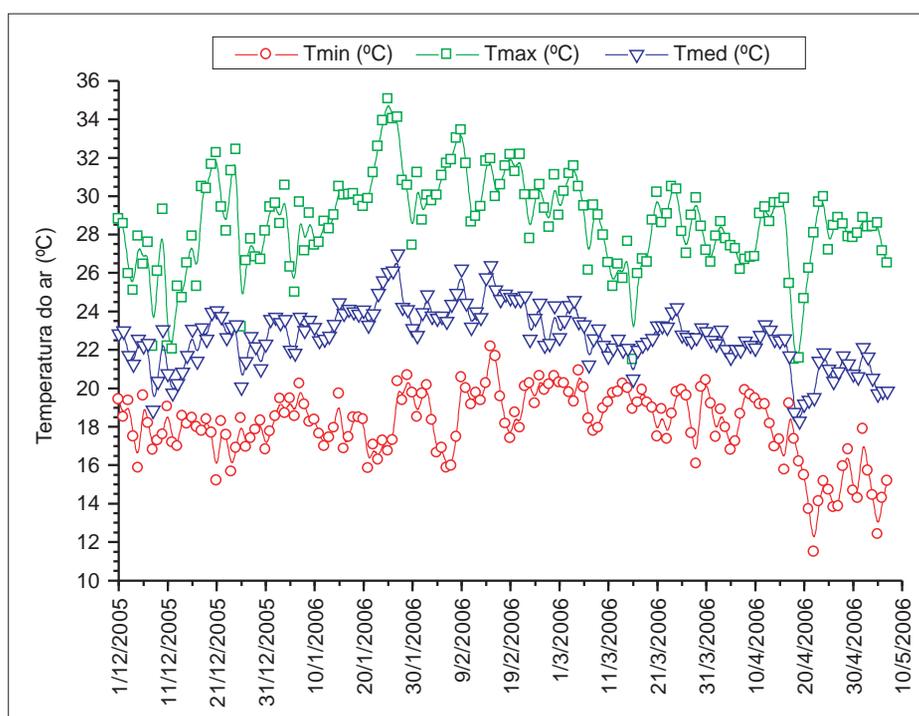


Gráfico 1 - Variação diária da temperatura do ar mínima (T_{min}), média (T_{med}) e máxima (T_{max}), em °C

FONTE: Gomide et al. (2006).

NOTA: Plataforma automática agrometeorológica da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG - dezembro de 2005 a maio de 2006.

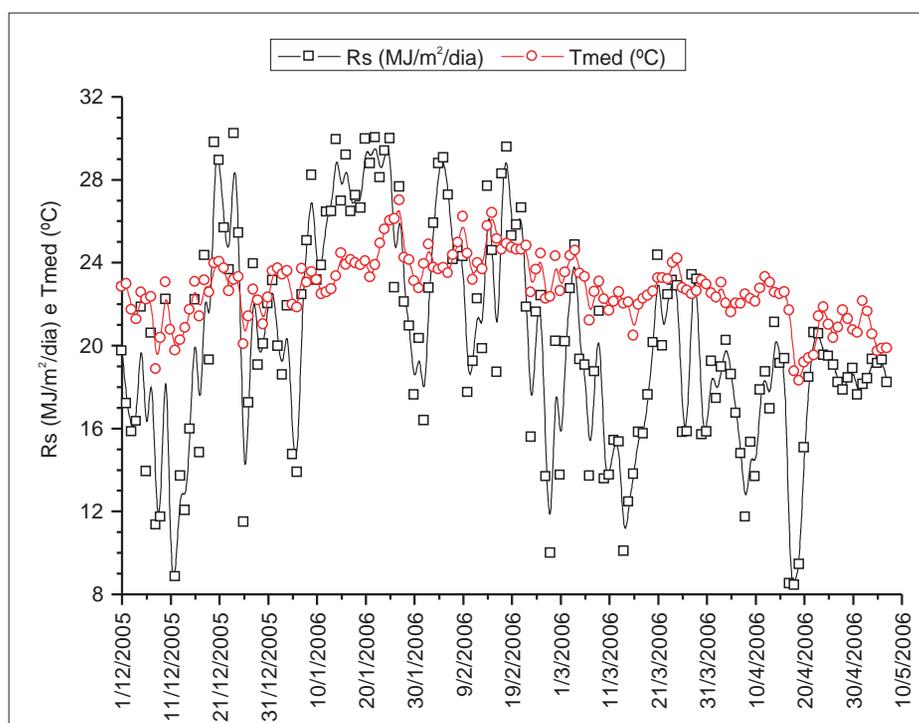


Gráfico 2 - Variação diária da radiação solar (R_s), em MJ/m²/dia, e temperatura do ar média (T_{med}), em °C

FONTE: Gomide et al. (2006).

NOTA: Plataforma automática agrometeorológica da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG - dezembro de 2005 a maio de 2006.

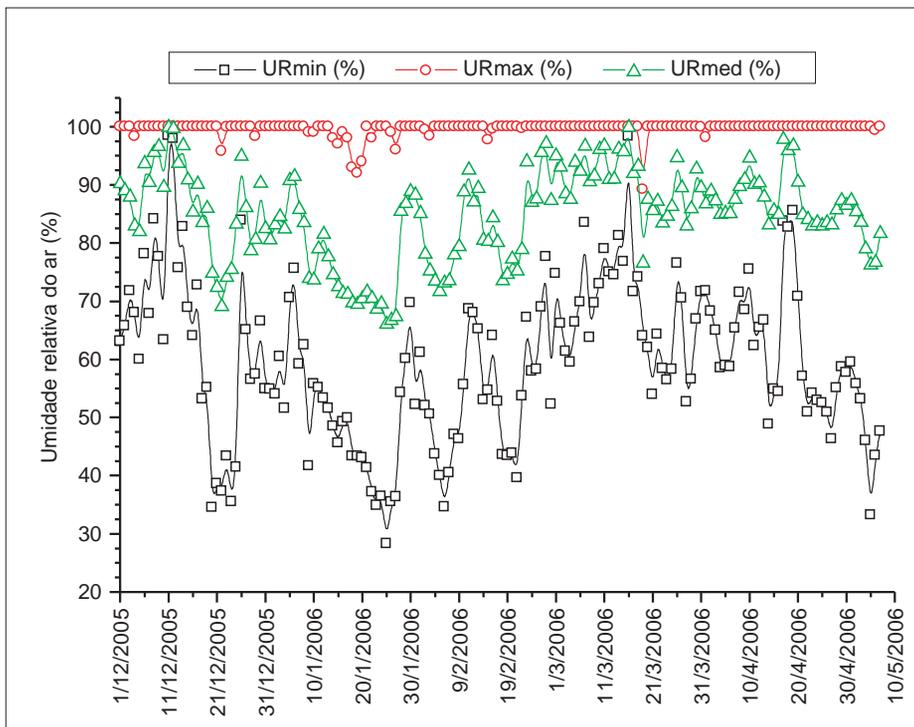


Gráfico 3 - Variação diária da umidade relativa do ar mínima (URmin), média (URmed) e máxima (URmax), em %

FONTE: Gomide et al. (2006).

NOTA: Plataforma automática agrometeorológica da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG - dezembro de 2005 a maio de 2006.

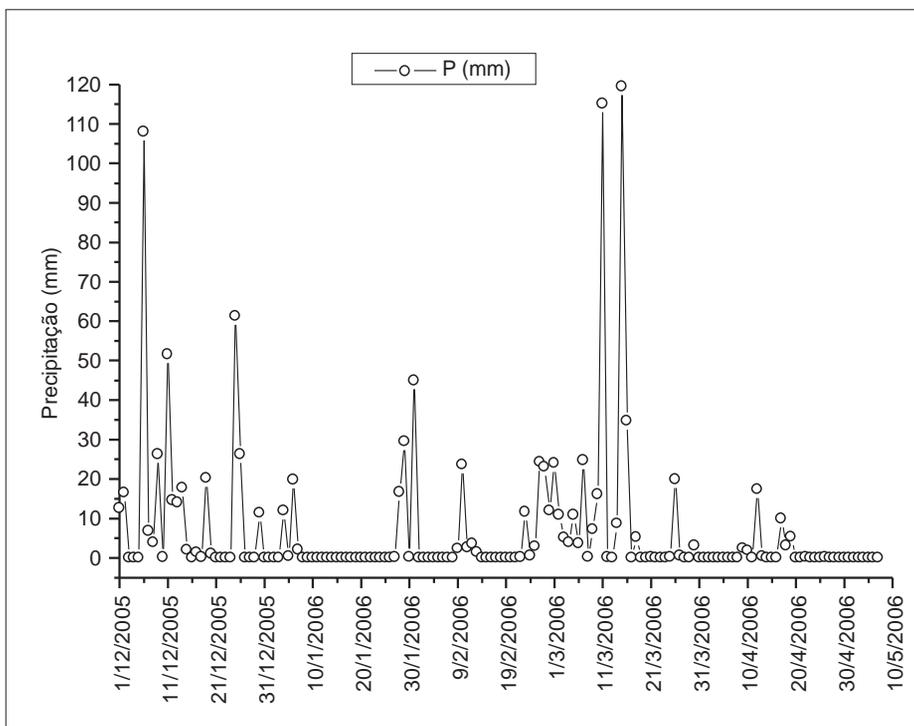


Gráfico 4 - Variação diária da precipitação (P), em mm

FONTE: Gomide et al. (2006).

NOTA: Plataforma automática agrometeorológica da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG - dezembro de 2005 a maio de 2006.

TANQUE CLASSE A

O tanque Classe A é um reservatório cilíndrico de 0,254 m de profundidade e 1,206 m de diâmetro, construído com uma chapa de metal não corrosiva e instalado sobre um estrado de madeira de 0,15 m de altura. O nível da água no interior do tanque deve ser mantido dentro da faixa de 0,174 a 0,204 m de profundidade (Fig. 2).

A variação de nível da água do tanque Classe A pode ser medida com um elemento sensor que fornece um sinal elétrico proporcional ao nível da água do tanque. A unidade é constituída de um flutuador, um contrapeso, uma corrente e uma roda dentada presa a um potenciômetro de precisão de 1 k Ω (NOVALYNX SYSTEMS, 1997). O conjunto fica instalado no interior de uma coluna de 20,3 cm de diâmetro e 66,0 cm de altura, com base nivelável, que funciona como poço tranquilizador para o flutuador, a fim de evitar rápidas flutuações de nível da água durante as medições. Essa coluna é conectada, lateralmente, ao tanque por um tubo de PVC de 12,7 mm de diâmetro e 2 m de comprimento, formando um sistema de vasos comunicantes (Fig. 1 e 2). Dessa forma, uma mudança no nível da água no interior do tanque corresponderá a uma mesma mudança de nível no interior da coluna. Como a corrente está presa nas extremidades pelo flutuador e contrapeso e encaixada na roda dentada, a oscilação de nível é detectada pelo flutuador e transmitida ao potenciômetro que registra a variação de resistência (GOMIDE, 1998). O sistema é calibrado para fornecer a leitura do nível da água do tanque em mm. O registro pode ser obtido a intervalos que variam de 0,5 a 1 hora.

As medições da evaporação da água do tanque Classe A (Et) são usadas para determinar a ETo por meio da seguinte equação:

Equação 4

$$E_{To} = K_t E_t$$

em que, K_t é um coeficiente de correção da E_t . Uma tabela que descreve a variação

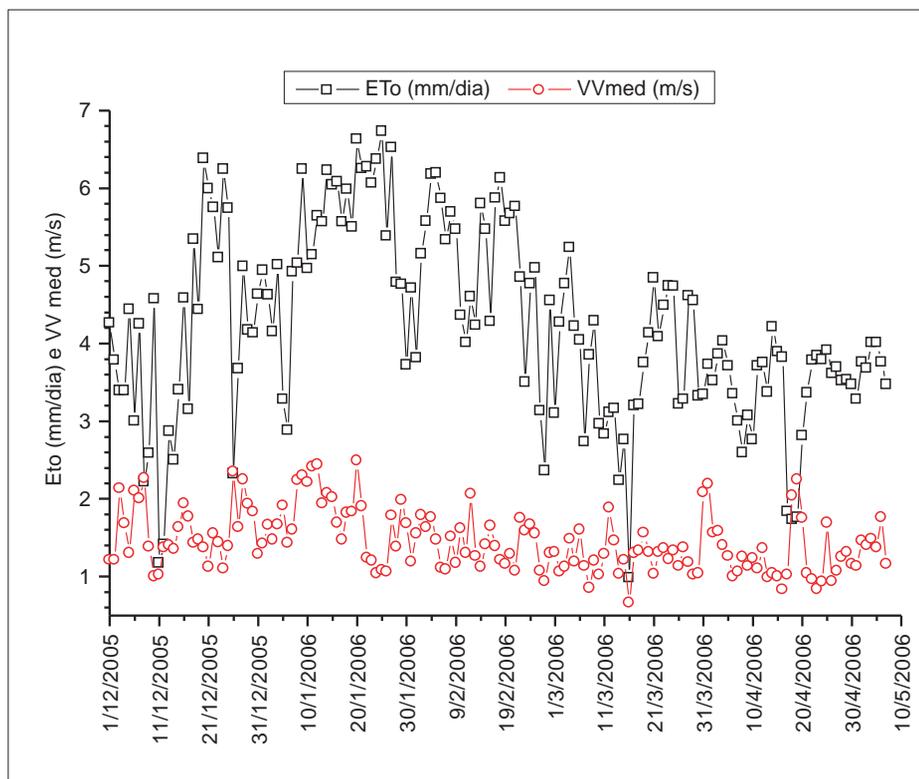


Gráfico 5 - Variação diária da evapotranspiração de referência (ETo), em mm/dia, e velocidade média do vento (VV med), em m/s

FONTE: Gomide et al. (2006).

NOTA: Plataforma automática agrometeorológica da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG - dezembro de 2005 a maio de 2006.

de Kt em função das condições de tamanho e da natureza da área de bordadura, da velocidade do vento e da umidade relativa do ar é apresentada por Doorenbos e Pruitt (1977). Essa tabela foi obtida de dados experimentais de diversas regiões do mundo, portanto, sob diferentes condições climáticas, considerando-se as diferenças de albedo, rugosidade e resistência estomática das superfícies água e vegetação (grama). Mais tarde, Snyder (1992) desenvolveu a seguinte equação para permitir interpolação dos valores tabelados de Kt e também facilitar o uso em sistemas automatizados de obtenção de dados:

Equação 5

$$Kt = 0,482 + 0,024 \ln(Db) - 0,000376 U + 0,0045 UR$$

em que Db é a distância (tamanho) da área de bordadura, em m, U é a velocidade do vento em km/d e UR é a umidade relativa média do dia em %. Snyder (1992) salienta que essa equação só deve ser usada dentro dos limites de Db, U e UR da tabela original.

O método do tanque Classe A é recomendado pela FAO (DOORENBOS; PRUITT, 1977) e é bastante usado no uso e manejo da água na irrigação para determinar a ETc a partir da ETo e dos Kc.

BALANÇO DE ENERGIA/RAZÃO DE BOWEN

O balanço de energia é um método em que são realizadas medições automáticas do transporte vertical de entidades em uma camada de escoamento atmosférico turbulento acima de uma superfície natural rugosa (vegetação), situada a poucos metros da superfície do solo. Em geral, o transporte atmosférico de fluxos de calor latente (Le) e de calor sensível (H) é realizado por meio de turbilhões que se deslocam aleatoriamente acima de uma superfície natural rugosa, numa tendência de homogeneização de Le e H com a altura (z). Daí faz sentido supor que tanto Le como H sejam igualmente transportados pelo mesmo turbilhão. Nessa condição es-



Figura 2 - Tanque Classe A para medição automática da evaporação da água

Reinaldo Lúcio Gomide

pecífica de mesmo escoamento atmosférico turbulento, os coeficientes K_v e K_h podem ser considerados iguais (GOMIDE, 1998). Na prática, gradientes finitos são medidos e um coeficiente efetivo de transporte turbulento (*eddy diffusivity*) é considerado na determinação do gradiente vertical:

Equação 6

$$Le = \frac{\lambda \rho \epsilon K_v (e_1 - e_2)}{p (z_1 - z_2)}$$

Equação 7

$$H = \rho c_p \cdot K_h \frac{(T_1 - T_2)}{(z_1 - z_2)}$$

em que, e_1 e e_2 são medidas da pressão de vapor atual do ar nas posições z_1 e z_2 , respectivamente; T_1 e T_2 são medidas da temperatura do ar nas posições z_1 e z_2 , respectivamente; z_1 e z_2 são as alturas verticais de tomadas das medidas “e” e “T”; K_v e K_h são os coeficientes de transporte turbulento (*eddy diffusivities*) de calor latente e de calor sensível, respectivamente; ρ é a densidade do ar seco; c_p é o calor específico do ar seco; λ é o calor latente de vaporização da água; p é a pressão atmosférica e ϵ é a razão do peso molecular da água para o peso molecular do ar seco.

A razão de H para Le pode ser usada na partição da energia disponível na superfície em fluxo de calor sensível e latente, a partir das Equações 6 e 7, e é conhecida como razão de Bowen (β) (BOWEN, 1926):

Equação 8

$$\beta = \frac{H}{Le} = \frac{\rho c_p (T_1 - T_2)}{\lambda \epsilon (e_1 - e_2)}$$

em que, $\frac{\rho c_p}{\lambda \epsilon}$ é a constante psicrométrica (γ).

O balanço de energia da superfície é dado pela seguinte equação:

Equação 9

$$R_n = G + H + Le$$

em que, R_n é o saldo de radiação para a superfície e G é o fluxo de calor no solo. Geralmente, a convenção de sinal utilizada é R_n positiva do ar para a superfície e G , H , e Le positivos da superfície para o ar. Substituindo Le β por H na Equação 9 e solucionando para Le resulta:

Equação 10

$$Le = \frac{R_n - G}{1 + \beta}$$

A densidade de fluxo de calor latente, Le , é a parte da energia utilizada na ET_c , ou seja, é um método de medição da evapotranspiração real ou atual da cultura (ET_r ou ET_a). Portanto, o método requer medições de R_n , G , T e “e” a duas alturas acima da superfície evaporante para a determinação dos fluxos Le e H (GOMIDE, 1998). A pressão atmosférica (p), também, é necessária, mas raramente varia muito e deve ser calculada de acordo com a elevação local, assumindo uma atmosfera padrão.

A sensibilidade de β é diretamente relacionada com os gradientes de temperatura e de pressão de vapor medidos (Equação 8). Isso significa que um erro de 1% nas medições resulta em 1% de erro em β . Os fluxos (H e Le) calculados aproximam do valor infinito, quando o valor de β aproxima de -1. Essa situação geralmente ocorre somente à noite, quando há pouca energia disponível ($R_n - G$). Na prática, quando o valor de β está muito próximo de -1 ($-1,25 < \beta < -0,75$), os valores de H e Le são considerados negligíveis e não são calculados.

As condições hídricas da superfície evaporante é que vão definir os valores de β . Após uma aplicação de água, irrigação ou chuva, essa superfície vai estar bem umedecida e uma maior parte de R_n vai ser usada em Le , resultando em valores baixos de β . Caso contrário, em uma condição de estresse hídrico, essa superfície vai apresentar restrição hídrica e uma maior parte de R_n vai ser utilizada no aquecimento do ar (H), fornecendo valores elevados de β (GOMIDE, 1998).

A plataforma automática usada no balanço de energia/ razão de Bowen (BE/RB), nas medições de R_n , G , T e “e”, a duas alturas acima da superfície evaporante (vegetação), para a determinação dos fluxos Le e H , encontra-se descrita com detalhes em Gomide (1998), sendo basicamente composta de dois braços, onde são montados os sensores de temperatura e pressão de vapor do ar, um abrigo de proteção do *datalogger*, uma bateria, um sistema automático controlador do fluxo de ar, um sensor de medição da concentração de vapor do ar e um painel solar. Todos são montados em apenas um tripé (Fig. 3). Um braço transversal com os sensores para medir a velocidade e a direção do vento também é montado no topo desse tripé.

Com relação às alturas (z), acima da superfície evaporante (vegetação), para a determinação dos fluxos de calor latente (Le) e sensível (H), é comum realizar as medições, uma posição logo acima do dossel da cultura (em torno de 0,1 m) e outra distanciada verticalmente de cerca de 1,0 a 1,5 m da primeira (Fig. 3). Um *datalogger* é usado para armazenar os dados de todos os sensores e controlar a abertura e o fechamento das chaves eletrônicas das válvulas reguladoras de fluxo de ar por meio do *cooled mirror*.

O Gráfico 6 ilustra a variação diurna de alguns termos do balanço de energia: os fluxos de saldo radiação (R_n), calor latente ($Le = ET_{cRB}$) e calor sensível (H), da evapotranspiração da cultura determinada pela equação de Penman-Monteith (ET_{cPM}), da velocidade do vento e da razão das resistências climática e aerodinâmica (r_i/r_a) obtidos aos 41 dias após a semeadura com a cultura do feijoeiro (KOBAYASHI et al., 2002). Os resultados relativos à ET_c mostram que os valores calculados pela equação de Penman-Monteith (ET_{cPM}) foram subestimados, quando comparados com os valores medidos de ET_c pela razão de Bowen (ET_{cRB}). Verifica-se também que, em vários horários de medição, o fluxo de calor latente medido pelo sistema RB ($Le = ET_{cRB}$) ultrapassou o valor do saldo



Reinaldo Lúcio Gomide

Figura 3 - Plataforma automática usada no balanço de energia/razão de Bowen nas medições de saldo radiação (Rn), fluxo de calor do solo (G), temperatura do ar (T), pressão de vapor do ar (e), a duas alturas (z) acima da superfície evaporante (vegetação), para a determinação dos fluxos de calor latente (Le) e sensível (H), instalada na cultura de milho

de radiação, indicando a possibilidade de ter ocorrido efeito de advecção. Pelo fato de a contribuição da energia advectiva não ter sido medida diretamente, foi utilizada a razão entre a resistência climática (r_i) e a resistência aerodinâmica, para indicar o efeito de contribuição de energia advectiva de áreas adjacentes à área experimental, conforme proposto por Thom (1975 apud TODD et al., 2000), que salienta que essa razão aumenta caso aumente a contribuição de fluxo de ar seco de áreas adjacentes sobre a vegetação da área monitorada, denominado efeito oásis. Observa-se que o fluxo de calor sensível (H) apresenta valores negativos no período da tarde, os quais se tornaram mais evidentes com o aumento de r_i/r_a , reforçando a hipótese de contribuição de energia de áreas adjacentes (KOBAYASHI et al., 2002).

PROGRAMAÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Para fins de uso e manejo da água de irrigação, o conceito do processo de ETc é considerado unidimensional, particular-

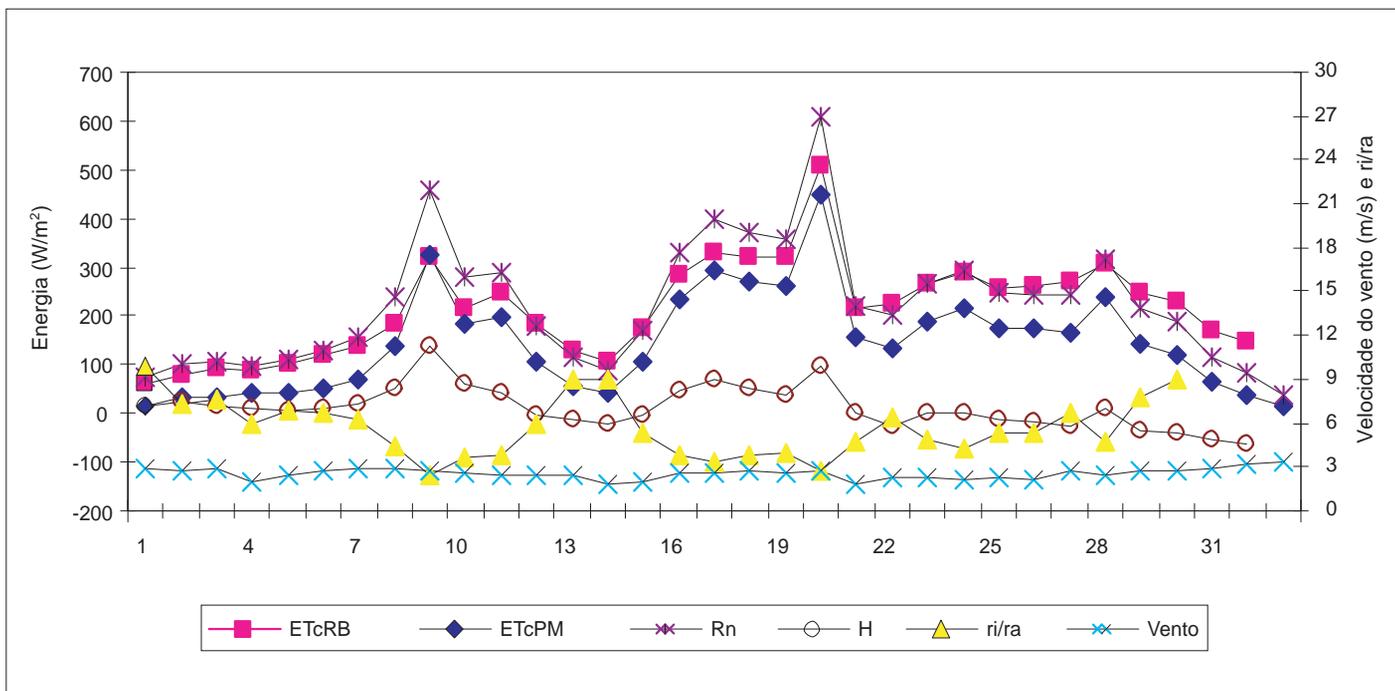


Gráfico 6 - Variação diurna de alguns termos do balanço de energia [fluxos de saldo radiação (Rn), calor latente (Le = ETcRB) e calor sensível (H)], da evapotranspiração da cultura determinada pela equação de Penman-Monteith (ETcPM) e da razão das resistências climática e aerodinâmica (r_i/r_a), obtidos aos 41 dias após a semeadura com a cultura do feijoeiro

FONTE: Kobayashi et al. (2002).

mente em relação aos processos da evaporação e de trocas de energia, significando que todos os fluxos de vapor d'água são uniformes e verticais ao longo da superfície horizontal coberta com a vegetação, que deve ser representativa de plantio de grande escala para evitar o efeito de bordadura de energia advectiva de áreas adjacentes ou efeito oásis.

O uso e o manejo racional da água de irrigação, na agricultura irrigada, envolvem tanto a sua reposição no perfil do solo (irrigação), quanto a remoção de seu excesso (drenagem). Sua reposição pode ocorrer artificialmente por meio de um sistema de irrigação (aspersão convencional, pivô central, barra lateral com difusores móveis, gotejamento, etc.) ou, naturalmente, pela distribuição de precipitações pluviométricas. Na programação da irrigação, tanto na fase de elaboração do projeto como na operação e manejo do sistema, a água disponível no solo para as plantas, é usualmente calculada com base no balanço hídrico da região. Este tem na ETo e precipitação efetiva seus principais componentes (RITCHIE, 1985; HEERMANN, 1985; MIZYED et al., 1991).

REQUERIMENTO DE ÁGUA DAS CULTURAS

Um dos primeiros passos para elaboração do projeto e dimensionamento de qualquer sistema de irrigação é determinar as necessidades hídricas das culturas que serão implantadas. Geralmente, esses cálculos são realizados para as condições críticas que poderão ocorrer com a cultura em função do solo, do clima, da fase dessa cultura e da época do ano. Por isso, deve-se definir com clareza a diferença entre as necessidades máximas de irrigações que se utilizam para o cálculo do diâmetro das tubulações, do dimensionamento do conjunto motobomba etc., e as necessidades normais de irrigação que controlam o funcionamento do sistema. Portanto, o que importa para o projetista são as necessidades máximas, que permitem calcular a hidráulica das instalações. As necessidades normais, que são do interesse do irrigante durante a

condução do dia-a-dia da sua cultura, são obtidas pelo manejo de irrigação, que é o ajustamento da duração e/ou frequência de irrigação em função da lâmina d'água requerida para determinada fase ou período do ciclo da cultura (VERMEIREN; JOBLIN, 1997).

De modo geral, a água necessária a uma determinada cultura é equivalente à evapotranspiração (evaporação de água do solo + transpiração das plantas) de uma cultura livre de doenças que se desenvolve em um local em condições ótimas de solo e clima. A condição ótima de solo consiste em nível de fertilidade e umidade suficientes para a cultura alcançar a sua produção potencial no meio considerado. Daí, a necessidade hídrica de uma cultura baseia-se em sua evapotranspiração (ETc) e é expressa, normalmente, em milímetros por dia (mm/dia).

Podem ser obtidos os dados necessários à demanda hídrica da cultura por meio de medições realizadas diretamente no campo. Entretanto, os procedimentos de medidas diretas são demorados e trabalhosos, sendo esses mais utilizados em condições de pesquisa. Dessa forma, os métodos estimativos são os mais utilizados.

A precisão na determinação das necessidades hídricas das culturas depende muito da natureza dos dados climáticos disponíveis e da precisão do método selecionado para estimar a evapotranspiração.

PLANILHA ELETRÔNICA PARA A PROGRAMAÇÃO DA IRRIGAÇÃO DE CULTURAS ANUAIS COM BASE NO BALANÇO DE ÁGUA DO SOLO

Planilhas eletrônicas que permitem programar a irrigação de culturas anuais, mostradas em Albuquerque e Andrade (2001), Albuquerque (2003, 2007) e Albuquerque e Maeno (2007) empregam como técnica para o manejo da irrigação a do balanço de água no solo. As versões mais recentes têm a vantagem da flexibilidade da tomada de decisão, de modo que, apesar de ser indicada uma data para irrigar, o usuário tem a liberdade de irrigar em qualquer

data escolhida, dentro de sua capacidade operacional. Porém, o adiamento do dia de irrigar implica um aumento do fator de risco à cultura, porque esta pode ser submetida a déficit hídrico. Dependendo do grau de exatidão que se deseja, estimativas, medições ou inclusões de variáveis poderão ser efetuadas. Assim, utiliza-se a planilha para fazer a programação da irrigação, as características físico-hídricas do solo, a ETo (por qualquer método, inclusive pelo do tanque de evaporação Classe A) e a precipitação pluvial.

O balanço de água no solo é um método usado para prever a variação do conteúdo de água no volume de solo que engloba o sistema radicular da cultura. Esse método considera uma condição de água no solo que não causa déficit ou excesso ao sistema radicular da planta, contribuindo, portanto, para que ela obtenha o mais alto rendimento técnico. Por isso, o turno e as lâminas de irrigação assim obtidos podem variar continuamente ao longo do ciclo da cultura.

Desse modo, o balanço baseia-se na equação de conservação de massa:

Equação 11

$$\Delta' (CAD \times Z) = \text{água que entra} - \text{água que sai}$$

em que, Δ' representa variação, CAD é o conteúdo de água disponível e Z a profundidade do sistema radicular.

O CAD é uma fração do conteúdo da água total disponível (CTAD) para as plantas, sendo o CTAD definido pelo conteúdo de água no solo, que está entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (HILLEL, 1980).

É muito importante conhecer o CAD no dia do plantio, por estimativas ou medições, para fazer o balanço durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (ITIER et al., 1996). Atualmente, tem-se recomendado irrigar no dia do plantio, de modo que o CAD atinja o CTAD numa profundidade de pelo menos o dobro daquela de semeadura, ou seja, se a semeadura foi feita a 5 cm de profundidade, o valor de Z para efeito de irrigação fica sendo de 10 cm pelo menos.

No presente caso, o Z considerado para a irrigação do plantio foi o seu valor máximo (Zmax), além de que o perfil do solo pode ser dividido em até cinco camadas para obtenção do CTAD por camada.

Na superfície do solo, as variáveis que entram (+) e que saem (-) do balanço podem ser a chuva (+P), a irrigação (+I), o escoamento superficial (\pm ES) e a evapotranspiração real (-ETc). Abaixo da superfície do solo, têm-se a ascensão capilar (+AC) e a drenagem profunda (-D). A Figura 4 ilustra, de modo geral, como se processa o ciclo da água no sistema solo-água-planta-atmosfera, evidenciando a interferência desse ciclo no balanço da água no solo.

Na condição mais comum da ocorrência de um lençol freático mais profundo, o termo AC é desprezado, pois não há a sua contribuição para aumentar o conteúdo de água para a zona radicular.

A lâmina de irrigação (I), calculada sem excesso e aplicada a uma taxa dentro da velocidade de infiltração básica (VIB) do solo, não causa drenagem profunda nem escoamento superficial; portanto, tanto D quanto ES também podem ser desprezados. Entretanto, na ocorrência de P com valores mais elevados, haverá a ocorrência de D, assim como pode haver também ES, dependendo da intensidade de P. Para desprezar D e ES, deve-se estimar a precipitação efetiva (Pef), ou seja, aquela que realmente

contribui para suprir a cultura.

Para que não haja efeito sobre o desenvolvimento normal da cultura, a ETc não pode sofrer redução em virtude da diminuição da umidade do solo a tal ponto que possa dificultar a extração de água pelas raízes (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Uma irrigação que não prevê déficit hídrico para a cultura deve levar em conta um fator de depleção (f) da água no solo. O f define a água facilmente disponível (CAFD), que é a fração da CTAD ($0 < f \leq 1$) que não causará efeito negativo sobre o desenvolvimento da cultura. Desse modo, CAFD = f x CTAD. O termo f é também chamado coeficiente de disponibilidade. O valor de f depende, basicamente, da cultura, do seu estágio de desenvolvimento e das condições do clima.

Levando em conta diversos aspectos, considera-se a seguinte equação para o balanço de água no solo:

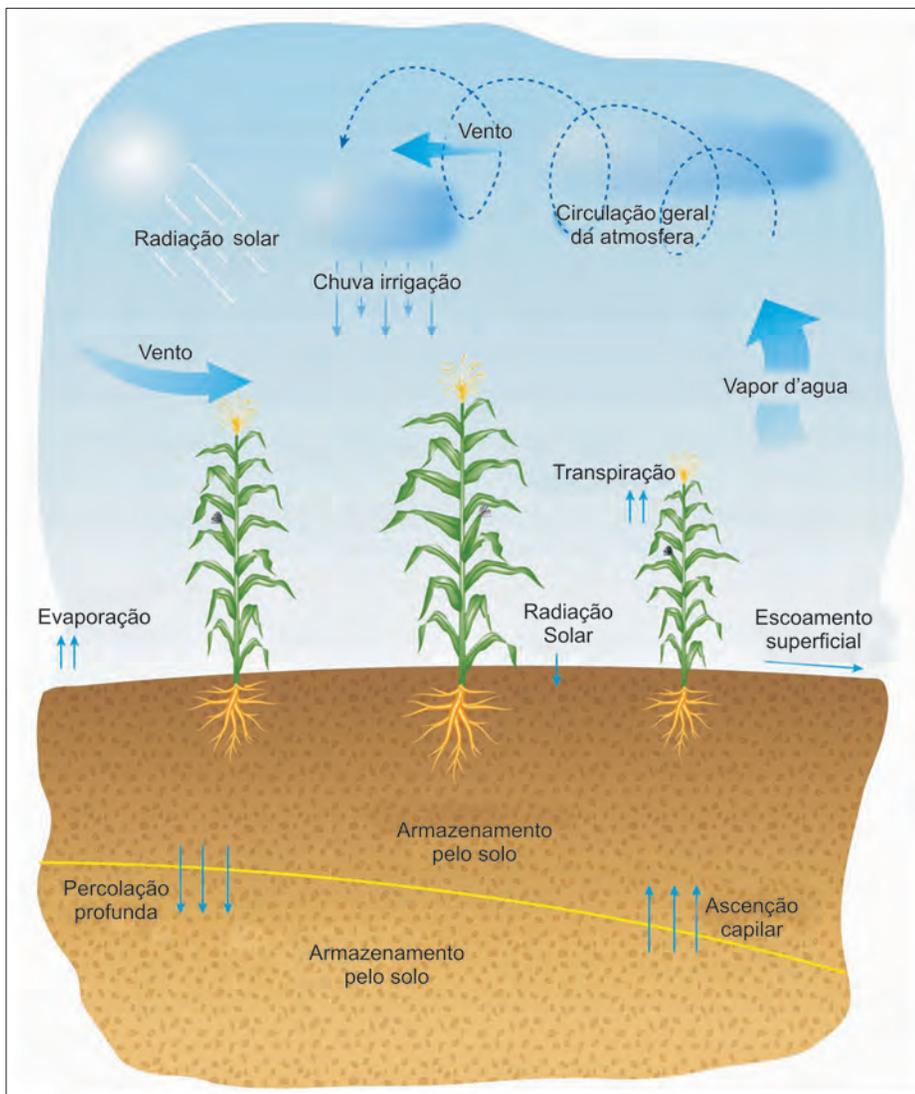
Equação 12

$$\Delta' (CTAD \times f \times Z) = I + P_{ef} - ET_c$$

em que, Δ' representa variação; CTAD é o conteúdo de água total disponível no solo (em mm de água/cm de solo); f é o coeficiente de disponibilidade ($0 < f \leq 1$); Z é a profundidade do sistema radicular (em cm); I é a lâmina de irrigação (em mm); Pef a precipitação efetiva (em mm) e ETc a evapotranspiração da cultura (em mm).

O lado esquerdo da Equação 12 [$\Delta' (CTAD \times f \times Z)$] representa o armazenamento de água que o solo comporta, até um valor mínimo admissível (f) dentro do volume de controle considerado, que, nesse caso, é o volume de solo que está limitado pela profundidade do sistema radicular. Essa expressão é que vai definir o turno ou a frequência de irrigação, isto é, quanto menor o seu valor maior é a frequência e vice-versa.

O lado direito da Equação 12 vai definir a lâmina de irrigação (I) em função do dia determinado para irrigar. Desse modo, ao observar a capacidade do solo em armazenar água, a lâmina líquida de irrigação (I) no dia determinado é dada por:



Idmar Pedro

Figura 4 - O ciclo da água no sistema solo-planta-atmosfera, enfocando também o balanço da água no solo com as suas variáveis

Equação 13

$$I = ETc - Pef$$

Para a estimativa da Pef é considerada a planilha, que toda precipitação pluvial é infiltrada no solo e que o excesso de água, que ultrapassa a sua capacidade de retenção, a partir da umidade real do solo no dia em questão, é drenado além da zona radicular. Então, Pef é estimada apenas pela lâmina que efetivamente pode contribuir para o consumo de água da cultura.

Na planilha, os valores do coeficiente de cultura (Kc) podem ser gerados automaticamente, segundo quatro classes de demanda evaporativa (que é função da ETo), a saber:

- a) 1 - baixa: $ETo \leq 2,5$ mm/dia;
- b) 2 - moderada: $2,5 < ETo \leq 5,0$ mm/dia;
- c) 3 - alta: $5,0 < ETo \leq 7,5$ mm/dia;
- d) 4 - muito alta: $ETo > 7,5$ mm/dia.

Com o valor de 1 a 4 selecionado, de acordo com a demanda predominante e a teoria descrita em Allen et al. (1998), para estimar os valores de Kc, geram-se os valores de Kc1 (ou Kc inicial), Kc3 (ou Kc na fase intermediária) e Kc4 (ou Kc na fase final). Entretanto, cada um desses valores de Kc pode ser previamente conhecido e prioritariamente utilizado no lugar daqueles estimados em função da demanda evaporativa.

OBTENÇÃO DE PLANILHAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO

Planilhas para o manejo de irrigação podem ser obtidas no portal da Embrapa Milho e Sorgo (www.cnpms.embrapa.br) na seção de “Publicações online”, como a Circular Técnica nº 97 (ALBUQUERQUE, 2007) e Documentos nº 65 (ALBUQUERQUE; MAENO, 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A automação de medições dos principais fatores agrometeorológicos, em tempo real, facilita a obtenção da ETc e,

conseqüentemente, permite estabelecer estratégias de manejo de irrigação e otimizar o uso da água necessário aos sistemas agrícolas, principalmente os irrigados, além de possibilitar melhor dimensionamento de projetos de irrigação em perímetros irrigados (sistemas de irrigação, bombeamento, distribuição e armazenamento de água, etc.).

A nova proposta de cálculos diários de ETo, com base na equação combinada de Penman-Monteith, padronizada de acordo com os procedimentos de Smith (1991) e ALLEN et al. (1998), é mais eficiente e precisa na determinação da ETc com o uso de coeficientes de culturas (Kc) apropriados.

O novo conceito de ETo baseia-se na taxa de ET de uma cultura hipotética, com uma altura uniforme de 0,12 m, resistência do dossel da cultura de 70 s/m e albedo de 0,23. Esse conceito assemelha-se, bem de perto, à ET de uma superfície extensa coberta com grama de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo completamente a superfície e sem restrição de umidade no solo. O método combinado de Penman-Monteith tem fornecido melhores resultados de estimativa da ETo para o caso dessa cultura hipotética de referência, atendendo tanto à definição original de ET potencial de Penman, quanto ao conceito de ETo da FAO (SMITH, 1991; ALLEN et al., 1998).

O uso de uma planilha eletrônica, para fazer o manejo adequado de irrigação de algumas culturas anuais, possibilita a entrada de dados diários agroclimáticos (temperatura do ar, precipitação, velocidade do vento, radiação solar) para determinar a ETc e também fazer o uso da técnica do balanço da água no solo para ter o controle do momento correto de aplicação da água de irrigação e da quantidade de água necessária em cada irrigação, com base no acompanhamento diário de variáveis relacionadas com o solo (conteúdo de água), planta (estádio do ciclo fenológico) e atmosfera (dados climáticos), permitindo a otimização do uso da água na irrigação.

No Brasil, a eficiência média do uso da água dos sistemas de irrigação está estimada em 60%, significando que, para cada 10 mil litros de água necessários às plantas por hectare (1 mm), são precisos 16.667 litros de água (LIMA et al., 1999). É importante destacar que desse volume total, as plantas transpiram 97%; portanto, um retorno de mais de 9.700 litros para a atmosfera, na forma de vapor d'água, ou seja, água pura. Os outros 6.667 litros tendem a evaporar da superfície do solo ou percolar e preencher os lençóis subterrâneos, que podem retornar ou não ao mesmo curso d'água de onde foi retirada. Vale ressaltar que a elevação dessa eficiência em apenas 5% representaria um volume de 1.282 litros que deixariam de ser retirados da fonte d'água por milímetro demandado pela cultura por hectare irrigado (LIMA et al., 1999). Daí conclui-se que somente com o aumento da eficiência do uso da água na irrigação, pode-se reduzir a retirada de água das fontes para a agricultura irrigada.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P. **Planilha eletrônica para a programação de irrigação em pivôs centrais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 9p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 25).
- _____. **Planilha eletrônica para programação da irrigação em sistemas de aspersão convencional, pivô central e sulcos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 18p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 97).
- _____; ANDRADE, C. de L.T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 14p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 10).
- _____; MAENO, P. **Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 76p. (Embrapa Milho e Sorgo, Documentos, 65).
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R.G.; PRUITT, W.O. FAO – 24 reference evapotranspiration factors. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.117, n.5, p.758-772, Sept./Oct. 1991.

BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**, v.27, p.779-787, 1926.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Irrigação & Tecnologia Moderna**, Brasília, n.54, p.46-55, 2002.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

GOMIDE, R.L. Monitoramento para manejo de irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: FARIA, M.A.; SILVA, E.L.; VILELA, L.A.A.; SILVA, A.M. **Manejo de irrigação**. Lavras: UFLA: SBEA, 1998. p.133-238.

_____; ALBUQUERQUE, P.E.P. de; ANDRADE, C. de L.T. de; DURAES, F.O.M.; VIANA, J.H.M. Utilização de estações climáticas automáticas nos estudos de clima e estresse hídricos de culturas para a fenotipagem de genótipos de cereais tolerantes à seca. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, *SPODOPTERA FRUGIPERDA*, 2.; SIMPÓSIO SOBRE *COLLETOTRICUM GRAMINICOLA*, 1., 2006, Belo Horizonte. **Resumos...** Inovação para sistemas integrados de produção. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

HERMANN, D.F. Evapotranspiration in irrigation management. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS.

Advances in evapotranspiration. Chicago, 1985. p.323-333.

HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 385p.

ITIER, B.; MARAUX, F.; RUELLE, P.; DEUMIER, J.M. Applicability and limitations of irrigation methods and techniques. In: SMITH, M.; PEREIRA, L.S.; BERENGENA, J.; ITIER, B.; GOUSSARD, J.; RAGAB, R.; TOLLEFSON, L.; HOFWEGEN, P. van (Ed.). **Irrigation scheduling: from theory to practice**. Rome: ICID: FAO, 1996. p.19-32.

JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: ASAE, 1974. 215p.

KOBAYASHI, M.K.; GOMIDE R.L.; SEDIYAMA G.C.; MAGALHÃES P.C. Parametrização da resistência do dossel da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizando razão de Bowen (balanço de energia) associada à termometria a infravermelho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA: UFBA: EMBRAPA, 2002.

LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. **Uso da irrigação no Brasil: o estado das águas no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999. CD-ROM.

MIZYED, N.; LOFTIS, J.; OAD, R.; EARLY, A. Importance of demande estimation in irrigation-system management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.117, n.3, p.336-349, May/June 1991.

NOVALYNS SYSTEMS. **Model 255 – 100 analog output evaporation gauge**. Rancho Cordova, California, 1997. 12p.

RITCHIE, J.T. Evapotranspiration empiricisms for minimizing risk in agriculture. In:

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Advances in evapotranspiration**. Chicago, 1985. p.139-150.

SANTOS, J.R.M. dos. **Irigar é preciso. Agro-analysis**, Rio de Janeiro, v.18, n.3, p.29-34, mar. 1998.

SEDIYAMA, G.C. A versão/proposta para o conceito de evapotranspiração de referência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Adversidades climáticas e a produção agrícola. Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45p.

SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.118, p.977-980, 1992.

TANNER, B. D. Automated weather stations. **Remote sensing reviews**, v.5, n.1, p. 73-98, 1990.

TANNER, C.B. Measurement of evapotranspiration. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H.R.; EDMINSTER, T.W. (Ed.). **Irrigation of Agricultural lands**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p.320-329.

TODD, R.W.; EVETT, S.R.; HOWELL, T.A. The Bowen ratio-energy balance for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, n.4, p.335-348, July 2000.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. **Irrigação localizada**. Campina Grande: UFPB, 1997. 184p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).

MUDAS DE OLIVEIRA

Garantia de procedência, mudas padronizadas,
qualidade comprovada e variedade identificada



Pedidos e informações:
EPAMIG - Fazenda Experimental de Maria da Fé
CEP: 37517-000 - Maria da Fé - MG
e-mail: femf@epamig.br - Tel: (35) 3662-1227



Escassez e qualidade da água no século 21

André Luís Teixeira Fernandes¹
 Márcio Augusto de Souza Nogueira²
 Paulo Veloso Rabelo³

Resumo - A água é o constituinte mais precioso da terra, sendo ingrediente essencial à vida. Embora se observe, por vários países do mundo, total negligência e falta de visão com relação a este recurso, é de se esperar que os seres humanos tenham pela água grande respeito, que procurem manter seus reservatórios naturais e salvaguardar sua pureza. O futuro da espécie humana e de muitas outras espécies pode ficar comprometido, a menos que haja uma melhora significativa na administração dos recursos hídricos terrestres. Para enfrentar a escassez, devem-se considerar tecnologias para a obtenção de água mais limpa, diminuição do desperdício e do consumo excessivo, técnicas de reúso e de conservação, proteção de mananciais e reservas superficiais e subterrâneas em níveis local, regional e global.

Palavras-chave: Recurso hídrico. Conservação de água. Reaproveitamento de água. Qualidade da água. Poluição da água. Deficiência hídrica. Tratamento da água.

INTRODUÇÃO

A preservação do meio ambiente e, conseqüentemente, dos recursos hídricos é uma necessidade atual em todo o mundo. Evidências, constatadas e mensuradas, do grau de deterioração que vem sofrendo os recursos naturais (em conseqüência de exploração irracional e de escassez de grande parte desses recursos), já são sentidas em algumas regiões do planeta. A situação é alarmante no que se refere à demanda existente e, mais preocupante, em relação à demanda futura.

Os recursos hídricos são renováveis, porém, finitos. Assim, sua preservação é de extrema importância. O consumo de água é crescente para os diversos fins e sua disponibilidade com boa qualidade está-se tornando cada vez menor. A escassez de água é um problema ambiental, cujos impactos tendem a ser cada vez mais graves,

caso o manejo dos recursos hídricos não seja revisto pelos países. Atualmente, mais de um bilhão de pessoas já não têm acesso à água limpa suficiente para suprir suas necessidades básicas diárias.

Nas diversas atividades humanas, agrícolas, industriais ou recreativas, em que, de alguma forma, a água é consumida, técnicas para a utilização mais racional desse recurso hídrico devem ser procuradas, tanto para minimizar o seu consumo, quanto para preservar sua finalidade. Segundo Testezlaf et al. (2002), a agropecuária é responsável pela utilização de 61% da água doce do mundo, percentual muito superior aos 18% da indústria e aos 21% do consumo humano.

No Brasil, por iniciativa do estado de São Paulo e que já alcançou outros Estados, foram criados os Comitês de Bacias, com o objetivo de gerenciar o uso da água dos seus mananciais. Uma das atribuições desses

Comitês está relacionada com a cobrança pelo uso da água e, também, pelo grau de contaminação do despejo de resíduos nos mananciais de cada bacia.

A cobrança pelo uso da água atingirá agricultores e produtores rurais que hoje não pagam um centavo sequer pela captação da água em suas propriedades. Com a aprovação dessa medida, toda água captada superficialmente de rios e lagos, como a subterrânea de poços, será cobrada do usuário.

No Brasil, os Comitês de Bacias dos Rios Piracicaba, Jundiá e Capivari e Paraíba do Sul já fazem a cobrança do uso da água em suas áreas de abrangência, sendo, atualmente, referências nacionais no assunto.

No estado de Minas Gerais, o Comitê da Bacia do Rio Araguari deverá traçar, ainda em 2008, as diretrizes e normas para cobrança pelo uso da água na sua área de ação, a partir do ano de 2009.

¹Eng^o Agr^o, D.Sc., Prof./Pesq. UNIUBE/FAZU, Av. Nenê Sabino, 1801, CEP 38055-000 Uberaba-MG. Correio eletrônico: andre.fernandes@uniube.br

²Eng^o Civil, D.Sc., Prof./Pesq. CEFET Uberaba, CEP 38055-000 Uberaba-MG. Correio eletrônico: souza_nog@terra.com.br

³Eng^o Agr^o, M.Sc., Prof./Pesq. UNIUBE, CEP 38055-000 Uberaba-MG. Correio eletrônico: paulo.rabelo@uniube.br

A cobrança pelo uso da água não é uma medida punitiva, mas de caráter educativo, que visa evitar desperdícios e mau uso da água por todos os usuários da bacia, sejam eles produtores rurais, indústrias, empresas de águas e esgotos e de turismo. Os recursos oriundos dessa cobrança serão utilizados em cada bacia, em obras e ações, visando sua preservação e melhoria da qualidade da água.

Em termos agrícolas, sem dúvida maior consumidor de água do mundo, o aspecto da qualidade da água tem sido desprezado em grande parte dos projetos que envolvem agricultura irrigada, pelo fato de, no passado, serem abundantes as águas de boa qualidade e de fácil utilização. Porém, essa situação está sendo alterada, devido ao uso intensivo do manancial hídrico, que exige para novos projetos a utilização de águas de qualidade inferior (AYERS; WESTCOT, 1991; SHAINBERG et al., 1978).

Os julgamentos com referência à adequabilidade das águas para irrigação não são tão simples como no caso relativo a águas domésticas, principalmente pelo fato de a reação de qualquer cultura depender de muitos fatores e não meramente da química do suprimento de água para irrigação. A natureza do solo, o clima, o tipo de cultura, o método de irrigação, as condições locais de drenagem e os métodos de orientação da cultura que será utilizada são fatores bastante significativos.

A água utilizada para irrigação é, em geral, obtida de fontes superficiais ou subterrâneas. No Brasil, a quase totalidade provém de fontes superficiais, como lagos, represas, rios e riachos, as quais estão sujeitas à poluição e à proliferação de organismos aquáticos. Por essa razão, torna-se necessário analisar a qualidade da água de irrigação, para permitir maior vida útil ao sistema de irrigação, menor risco à saúde das pessoas, maior rendimento das culturas e um menor impacto ambiental.

Este artigo tem como objetivos caracterizar a importância da água para a manutenção da vida na terra, solucionar problemas de escassez e de poluição e mostrar como a

água utilizada na agricultura pode impactar o desenvolvimento da sociedade no Brasil e no mundo.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Água e sua importância para plantas

De todas as substâncias absorvidas pelas plantas, a água é a que é necessária em maior quantidade. As moléculas de água são mais do que qualquer simples engrenagem na maquinaria metabólica das plantas: integram os seres vivos e, do ponto de vista ecológico, representam força para a configuração de padrões climáticos. Portanto, a água é essencial para a vida das plantas, tanto no sentido bioquímico como no biofísico, e suas influências são internas e ambientais (BENINCASA, 1984).

Por ser o principal constituinte das células vegetais, podendo atingir até 95% do peso total (SUTCLIFFE, 1980), a água é um fator vital na produção das plantas, pois participa de todos os fenômenos físicos, químicos e biológicos essenciais ao seu desenvolvimento.

A água atua também como veículo de transporte de nutrientes minerais e produtos orgânicos da fotossíntese, absorvidos do solo e conduzidos para as plantas por meio da contínua demanda evapotranspirativa, com destino à atmosfera (REICHARDT, 1993). Taiz e Zeiger (2004) citam que para cada grama de matéria orgânica (MO) produzida pela planta, aproximadamente 500 g de água são absorvidos pelas raízes, transportados pelo corpo da planta e perdidos para a atmosfera. Mesmo um pequeno desequilíbrio nesse fluxo de água pode causar déficits hídricos e mau funcionamento severo de inúmeros processos celulares. Assim, toda a planta deve realizar um balanço delicado de sua absorção e perda de água, que constitui um sério desafio para as plantas terrestres.

A maior parte da água absorvida por uma planta é perdida na forma de vapor pela superfície das folhas, processo este conhecido como transpiração. Plantas de

milho, por exemplo, transpiram mais de 98% do total da água que absorvem. Do restante, a maior parte fica retida nos tecidos vegetais e somente uma porção muito pequena (< 0,2%) é utilizada na fotossíntese.

De acordo com Taiz e Zeiger (2004), de todos os recursos que a planta necessita para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e, ao mesmo tempo, o mais limitante para a produtividade agrícola.

As sociedades humanas, embora dependam da água para a sua sobrevivência e desenvolvimento econômico, poluem e degradam este recurso, tanto as águas superficiais como as subterrâneas. A diversificação dos usos múltiplos, o despejo de resíduos sólidos e líquidos em mananciais e a destruição das áreas alagadas e das matas ciliares têm produzido contínua e sistemática deterioração e perdas extremamente elevadas em quantidade e qualidade da água (TUNDISI, 2003).

Tundisi (2003) também observa que a partir dos resultados de análises de especialistas do Instituto Mundial de Recursos – World Resources Institute (WRI), os volumes disponíveis de água e os efeitos dos usos múltiplos apontam para uma crise sem precedentes na história da humanidade. São apontadas seis grandes alterações nos mecanismos e legislação sobre os usos da água, a avaliação dos impactos, a disponibilidade de água *per capita* e as necessidades de gerenciamento integrado:

- a) água potável e de qualidade para todos;
- b) aumento do suprimento e alternativas;
- c) crescimento populacional e usos da água na agricultura;
- d) controle das enchentes e secas;
- e) mudanças climáticas e seus efeitos;
- f) impactos sociais e econômicos nos usos da água.

Água na natureza

Com o progressivo aumento das populações e a evolução da civilização moderna, vêm crescendo as demandas de água para os inúmeros fins: domésticos, industriais e

agrícolas. Isto porque, na sociedade atual, a água desempenha função sem precedentes. Embora três quartos da superfície terrestre sejam cobertos por água, as expectativas para o próximo século são preocupantes quanto à disponibilidade de água potável para o consumo humano, tanto pelo crescimento populacional como, principalmente, pela poluição dos reservatórios naturais, rios, lagos, depósitos subterrâneos, etc. Entre 1940 e 1960, o consumo total de água dobrou de 1 mil para 2 mil km³/ano; de 1960 para 1990, saltou para 4,13 mil km³⁽⁴⁾ (GHASSEMI et al., 1995). As estimativas são de que, ao final deste século, o consumo de água aumente em cerca de 10 vezes em relação ao ano de 1900. Segundo a Agência Nacional de Águas (2005), somente no Brasil o consumo anual de água é de 26,5 km³ sendo o maior consumo na irrigação (591 m³/s, representando 69% do total), seguido pelo consumo animal e urbano (89 e 88 m³/s, respectivamente). Já na área rural, o consumo é de 18 m³/s e nas atividades industriais 55 m³/s.

Por outro lado, cerca de 9 mil km³ de água doce são disponíveis para exploração humana em todo o mundo, o que seria suficiente para a manutenção de 20 bilhões de pessoas que correspondem ao triplo da população atual (GHASSEMI, 1995). Entretanto, existem problemas sérios de distribuição. Países cuja disponibilidade de água não atinge 1 mil m³/hab./ano sofrem de escassez de oferta. Em 1990, cerca de 20 países integravam o bloco dos deficitários, prevendo-se para 2025 a inclusão de mais 10, entre os quais: Haiti, Marrocos, África do Sul, Síria, Etiópia, Egito, etc.

A água existe na natureza nas fases sólida, líquida e gasosa, como componentes do chamado ciclo hidrológico ou ciclo da água. O ciclo hidrológico é um ciclo contínuo, em que a água no estado líquido evapora-se da superfície da Terra, dos oceanos e outras reservas e incorpora-se à atmosfera no estado gasoso, retornando ao estado anterior sob a forma de chuva

ou neve. Anualmente, a energia do sol faz com que um volume aproximado de 500 mil km³ de água se evapore, principalmente dos oceanos. Do ponto de vista de suprimento de água para as plantas e uso em agricultura irrigada, são de grande interesse estudos que envolvam a água de chuva, água armazenada em reservatório de superfície e água subterrânea.

Segundo Tundisi (2003), o ciclo hidrológico é o modelo pelo qual são representados a interdependência e o movimento contínuo da água nas fases sólida, líquida e gasosa, embora a fase de maior interesse seja a líquida, fundamental para satisfazer as necessidades do homem e de todos os outros organismos, animais e vegetais. De acordo com Speidel et al. (1988), os componentes do ciclo hidrológico são:

- precipitação: água adicionada à superfície da Terra a partir da atmosfera, que pode ser líquida (chuva) ou sólida (neve ou gelo);
- evaporação: processo de transformação da água líquida para a fase

gasosa, sendo a maior contribuição dos oceanos;

- transpiração: perda de vapor de água pelas plantas, que entra na atmosfera;
- infiltração: processo pelo qual a água é absorvida pelo solo;
- percolação: processo pelo qual a água entra no solo e nas formações rochosas até o lençol freático;
- drenagem: deslocamento de água nas superfícies, durante a precipitação.

Na Figura 1, é possível visualizar as peculiaridades do ciclo hidrológico e seus principais processos. No Quadro 1, podem ser comparados os volumes de água em circulação na Terra.

Água de chuva

A água de chuva é o componente mais importante do ciclo hidrológico por constituir a principal fonte de uso pelas plantas por meio da reposição da capacidade de armazenamento hídrico do solo e do reabastecimento dos reservatórios de águas superficiais e subterrâneas. Estima-se que a

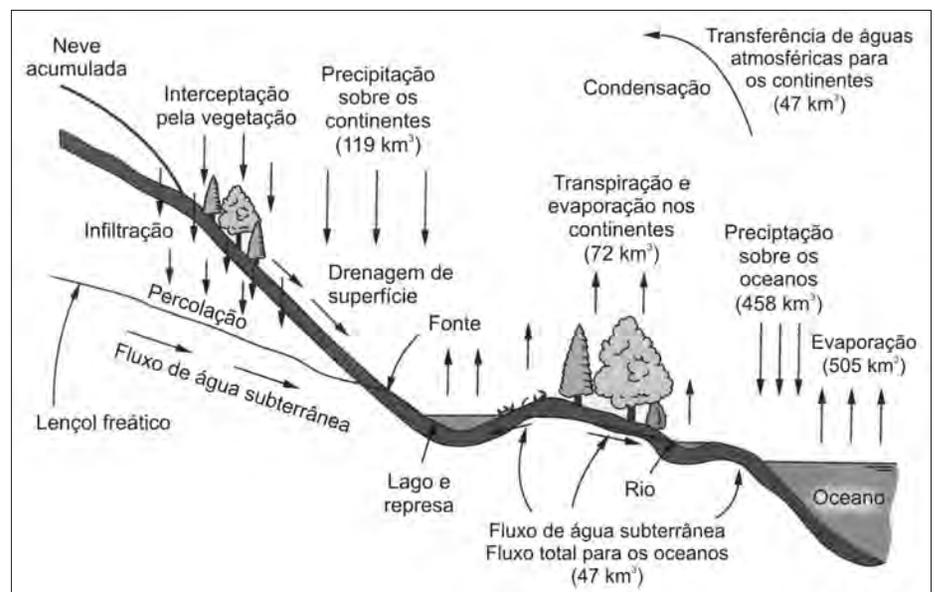


Figura 1 - Ciclo hidrológico

FONTE: Tundisi (2003).

NOTA: Os números em km³ ($\times 10^3$) indicam os fluxos de evaporação, precipitação e drenagem para os oceanos.

⁴1 km³ = 1 bilhão m³.

QUADRO 1 - Volume de água em circulação na terra, em km³/hab./ano

Componente hidrológico	Volume (km ³ /hab./ano)
Precipitação nos oceanos	458.000
Precipitação nos continentes	119.000
Descarga total nos rios	43.000
Volume do vapor atmosférico	13.000
Evaporação dos oceanos	503.000
Evaporação dos continentes	74.200
Contribuição dos fluxos subterrâneos às descargas dos rios	43.000

FONTE: Costa (2007b).

contribuição do ciclo hidrológico, de água oriunda dos oceanos para a terra firme, apresenta um saldo positivo próximo de 40 mil km³/ano, servindo como alimentador dos rios e recarga dos depósitos superficiais e subterrâneos (CRISE..., 1994).

A chuva é uma forma de irrigação natural das lavouras com água praticamente isenta de sais, apresentando condutividade elétrica (CE) em torno de 0,010 dS/m (MOLLE; CADIER, 1992), o que confere à planta um ótimo sabor para consumo humano.

Águas de superfície

Entende-se como águas de superfície as águas doces armazenadas em barragens, açudes, lagos, represas em geral e as contidas nos fluxos dos rios. Cerca de 2,5% das águas da Terra, o que corresponde a 35 milhões de km³, são consideradas potáveis. Entretanto, 24 milhões de km³ desse total (1,74%) estão indisponíveis por estocagem na forma de gelo ou neve no topo de montanhas ou nas calotas polares. O volume de água doce contido nos lagos é estimado em 91 mil km³, o que corresponde a apenas 0,007% de toda a água existente, e o volume dos rios compreende cerca de 2.120 km³ (CRISE..., 1994; GHASSEMI et al., 1995).

Dos 3% de reserva de água doce da Terra, o Brasil detém 13%. Essa visão de abundância, aliada à grande dimensão continental do País, favoreceu o desenvolvimento de uma consciência de inestabilidade, isto é, um consumo distante

dos princípios de sustentabilidade e sem preocupação com a escassez. A elevada taxa de desperdício de água no Brasil, 70%, comprova essa despreocupação. A oferta gratuita de recursos pela natureza e a crença de sua capacidade ilimitada de recuperação diante das ações exploratórias, contribuiu para essa postura descomprometida com a proteção e o equilíbrio ecológico (AMBIENTE BRASIL, 2004).

As principais fontes de água para irrigação são representadas pelas águas de superfície, que são abastecidas pelas águas de chuva e apresentam maior facilidade de captação.

Água subterrânea

A água subterrânea estende-se por toda parte sob a superfície do solo, distribuída desde as planícies mais áridas até os pontos mais altos do relevo terrestre e constitui uma das principais fontes de toda a água utilizável pelo homem. As reservas subterrâneas são abastecidas por infiltração lenta das águas superficiais, através dos solos e acomodam-se em camadas rochosas a diferentes profundidades, sendo mantidas, muitas vezes, sob pressão. São essas águas que abastecem os poços utilizados nas zonas rurais, pequenas e médias cidades.

Com um custo maior que o da água de superfície, a subterrânea deve ser tratada como reserva estratégica e protegida como recurso natural capaz de assegurar a sobrevivência humana com direito à boa qualidade de vida.

No que diz respeito à gestão de águas,

Rodriguez (1991) afirma que as águas subterrâneas não podem ter tratamento distinto das águas de superfície, já que no ciclo hidrológico elas interagem. Os cursos de águas perenes mantêm-se com as águas das chuvas que se infiltram e abastecem depósitos subterrâneos. Problemas, no entanto, podem surgir, quando o uso consultivo superar a recarga natural do manancial subterrâneo.

Em algumas regiões cafeeiras, como Araguari, no Triângulo Mineiro, a utilização de água subterrânea para a irrigação tem grande importância, tanto no que diz respeito ao aumento de produtividade da cultura, como na incidência de constantes conflitos pelo uso dessa água.

RECURSOS HÍDRICOS: DISPONIBILIDADE E USOS

Sabe-se que a maior parte do nosso planeta é coberta de água. Entretanto, apenas uma pequena parcela pode ser facilmente utilizada pelo homem para suas diversas atividades. A maior parte da água que cobre 71% da superfície da Terra está contida nos mares e oceanos e corresponde a 96,5% de toda água existente no planeta. Há também uma significativa parcela de água presente nas geleiras e neves que são de difícil captação e, portanto, não são aproveitáveis.

Segundo Setti (1995), a qualidade de água livre sobre a Terra atinge 1.370 milhão de km³, sendo apenas 0,6% de água doce líquida disponível naturalmente. Desse valor, apenas 1,2% é de águas superficiais encontradas nos rios e lagos e o restante (98,8%) está no subsolo. Dessa água subterrânea, somente a metade é utilizada, já que a outra parte é encontrada a profundidades maiores que 800 m e, portanto, de difícil captação. Assim, resta apenas 0,3% de toda água do planeta, que pode ser aproveitada facilmente e captada dos rios e lagos.

A disponibilidade de água no planeta é superior à demanda da população. No entanto, sua distribuição aos diferentes setores consumidores para os diversos usos é extremamente desigual, o que confere a muitas regiões déficit de recursos hídricos,

comprometendo o atendimento à população em geral.

Além da má distribuição e das perdas, a crescente degradação dos recursos hídricos, devido à concentração de cargas poluidoras em algumas regiões e à falta de escrúpulos quanto ao lançamento dessa carga nos cursos d'água, também deve ser considerada um dos fatores que tornam a água imprópria para diversos usos.

Assim, diversas regiões do mundo enfrentam hoje problemas relativos à escassez de água com qualidade compatível ao uso que se fará dela.

Mota (1997) classifica os principais usos da água como consultivos (quando há perdas entre o que é retirado e o que retorna ao sistema natural) e não consultivos (quando ocorre o contrário). Os consultivos são: abastecimento humano, abastecimento industrial, irrigação e dessedentação de animais. Os não consultivos são: recreação, harmonia paisagística, geração de energia elétrica, conservação da flora e da fauna, navegação, pesca e diluição, assimilação e afastamento de despejos.

O consumo de água tende a crescer com o aumento da população, o desenvolvimento industrial e outras atividades humanas. Cada vez mais retira-se água dos mananciais e produzem-se resíduos líquidos, que voltam para seus recursos hídricos alterando a sua qualidade.

Para cada uso da água, há necessidade de que esta tenha uma determinada qualidade. A água para beber, por exemplo, deve obedecer a critérios mais rígidos do que a utilização na recreação ou para fins paisagísticos. A qualidade desejável para a água usada na irrigação varia em função dos tipos de culturas, onde será aplicada. Culturas alimentícias, por exemplo, exigem uma qualidade de água superior à de culturas não alimentícias. O mesmo acontece com a água destinada às indústrias, cujas características dependem dos tipos de processamentos e produtos das fábricas. Alguns usos provocam alterações nas características da água, tornando-a imprópria para outras finalidades. A irrigação, com o uso de fertilizantes e pesticidas, pode pro-

vocar a poluição de mananciais, causando prejuízos a outros usos. A água utilizada para diluir despejos, mesmo tratada, torna-se imprópria para o consumo humano e para outros fins.

Observa-se que há necessidade do manejo adequado dos recursos hídricos, compatibilizando seus diversos usos de forma que garanta água com qualidade e na quantidade desejáveis aos seus diversos fins. Este é um dos grandes desafios da humanidade: saber aproveitar os seus recursos hídricos garantindo os seus múltiplos usos hoje e sempre.

Em algumas regiões, há água em abundância, suficiente para suprir as necessidades da população e para diluir os resíduos líquidos resultantes dos diversos usos. Em outras, com características áridas ou semi-áridas, há escassez de água, muitas vezes até para fins mais nobres, como o abastecimento humano. No Brasil, por exemplo, na região Semi-Árida do Nordeste, em períodos longos de estiagem, a população de algumas áreas é, muitas vezes, obrigada a percorrer grandes distâncias para apanhar água que, freqüentemente, é de péssima qualidade.

Em outras regiões do País, onde há relativa abundância de água, os problemas de poluição são graves, resultantes da urbanização, industrialização, mineração, irrigação e outras atividades, havendo, muitas vezes, dificuldade de obter água na qualidade adequada para determinados usos. Com isso, torna-se necessária a implantação de processos de tratamento mais rigorosos e isso será refletido no custo da água fornecida.

Constata-se, assim, que no manejo dos recursos hídricos é importante considerar os aspectos de qualidade e quantidade de água. Os múltiplos usos desse líquido devem ocorrer de forma equilibrada, considerando a sua disponibilidade e a capacidade dos mananciais em diluir e depurar recursos líquidos.

Crise da água

De acordo com Tundisi (2003), a deterioração dos mananciais e do suprimento de

água é resultado do constante aumento no volume de água utilizado para vários fins e do aumento da poluição e da contaminação hídrica. Os impactos causados têm custos econômicos elevados na recuperação das fontes de água para abastecimento, incidindo sobre a sociedade nos diferentes continentes e países. Um dos maiores agravantes da deterioração dos recursos hídricos é a repercussão na saúde humana e no aumento da mortalidade infantil e das internações hospitalares.

Ainda segundo Tundisi (2003), outra causa das mudanças no ciclo hidrológico são as alterações globais no planeta, que deverão causar impactos na evaporação, no balanço hídrico e na biodiversidade dos sistemas aquáticos. Águas superficiais e subterrâneas sofrem contínuos impactos com grandes danos ao funcionamento dos ecossistemas, ao balanço hídrico e à disponibilidade de recursos hídricos para a espécie humana e outras espécies de animais e plantas.

Conforme a Unesco (2003), os principais problemas mundiais de água no planeta são os seguintes:

- a) o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) identifica 80 países com grandes problemas de água, representando 40% da população mundial;
- b) 1/3 da população mundial vive em países onde a falta de água vai de moderada a alta;
- c) mais de 1 bilhão de pessoas têm problemas de acesso à água potável e 2,4 bilhões não têm acesso a saneamento básico, provocando centenas de milhões de casos de doenças de veiculação hídrica e mais de 5 milhões de mortes a cada ano. Estima-se que de 10 mil a 20 mil crianças morrem todo dia vítimas de doenças de veiculação hídrica;
- d) mais de 20% de todas as espécies de água doce estão ameaçadas em função da construção de barragens, diminuição do volume de água e danos causados por poluição e contaminação;

- e) 37% da população mundial vive próximo à costa, onde o esgoto doméstico é a maior fonte de contaminação;
- f) 30 a 60 milhões de pessoas foram deslocadas diretamente pela construção de represas em todo o planeta;
- g) 120 mil km³ de água estão contaminados.

Segundo Watson et al. (1998), as perspectivas para o futuro não são nada promissoras. Esses autores observam que:

a) em 2025, dois terços da população mundial estarão vivendo em regiões com estresse hídrico. Em muitos países em desenvolvimento, a pouca disponibilidade de água afetará o crescimento e a economia local e regional;

b) a poluição da água continuará afetando os recursos hídricos continentais e as águas costeiras;

c) o uso inadequado do solo afetará bacias hidrográficas nos continentes, águas costeiras e estuários.

No Quadro 2, pode-se visualizar a disponibilidade de água nos continentes em relação ao percentual populacional, segundo a Unesco (2003). Nota-se que o problema mais sério é no Continente Asiático, que possui mais da metade da população do mundo, mas tem disponíveis somente 36% dos recursos hídricos mundiais.

Em algumas regiões do mundo, a disponibilidade hídrica já é problema sério, com regiões e países à beira do colapso (Quadros 3 e 4).

De acordo com Costa (2007b), a situação também é crítica no México, Hungria, Índia, China, Tailândia e Estados Unidos. Os países mais pobres em água têm a sua população concentrada nas áreas próximas a rios, em regiões áridas ou insulares da terra. A disponibilidade de menos de 1 mil m³/hab./ano já representa condição de “estresse de água” e menos de 500 m³/hab./ano configura “escassez de água”, segundo Falkenmark (1986). Outro fator que também deve ser considerado no consumo de

QUADRO 2 - Relação entre a disponibilidade de água e a população

Continente	Água (%)	População (%)
América do Norte e Central	15	8
América do Sul	26	6
Europa	8	13
África	11	13
Ásia	36	60
Austrália e Oceania	5	1

FONTE: Unesco (2003).

QUADRO 3 - Regiões onde há deficiência de água

Continente	Área (km ²)
África	Saara (9.000.000)
	Kalahari (260.000)
Ásia	Arábia (225.000)
	Gobi (1.295.000)
Chile	Atacama (78.268)

FONTE: Universidade da Água (2005).

QUADRO 4 - Países pobres em água

País	Disponibilidade de água (m ³ /hab./ano)
Kuwait	Praticamente nula
Malta	40
Quatar	54
Gaza	59
Bahamas	75
Arábia Saudita	105
Líbia	111
Bahrein	185
Jordânia	185
Cingapura	211
União dos Emirados Árabes	279

FONTE: Margat (1998).

água é a faixa de renda da população, que envolve fatores ligados ao desperdício por falta de conscientização, de instrução (classe baixa) ou por descaso provocado pelo seu baixo valor monetário (classe alta), conforme Gráfico 1.

Segundo Costa (2007b), o Brasil destaca-se no cenário mundial pela grande descarga de água doce dos seus rios, cuja produção hídrica é de 177.900 m³/s.

Esse valor, somado aos 73.100 m³/s da Amazônia internacional, representa 53% da produção de água doce do Continente Sul-Americano e 12% do total mundial, distribuído em quatro bacias hidrográficas: Amazônica, Prata ou Platina, São Francisco e Tocantins.

Porém, mesmo possuindo grandes bacias hidrográficas, que totalizam cerca de 80% da produção hídrica, cobrindo 72%

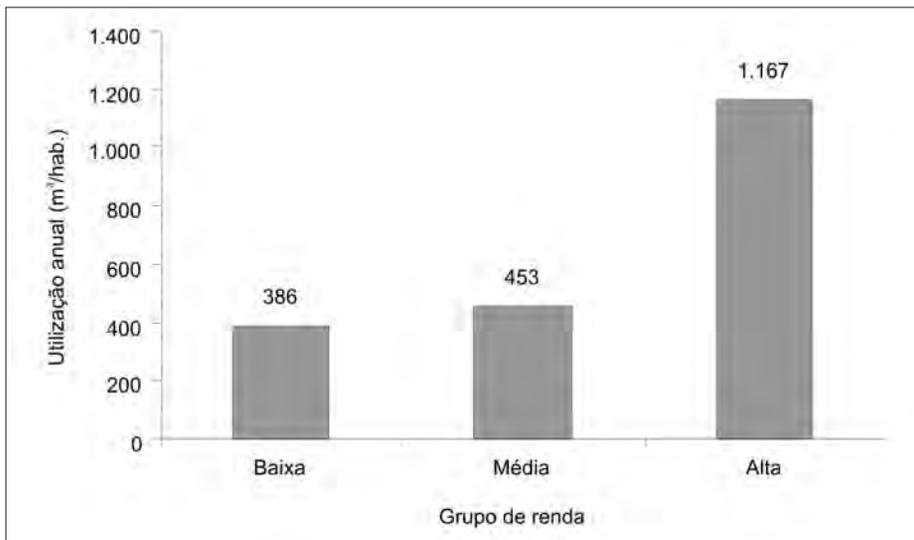


Gráfico 1 - Relação entre consumo de água e faixa de renda da população mundial

FORNTE: Dados básicos: Universidade da Água (2005).

do território brasileiro, o Brasil sofre com escassez de água, devido à má distribuição da densidade populacional dominante, que cresce exageradamente e concentra-se em áreas de pouca disponibilidade hídrica.

Gestão dos recursos hídricos

Todos os problemas relacionados com escassez de água no mundo, segundo Costa (2007a), confirmam a necessidade de maior controle em sua utilização. Porém, a água pode ser hoje considerada como o produto mais valioso do mundo, abrindo nova fronteira para os investidores privados.

Em 8 de janeiro de 1997, foi promulgada a Lei Federal nº 9.433 (BRASIL, 1997), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Esta lei, popularmente conhecida como “lei das águas”, estabelece como fundamentos em seu art. 1º:

- I- a água é um bem de domínio público;
- II- a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III- em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV- gestão de recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V- a bacia hidrográfica é a unidade

territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI- a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Segundo Tundisi (2003), o gerenciamento preditivo, integrado e adaptativo de recursos hídricos implica em um conjunto de estratégias de planejamento, participação de usuários e organizações institucionais, implementando tecnologias diferenciadas, avançadas e de baixo custo.

Este gerenciamento deve ser efetivado a partir da bacia hidrográfica, sendo mais efetivo, à medida que a organização institucional incorpora a participação de usuários, a promoção de políticas públicas e o treinamento de gerentes com visão sistêmica tecnológica de problemas sociais e econômicos.

A gestão atual dos recursos hídricos passa por um processo de transição em que a descentralização, a gestão por bacias hidrográficas, o monitoramento permanente e a disponibilização de informações para a sociedade são pontos fundamentais.

Água no terceiro milênio

Segundo Tundisi (2003), a água é um recurso natural, distribuído desigualmente pela superfície e aquíferos do planeta e sua disponibilidade, uso e gerenciamento adequado são fundamentais para o futuro sustentável da humanidade. A água apresenta algumas características essenciais:

- a) é ubíqua: está em quase todas as regiões do planeta, principalmente onde há concentração humana;
- b) é um recurso heterogêneo: existe nas formas líquida, sólida e gasosa, sendo a líquida a mais utilizada;
- c) é um recurso renovável: o ciclo da água implica permanente renovação do seu estoque e da sua qualidade. Tecnologias modernas têm interferido no ciclo natural, como dessalinização, alteração nos padrões de precipitação, etc.;
- d) é uma propriedade comum: não há ainda definição clara dos direitos de propriedade da água em muitos países;
- e) é utilizada em grandes volumes: excede consideravelmente as quantidades de outros recursos naturais usados pelo homem;
- f) a água doce é muito barata: águas municipais custam menos de US\$ 0,30 por tonelada métrica, enquanto areia custa US\$ 3,00/tonelada, o ferro custa US\$ 30,00/tonelada. No Brasil, a água municipal, cujo custo varia, está em torno de R\$ 0,35/mil m³ para uso doméstico, ou US\$ 0,22/tonelada.

Ainda segundo Tundisi (2003), é fundamental persistir na proposta do gerenciamento integrado, preditivo em nível de ecossistema, utilizando a bacia hidrográfica como um mecanismo básico de gestão do solo e das águas. As missões mais importantes para a gestão de águas e para a política de gerenciamento devem ser:

- a) fornecer água adequada e com qualidade e quantidades suficientes para uso doméstico, industrial e para a agricultura;

- b) promover e proporcionar suprimentos adequados a todos;
- c) gerenciar adequadamente a água, seu uso e seu suprimento;
- d) proteger a capacidade de renovação da água superficial e subterrânea;
- e) conservar a biodiversidade dos sistemas aquáticos;
- f) reduzir conflitos internacionais, locais e regionais sobre o uso das águas;
- g) proteger comunidades rurais e urbanas de enchentes;
- h) purificar e tratar a água de esgoto e de efluentes;
- i) proteger os mananciais.

Segundo Rosengrant (1996), os desafios referentes à escassez de água devem ser enfrentados com gerenciamento do suprimento e da demanda, com a inclusão de novas fontes, como a exploração sustentada dos aquíferos subterrâneos, reflorestamento intensivo para proteger recargas e proteção e recuperação dos solos para melhor gestão da qualidade da água. O reúso da água deve ser um fator cada vez mais preponderante no século 21, podendo desempenhar papel econômico fundamental.

Além do reúso, a captação das águas de precipitação ou enchentes para suprir cultivos irrigados deve ser intensificada em regiões áridas e semi-áridas. Esse procedimento pode melhorar o padrão de conservação do solo, evitando a erosão (CLARKE, 1993 apud TUNDISI, 2003).

Folegatti et al. (2004) apresentam informações muito importantes a respeito do consumo diário de cada um dos sistemas de irrigação mais utilizados no Brasil (Quadro 5). Nota-se que alguns são muito mais eficientes no que diz respeito à economia de água, como a microaspersão e o gotejamento.

Conforme Carmo (2005), a grande participação do setor agrícola no consumo de água explica-se principalmente, pelo uso da água para irrigação. Com a intensificação da prática da irrigação, como uma alternativa estratégica para aumentar a oferta de produtos agrícolas, as áreas

QUADRO 5 - Comparação de vazão, consumo diário e população equivalente dos principais sistemas de irrigação utilizados no Brasil

Sistema de irrigação	Vazão contínua (L/s/ha/dia)	Consumo diário (m ³ /ha)	População equivalente (habitantes)
Gotejamento	0,35 a 0,50	30 a 44	300 a 440
Microaspersão	0,50 a 0,70	44 a 61	440 a 610
Aspersão (todos os tipos)	1,00	86,4	864
Inundação	2,00 a 2,50	>121	>1210

FONTE: Folegatti et al. (2004).

irrigadas no Brasil vêm aumentando. No período de 1992 a 2002, a área irrigada teve crescimento de 8%. É necessário que haja um manejo racional da irrigação, não apenas utilizando técnicas mais modernas, mas também aplicando quantidades adequadas de água para cada tipo de cultura nos períodos ótimos. Atualmente, por não adotar métodos de manejo de irrigação, o produtor rural acaba utilizando água em excesso, para garantir que a cultura não sofra um estresse hídrico, o que poderia comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência um desperdício de energia e de água, usados em um bombeamento desnecessário.

Assumindo-se que com um programa de conscientização sobre o uso racional da água de irrigação consiga-se reduzir, em média, 1 mm/dia a água aplicada nas áreas irrigadas, o que equivaleria a 10 m³/ha/dia. Em 3 milhões de hectares irrigados atualmente no Brasil, corresponderia a uma economia de 30 milhões m³/dia. Admitindo-se que se irriga, em média, apenas 180 dias do ano, a economia total seria de 5,4 bilhões m³/ano. Considerando que o consumo de água numa cidade do porte de Belo Horizonte (3 milhões de habitantes) seja de 12 m/s ou 1.063.800 m³/dia, em um ano, consomem-se 378.432.000 m³ de água. A economia com o uso racional da água daria para suprir 14 cidades do porte de Belo Horizonte por ano (RESENDE, 2001 apud MIRANDA, 2004).

Telles (2002) observa que, no uso inadequado da água para a irrigação e para a dessedentação de animais, os pontos de maior conflito são o desperdício e a

pouca preocupação com a qualidade da água. Outro aspecto a ser mencionado é que a água utilizada amplamente no setor agropecuário não retorna a suas fontes de origem ou retorna comprometida por contaminação com pesticidas ou com dejetos do rebanho.

A importância do manejo adequado da água nos grandes centros urbanos destaca-se por conta da pressão exercida pelo não tratamento e pela relativa escassez hídrica encontrada na maioria dessas áreas, conforme aponta Carmo (2005).

Várias estratégias podem ser utilizadas para enfrentar a escassez e aumentar a disponibilidade de água (SHIKLOMANOV, 1998; VILLIERS, 2000; REBOUÇAS, 1999):

- a) estratégia para a obtenção de mais água: deve-se aumentar as áreas de reservas, proteger os aquíferos subterrâneos e desenvolver sistemas de transporte de água para onde há escassez. A dessalinização pode ser importante instrumento para a obtenção de água doce no futuro, tendo como principal problema o custo da energia despendida no sistema. Outro mecanismo que pode ser um fator decisivo para muitas regiões no alívio da pressão sobre recursos e mananciais é a transposição de águas, porém deve ser acompanhada de um processo permanente de auditoria, avaliando o impacto da transposição e seus efeitos posteriores;
- b) estratégias para diminuir o consumo e reciclar água: deve-se reduzir a demanda de água, colocando preços adequados no fornecimento, taxando

a poluição ou tornando o consumo mais eficiente, com técnicas mais baratas, educação da população e uma nova ética da água. Técnicas inovadoras de irrigação, como gotejamento, por aspersão com baixa pressão, podem ser estimuladas, com muitos benefícios para a conservação de água;

- c) estratégias para o gerenciamento integrado: devem-se estabelecer bases sólidas para o gerenciamento integrado, aprimorando capacidades institucionais, integrando sistemas federais, estaduais e municipais, implantando Comitês de Bacias Hidrográficas, dando proteção para as questões relacionadas com a proteção dos mananciais e com os usos múltiplos da água e educação da população;
- d) estratégias para a conservação da água em nível internacional e entre fronteiras estaduais: atualmente há 200 bacias internacionais, cujos usos múltiplos de água têm gerado conflitos, produzindo efeitos no volume (enchentes) e grandes perdas econômicas em razão da poluição e da eutrofização de grandes volumes de água. A conservação desta em nível internacional somente pode ser realizada se grupos internacionais puderem administrar os recursos hídricos com legislação apropriada, internacional, com novas tecnologias e investimentos compartilhados.

PRINCIPAIS PROPRIEDADES DA ÁGUA

A água possui propriedades que a caracterizam, diferenciando-a dos ambientes terrestre e aéreo, e que são responsáveis pela sobrevivência de grande variedade de animais e vegetais. Estas propriedades estão descritas no Quadro 6.

PRINCIPAIS TIPOS DE MANANCIAIS

As águas utilizadas para consumo, em geral, são provenientes dos seguintes tipos de mananciais: poços, rios ou lagos.

QUADRO 6 - Propriedades da água

Propriedade	Definição
Peso específico	O elevado peso específico da água em relação ao do ar (cerca de 800 vezes maior) possibilita a existência, nesse ambiente, de uma fauna e flora próprias, que vivem em suspensão, compreendendo o plâncton.
Viscosidade	A resistência que a água oferece ao deslocamento ou atrito dos corpos em suspensão (viscosidade) é também bem mais elevada na água do que no ar, permitindo grande número de espécies animais, vegetais, microscópicas e macroscópicas.
Tensão superficial	A película de tensão superficial existente no limite entre a água e o mar tem grande importância, por várias razões: alguns organismos conseguem manter-se sobre a superfície da água graças a essa película (ex: aves aquáticas); outros animais, de pequeno peso, conseguem sustentar-se sobre a película; outros organismos, como os insetos, reproduzem-se dependurados nessa película.
Calor específico e temperatura	O calor específico da água (quantidade de calor necessária para elevar de 1°C a sua temperatura) é muito alto. Assim, a água tem capacidade de absorver grandes quantidades de calor sem que ocorram elevações bruscas de temperatura. Este é um fenômeno importante, pois permite que os imensos volumes de água dos oceanos absorvam grandes quantidades de calor durante o dia, devolvendo-as à atmosfera durante a noite, de forma que não ocorram elevadas variações de temperatura do ar atmosférico. A temperatura da água também varia pouco e de forma lenta durante o dia, garantindo a sobrevivência dos seres aquáticos.
Oxigênio dissolvido	A sobrevivência dos organismos aeróbios (como os peixes) na água depende da presença de oxigênio dissolvido, que provém do ar e da atividade fotossintética das algas e de outros vegetais aquáticos. Quanto maior for a agitação da água (velocidade, quedas d'água), maior quantidade de oxigênio será absorvida.
Transparência	Como já foi dito no item anterior, a transparência da água tem grande importância ecológica, pois, em função dela, os raios solares podem penetrar a maior ou menor profundidade e, em função disso, pode ocorrer maior ou menor atividade fotossintética.
Gás carbônico	Este gás desempenha, também, importante papel no meio aquático, pois é indispensável à realização da fotossíntese. É introduzido na água a partir do ar atmosférico, da atividade respiratória dos organismos do meio aquático ou da decomposição da matéria orgânica. Sais minerais são indispensáveis à atividade fotossintética das algas e de outros vegetais aquáticos. Elementos como nitrogênio, fósforo, potássio existem, geralmente, na água. Algumas atividades humanas resultam no lançamento de grandes quantidades desses sais, ocasionando o problema da eutrofização da água.
Matéria orgânica (MO)	A MO é utilizada na alimentação dos seres heterótrofos e como fonte de sais nutrientes e gás carbônico para os autótrofos após a decomposição bacteriana. A MO na água origina-se, normalmente, da atividade fotossintetizante dos organismos autótrofos (ou produtores) ou da presença de folhas, solo carreado das margens, restos de animais, etc. O lançamento de resíduos na água pode aumentar bastante a quantidade da MO, provocando desequilíbrios ecológicos, pois a sua elevação significa mais atividade de decomposição pelas bactérias aeróbias, com elevado consumo e conseqüente redução do oxigênio do meio.

Poços

Os poços, especialmente os denominados poços artesianos (geralmente de grande profundidade e cujo nível d'água eleva-se acima do nível natural do lençol freático), constituem, freqüentemente, importantes fontes, dada a quase completa ausência de microorganismos em suas águas.

Rios

Os rios constituem um ambiente ecológico caracterizado, especialmente, pela presença de correnteza. Além disso, não chegam, em condições naturais (a não ser excepcionalmente), a possuir concentrações tão elevadas de substâncias nutritivas quanto os lagos, que têm esta possibilidade.

Os rios podem ser classificados, ecologicamente, por diferentes critérios, de acordo com vários fatores, como pode ser visto no Quadro 7.

Lagos

Os lagos caracterizam-se, em geral, por uma maior estabilidade quanto às suas propriedades físicas. Os efeitos, devido à presença de correnteza, são geralmente muito diminuídos, a sedimentação do lodo no fundo é maior, assim como a superfície de evaporação. No Quadro 8, constam as diferentes classificações para lagos.

POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

A poluição das águas resulta da introdução de resíduos, na forma de matéria ou energia, de modo que esta água se torna prejudicial ao homem e a outras formas de vida ou imprópria para um determinado uso.

Esse é um conceito amplo, que associa poluição ao uso da água e não somente aos danos que esta água pode causar aos organismos. É, portanto, um conceito relativo. Uma água pode ser considerada poluída para um determinado uso e não para outro.

Quando a poluição da água resulta em

QUADRO 7 - Classificação dos rios

Classificação	Descrição
Natureza da fonte	As fontes que podem dar origem a um rio são: glaciários, fusão da neve, nascentes e drenagem direta das chuvas. No clima brasileiro, somente podem ser encontrados os dois últimos tipos e, destes, o rio de nascentes é o que se reveste de maior importância, como fonte perene de água para abastecimento público.
Constância	A natureza perene ou intermitente de um rio depende, em primeiro lugar, do tipo de fonte que lhe dá origem. Rios, como o desconhecido Vaza Baris, tão bem descrito pelo Eng ^o Euclides da Cunha, são característicos da Região Nordeste brasileira, chegando a apresentar uma vazão de várias dezenas de metros cúbicos na época de chuvas e secando totalmente na época da seca.
Declividade, tamanho, velocidade da corrente	São três fatores intimamente relacionados. O tamanho do rio e sua declividade determinam a velocidade de sua corrente que é o mais importante fator ecológico. A velocidade, por sua vez, está sujeita a grandes variações, de acordo com o volume de água e, portanto, a variações estacionais. Quanto à velocidade, os rios são classificados em lentos, quando esta é menor que 0,5 m por segundo, e rápidos, quando maior. Quanto maior é a velocidade de um rio, maior é a sua vazão, já que esta é o produto da velocidade do rio pela área da sua seção: $Q(m^3/s) = V(m/s) \times A(m^2)$.
Natureza do leito	A natureza do leito de um rio depende, essencialmente, da velocidade de sua correnteza. Os rios ou os trechos de rios, onde a água corre com maior velocidade, possuem o seu leito formado de seixos de maior volume, enquanto que em locais de menor velocidade dá-se a sedimentação do material mais fino e leve, como areias finas, silte ou vaza orgânica.
Temperatura	Os rios podem ser classificados, também, quanto à temperatura de suas águas. Este é um importante fator ecológico, tanto pela influência direta que pode exercer sobre os vários tipos de organismos, como pela relação existente entre ele e o teor de gases dissolvido.
Produtividade	A produtividade de uma massa d'água qualquer pode ser definida, em sentido amplo, como a sua capacidade de alimentar organismos, isto é, a sua riqueza em nutrientes que possibilitem a vida e a reprodução de organismos aquáticos. Esse parece ser um dos mais significativos dados a respeito de uma massa d'água e um ótimo critério para classificação de rios ou lagos, embora a sua avaliação apresente dificuldades materiais e exija recursos e precisão técnica.

prejuízos à saúde do homem, diz-se que está contaminada. Assim, contaminação é um caso particular de poluição. Uma água está contaminada, quando contém microorganismos patogênicos ou substâncias químicas ou radioativas, causadores de doenças e/ou morte ao homem.

FONTES DE POLUIÇÃO DA ÁGUA

Os poluentes podem alcançar as águas superficiais ou subterrâneas pelo lançamento direto, precipitação, escoamento pela superfície do solo ou infiltração.

As fontes de poluição da água podem ser localizadas (pontuais), quando o lança-

mento de carga poluidora é feito de forma concentrada, em determinado local, ou não localizadas (difusas), quando os poluentes alcançam um manancial de modo disperso, não se determinando um ponto específico de introdução.

Como exemplos de fontes localizadas, citam-se as tubulações emissárias de esgotos domésticos ou industriais e as galerias de águas pluviais. Como fontes não localizadas, podem ser incluídas as águas do escoamento superficial ou de infiltração. No Quadro 9 constam os principais agentes poluidores de água, de acordo com os seus diversos usos.

QUADRO 8 - Classificações de lagos

Classificação	Definição
Efêmero	Seca anualmente durante a estiagem ou em anos particularmente secos.
Endorréico	Sem escoamento de saída superficial ou subsuperficial, no qual a vazão afluyente é perdida por evaporação.
Eutrófico	Caracterizado por grande quantidade de substâncias nutrientes e biogênicas, assim como pela presença abundante de fitoplâncton durante o verão.
Exorréico	Caracterizado por um escoamento permanente que decorre do excesso da vazão total afluyente (inclusive a precipitação) sobre as perdas globais em água.
Fechado	Geralmente em regiões áridas e só perde água por evaporação ou por fugas.
Meromítico	No qual se dá uma alteração de circulação incompleta no outono.
Mesotrófico	Contém quantidades moderadas de nutrientes vegetais.
Oligotrófico	Deficiente em nutrientes vegetais, geralmente com abundante oxigênio dissolvido sem estratificação acentuada.
Temporário	Leito de um lago encontrado em regiões áridas ou desérticas, no fundo de um vale fechado, cuja drenagem se faz para o interior. O lago é geralmente seco, salvo após temporais intensos, quando pode ficar recoberto por uma delgada lâmina de água que desaparece rapidamente por evaporação.

QUADRO 9 - Principais agentes poluidores das águas

Poluentes	Principais parâmetros	Possível efeito poluidor
Sólidos em suspensão	Sólidos em suspensão totais	Problemas estéticos Depósitos de iodo Adsorção de poluentes Proteção de patogênicos
Matéria orgânica biodegradável	Demanda bioquímica de oxigênio	Consumo de oxigênio Mortandade de peixes Condições sépticas
Nutrientes	Nitrogênio Fósforo	Crescimento excessivo de algas Toxicidade aos peixes Doença em recém-nascidos (nitrato) Poluição da água subterrânea
Patogênicos	Coliformes	Doenças de veiculação hídrica
Matéria orgânica não biodegradável	Pesticidas, alguns detergentes, outros	Toxicidade (vários) Espumas (detergentes) Redução da transferência de oxigênio (detergentes) Não biodegradabilidade Maus odores (ex.: fenóis)
Metais pesados	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, P, Zn, etc.)	Toxicidade Inibição do tratamento biológico dos esgotos Problemas na disposição do lodo na agricultura Contaminação da água subterrânea
Sólidos inorgânicos dissolvidos	Sólidos dissolvidos totais Condutividade elétrica	Salinidade excessiva Prejuízo às plantações (irrigação) Toxicidade às plantas (alguns íons) Problemas de permeabilidade de solo (sódio)

FONTE: Dados básicos: Sperling (1996 apud COSTA, 2007c).

PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os teores máximos de impureza permitidos na água são estabelecidos em função dos seus usos. Esses teores constituem os padrões de qualidade, os quais são fixados por entidades públicas com o objetivo de garantir que a água a ser utilizada para um determinado fim não contenha impurezas

que prejudiquem o seu uso.

Os padrões de qualidade da água variam para cada tipo de uso. Assim, aqueles de potabilidade (água destinada ao abastecimento humano) são diferentes dos de balneabilidade (água para fins de recreação de contato primário), que, por sua vez, não são iguais aos estabelecidos para a água de irrigação ou destinada ao uso industrial. O

Quadro 10 destaca as associações da qualidade da água em relação ao seu uso.

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

No Brasil, a classificação das águas é definida pela Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005).

Esta Resolução estabeleceu 12 classes,

QUADRO 10 - Associação entre os usos da água e os requisitos de qualidade

Uso geral	Uso específico	Qualidade requerida
Abastecimento doméstico de água	-	Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde Isenta de organismos prejudiciais à saúde Adequada para serviços domésticos Baixa agressividade e dureza Esteticamente agradável
Abastecimento industrial	Água é incorporada ao produto (ex.: alimento, bebidas, remédios)	Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde Isenta de organismos prejudiciais à saúde Esteticamente agradável
	Água entra em contato com o produto	Variável com o produto
	Água não entra em contato com o produto (exemplo: refrigeração e caldeiras)	Baixa dureza Baixa agressividade
Irrigação	Hortaliças, produtos ingeridos crus ou com casca	Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde Isenta de organismos prejudiciais à saúde Salinidade não excessiva
	Demais plantações	Isenta de substâncias químicas prejudiciais ao solo e às plantações Salinidade não excessiva
Dessedentação de animais	-	Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde dos animais Isenta de organismos prejudiciais à saúde dos animais
Preservação da flora e fauna	-	Variável com os requisitos ambientais da flora e da fauna que se deseja preservar
Recreação e lazer	Contato primário (direto com o meio líquido, por exemplo: natação, esqui)	Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde Isenta de organismos prejudiciais à saúde Baixos teores de sólidos em suspensão e óleos e graxas
	Contato secundário (não há contato direto com o meio líquido, por exemplo: navegação de lazer, pesca, etc.)	Aparência agradável
Geração de energia	Usinas hidrelétricas	Baixa agressividade
	Usinas nucleares ou termoelétricas	Baixa dureza Baixa presença de material grosseiro que possa pôr em risco as embarcações
Transporte	-	
Diluição de despejos	-	

FONTE: Sperling (1996 apud COSTA, 2007d).

sendo cinco de águas doces (com salinidade igual ou inferior a 0,5%), três de águas salobras (salinidade entre 0,5 e 30‰) e quatro de águas salinas (salinidade igual ou superior a 30‰).

Para cada classe, foram definidos os usos a que se destina, sendo que para uso na irrigação as mais indicadas são as de água doce, classes 1, 2 e 3, conforme Quadro 11.

A Resolução nº 357/2005 (CONAMA, 2005) também descreve as aplicações das águas salinas e salobras, bem como todos os padrões para classificação das águas doces, salinas e salobras quanto a parâmetros orgânicos e inorgânicos. Também apresenta condições e padrões para o lançamento de efluentes em corpos d'água.

A classificação das águas é muito importante nos programas de controle de poluição, pois permite o enquadramento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

REÚSO DA ÁGUA

O reúso da água constitui um instrumento adicional para a gestão dos recursos hídricos, visando à redução da pressão sobre os mananciais de abastecimento, liberando águas de melhor qualidade para fins mais nobres com benefícios específicos aos usuários, como o aumento da produtividade agrícola, a redução de custos com a compra de água e fertilizantes e a preservação dos aquíferos subterrâneos (RODRIGUES, 2005). O reúso vem sendo difundido de

forma recente no Brasil, impulsionado pelos reflexos financeiros associados aos instrumentos da Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), que visam a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos: a outorga e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

De acordo com o Conama (2005), os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água, após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, aos padrões e às exigências dispostos na Resolução nº 357, de 2005, e em outras normas aplicáveis.

Segundo Costa (2007e), a técnica do reúso da água, embora seja cada vez mais reconhecida como uma das opções mais inteligentes para a racionalização dos recursos hídricos, depende da aceitação popular, aprovação mercadológica e vontade política para se efetivar como tecnologia sistemática.

A seguir, serão descritas as classificações do reúso da água e algumas possibilidades do seu uso agrícola.

Classificações do reúso

Quanto ao método

Segundo Rodrigues (2005), o reúso da água quanto ao método pode ser classificado em:

- a) reúso indireto, quando a água utilizada é descartada nos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, sendo então diluída e depois captada para um novo uso, a jusante (Fig. 2)
- b) reúso direto, quando a água de reúso é conduzida do local de produção ao ponto de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos (Fig. 3).

Quanto ao uso final

De acordo com Hespanhol (1999), o reúso da água em função da diversidade de usos possíveis classifica-se em:

- a) usos urbanos: que se dividem para fins potáveis e não potáveis, como

QUADRO 11 - Classificação das águas doces segundo seus usos preponderantes, de acordo com o Conama

Classe (águas doces)	Usos
Classe especial	Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	Abastecimento doméstico, após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; proteção das comunidades aquáticas em comunidades indígenas.
Classe 2	Abastecimento doméstico, após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; aqüicultura e atividade de pesca
Classe 3	Abastecimento doméstico, após tratamento convencional ou avançado; irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; pesca amadora; recreação de contato secundário; dessedentação de animais.
Classe 4	navegação; harmonia paisagística.

FONTE: Conama (2005).

os esgotos urbanos;

- b) usos industriais: quando se faz o aproveitamento de efluentes na própria indústria ou pela utilização dos esgotos tratados nas estações de tratamento das companhias de saneamento (FIESP e CIESP, 2004);
- c) uso agrícola: com a possibilidade do uso de esgotos tratados para a irrigação das culturas, cuja produtividade tem sido comprovadamente aumentada, em função da carga de nutrientes que esses esgotos carregam, conforme pode ser observado no Quadro 12;
- d) uso para aquicultura: com o abastecimento de reservatórios de peixes e plantas aquáticas por esgotos tratados (SETTI, 1995);
- e) uso para recarga de aquíferos: que é uma possibilidade viável para amenizar os efeitos das recargas naturais e provocadas.

Durante as últimas décadas, o aproveitamento dos esgotos para irrigação de culturas obteve um aumento significativo, em função de diversos fatores:

- a) dificuldade em obter fontes alternativas de água;
- b) elevado custo dos fertilizantes;
- c) aumento do conhecimento sobre os riscos à saúde pública e a segurança sobre a minimização de impactos no solo, se precauções não forem tomadas;
- d) custos elevados de tratamento para a descarga de efluentes nos corpos receptores;

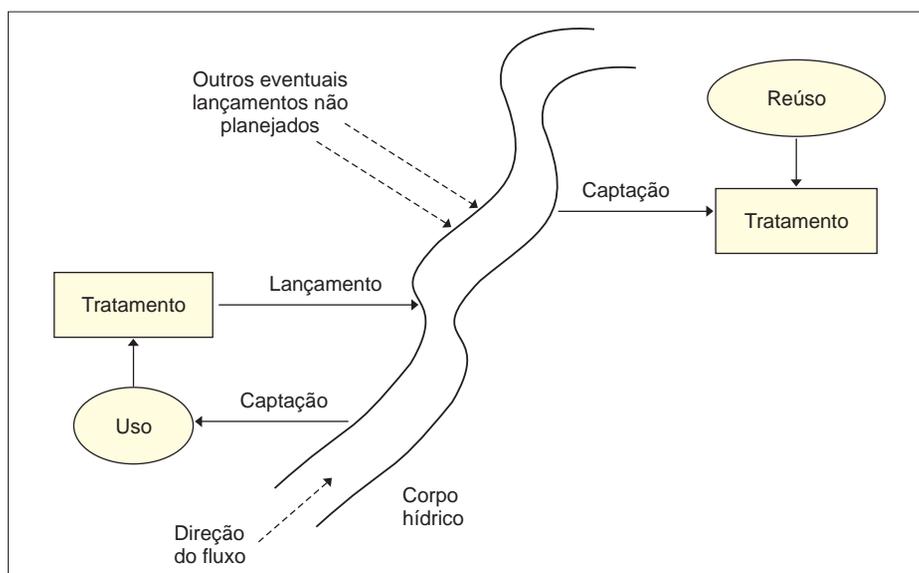


Figura 2 - Reúso indireto não planejado da água
 FONTE: Rodrigues (2005).

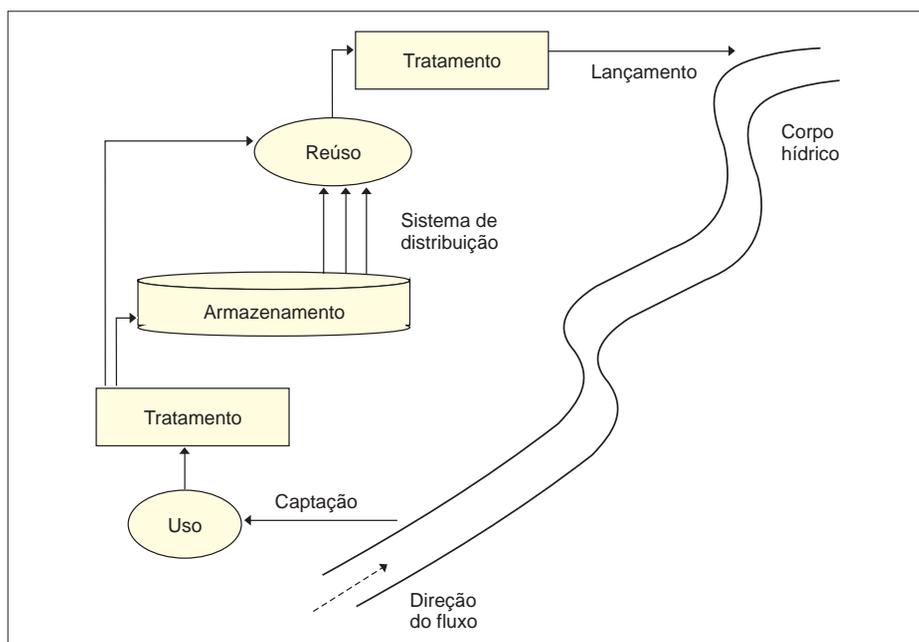


Figura 3 - Reúso direto planejado da água
 FONTE: Rodrigues (2005).

QUADRO 12 - Aumento da produtividade agrícola (t/ha/ano) possibilitada pela irrigação com esgotos domésticos

Irrigação (efetuada com)	Trigo ⁽¹⁾ 8 anos	Feijão ⁽¹⁾ 5 anos	Arroz 7 anos	Batata ⁽¹⁾ 4 anos	Algodão ⁽¹⁾ 3 anos
Esgoto bruto	3,34	0,90	2,97	23,11	2,56
Esgoto primário	3,45	0,87	2,94	20,78	2,30
Efluente de lagoa de estabilização	3,45	0,78	2,98	22,31	2,41
Água + NPK	2,70	0,72	2,03	17,16	1,70

FONTE: Hespanhol (1999).

(1)Número de anos para cálculo da produtividade média.

- e) aumento da aceitação da prática do reúso agrícola;
- f) reconhecimento pelos órgãos gestores de recursos hídricos do valor intrínseco da prática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para enfrentar a escassez da água, devem-se considerar tecnologias para a obtenção de água mais limpa, diminuição do desperdício e do consumo excessivo, técnicas de reúso e de conservação, proteção de mananciais e reservas superficiais e subterrâneas em nível local, regional e global. As novas leis implicam em descentralização da gestão, com uma revisão de valores para os recursos hídricos, incluindo valores estáticos, educacionais, operacionais, de segurança e liberdades individuais e coletivas. Especificamente, para a agricultura e pecuária, maiores consumidores de água, os aspectos relacionados com a gestão eficiente dos recursos hídricos devem ser fortalecidos em todas as etapas do processo de produção.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília, 2007. (Ana. Cader nos de Recursos Hídricos, 2). 1 CD-ROM.

AMBIENTE BRASIL. **Água: esgotabilidade, responsabilidade e sustentabilidade**. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/agua/doce/index.html&conteudo=/agua/doce/artigos/esgotabilidade.html>. Acesso em: 29 nov. 2004.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29. Revisado 1).

BENINCASA, M.M.P. **Ecofisiologia vegetal**. Jaboticabal: UNESP-FCAV, 1984. 72p.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei no

8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 9 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 23 mar. 2008.

CARMO, R.L. Urbanização, metropolização e recursos hídricos no Brasil. In: DOWBOR, L.; TAGNIN R.A. **Administrando a água como se fosse importante**. São Paulo: SENAC, 2005.

CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2008.

COSTA, R.H.P.G. Água: um bem público de valor econômico. In: TELLES, D.A.; COSTA, R.H.P.G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Edgar Blucher, 2007a. cap. 8, p.141-178.

_____. Consumo de água. In: TELLES, D.A.; COSTA, R.H.P.G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Edgar Blucher, 2007b. cap. 2, p.13-23.

_____. Poluição da água. In: TELLES, D.A.; COSTA, R.H.P.G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Edgar Blucher, 2007c. cap. 7, p.35-40.

_____. Qualidade da água. In: TELLES, D.A.; COSTA, R.H.P.G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Edgar Blucher, 2007d. cap. 7, p.25-33.

_____. Reúso. In: TELLES, D.A.; COSTA, R.H.P.G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Edgar Blucher, 2007e. cap. 7, p.93-140.

CRISE de água chega com o próximo século. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, p.7, 23 out. 1994.

FALKENMARK, M. **Marco-scale water supply demand comparison on the global scene**. Stockholm: International Water Institute, 1986. p.15-40.

FIESP/CIESP. **Conservação e reúso de água: manual de orientações para o setor empresarial**. São Paulo, 2004. v.1.

FOLEGATTI, M.V.; SILVA, T.J.A. da; CASARINI, E. O manejo da irrigação como elemento essencial na utilização racional dos recursos hídricos. In: THAME, A.C.M. (Org). **A cobrança pelo uso da água na agricultura**. São Paulo: IQUAL, 2004. p. 213-220.

GHASSEMI, J.N.; GHASSEMI, F.; NIX, H.; JAKEMAN, A.J. **Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies**. Wallingford: CABI, 1995.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TINDISI, J.G. (Org.). **Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999.

MARGAT, J. Repartition des ressources et des utilisations d'eau dans le monde disparités présentes et futures. **La Houille Blanche: revue internationale de l'eau**, Paris, n.2, p.40-51, 1998.

MIRANDA, J.H. Manejo da água para irrigação. In: THAME, A.C.M. (Org). **A cobrança pelo uso da água na agricultura**. São Paulo: IQUAL, 2004. p.193-206.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife: SUDENE, 1992. 523p.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

REBOUÇAS, A.C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: USP-ESALQ, 1993. 505p.

RODRIGUES, R. dos S. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil: proposta de regulamentação do reúso no Brasil**. 2005. 192p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RODRIGUEZ, F. Recursos hídricos para a irrigação: aspectos institucionais. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n.44, p.21-33, 1991.

ROSENGRANT, M.W. **Water resources in the 21st century**: increasing scarcity, declining quality, and implications for action. Yokohama: UNU: IAS, 1996. 52p. (Working Paper n, 3).

SETTI, M. do C.B. de C. **Reúso da água**: condições de contorno. 1995. 270p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SHAINBERG, I.; OSTER, J.D. **Quality of irrigation water**. Bet Dagan, Israel: International Irrigation Information Centre, 1978. 65p. (IIRC. Publication, 2).

SHIKLOMANOV, I. **Word water resources**: a new appraisal and assessment for the 21st century. Paris: UNESCO, 1998. 32p.

SPEIDEL, D.H.; RUEDISILI, L.C.; AGNEW, AF. (Ed.). **Perspectives on water**: uses and abuses. New York: Oxford University Press, 1988. 388p.

SUTCLIFFE, J.F. **As plantas e a água**. São Paulo: USP, 1980. 126p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. São Paulo: Artmed, 2004. 720p.

TELES, D.A. A água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org.). **Águas doce no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p.305-336.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E.E.; CARDOSO, J.L. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio**. Brasília: ABI-MAC, 2002. 45p.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. 2.ed. São Paulo: RiMa, 2003. 248p.

UNESCO. Compartilhar a água e definir o interesse comum. In: _____. **Água para todos**: água para a vida. Brasília, 2003. 36p.

UNIVERSIDADE DA ÁGUA. **Água no Planeta**. São Paulo, [2005]. Disponível em: <www.uniagua.org.br/aguaPlaneta.htm>. Acesso em: 15 jan. 2005.

VILLERS, M. **Water**: the fate of our most precious resource. Boston: Houghton Mifflin, 2000. 352p.

WATSON, R.T.; DIXON, J.A.; HAMBURG, S.P.; JANETOS, A.C.; MOSS, R.H. **Protecting our planet securing our future**: linkages among global environmental issues and human needs. Nairobi: United Nations Environment Programme, 1998. 95p.

Veja no próximo

INFORME AGROPECUÁRIO

PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DA CAFEICULTURA

- ① Gerenciamento da propriedade cafeeira
- ① Normas e padrões para comercialização de sementes e mudas
- ① Índices e coeficientes técnicos para podas
- ① Produtos fitossanitários: precauções na utilização e manuseio
- ① Colheita e pós-colheita do café: recomendações e coeficientes técnicos



Leia e Assine o **INFORME AGROPECUÁRIO**
(31) 3489-5002 - publicacao@epamig.br

Bioenergia e fontes de energias alternativas

Wilson Jesus da Silva¹

Resumo - O Brasil encontra-se em posição razoável em consumo de energia. No entanto, este consumo tem dobrado a cada 15 anos, enquanto a população cresce 3,9% em igual período. A radiação solar apresenta-se como fonte primária promissora com vantagens sem limites. Diversas aplicações práticas já foram desenvolvidas e outras estão em pesquisa e em desenvolvimento. O sol participa de processos vitais da fotossíntese, contribuindo na energia produzida pelos vegetais, via biomassas. O Brasil recebe em média $5,7 \times 10^{16}$ MJ de energia solar, em todo o território nacional, o que corresponde a 143 mil Itaipus, trabalhando dia e noite, durante o ano inteiro. A produção média de grãos de milho em 3.600 kg/ha corresponde a 68,6127 MJ/ha acumulados durante seis meses. Considerando a efetividade da energia solar, as taxas de saturação de luz, fotossíntese e assimilação de CO₂ pode-se dizer que, em média, as plantas apresentam um aproveitamento de energia em torno de 0,08%. As energias fósseis, durante o ano de 1976, forneceram cerca de 1,7581 MJ, equivalendo a 26 milhões ou 63 milhões de hectares de culturas agrícolas perenes, ou de cinco meses, respectivamente, com eficiência de 0,1%, de fixação de energia solar. Esses valores são expressivos, quando se consideram as áreas de 47 milhões de hectares de culturas temporárias, 6,6 milhões de hectares de culturas perenes, 177,7 milhões de hectares de pastagens e 478 milhões de hectares de florestas. Diante do aquecimento global proporcionado pela energia fóssil, o aproveitamento da energia oriunda de biomassas, como combustível, aumenta a cada ano.

Palavras-chave: Mudança climática. Radiação solar. Biomassa. Aquecimento global. Fisiologia vegetal. Agrometeorologia.

INTRODUÇÃO

Embora o descobrimento de petróleo pela humanidade tenha ocorrido no remoto tempo de mais de 2.000 anos, sendo relatado por Herodotus, que viveu no tempo de 484 a 425 a.C. (PETROBRAS, 1999), seu uso na escala industrial moderna iniciou-se em meados do século 19.

Logo no início do reconhecimento da utilidade do petróleo, este começou a substituir a fonte de iluminação, estendendo sua área para a fonte energética pela sua excelente qualidade. A humanidade criou forte dependência dessa matéria-prima, tornando-se difícil de imaginar nossa

vida cotidiana sem a participação desse produto. Como se denominam as civilizações antigas de Idade da Pedra, Idade dos Metais, pode-se chamar a civilização contemporânea de Idade do Petróleo, pela sua contribuição.

A participação do petróleo é bastante expressiva como fonte energética, contribuindo, provavelmente, para aceleração do incremento, cada ano maior, de energia consumida. Os dados do Anuário Estatístico do Brasil (1977) demonstram, que, no Brasil, o consumo de petróleo que perfazia 32,8% do total de energia consumida no ano de 1966, passou a participar com 43,9%, em 1973, quando ocorreu o

aumento drástico do seu preço. A partir de então, a participação porcentual do petróleo começou a declinar ligeiramente, embora seu volume consumido aumentasse cerca de 6% a 9% ao ano.

O aumento drástico do preço de petróleo contribuiu, de certa maneira, para que a humanidade despertasse e tomasse consciência da fragilidade da civilização extremamente dependente de fontes esgotáveis de energia. Acontece, entretanto, que a civilização contemporânea acostumou-se com o ritmo de desenvolvimento, acompanhado do aumento do consumo de energia. Com os dados da Empresa de Pesquisa Energética (2007), estima-se que, no Brasil, aumentará

¹Eng^a Agr^a, D.Sc., Pesq. EMBRAPA/EPAMIG-CTTP, Caixa Postal 351, CEP 38001-970 Uberaba-MG. Correio eletrônico: wilson@epamiguberaba.com.br

cerca de 92%, em toneladas equivalentes de petróleo (TEP), o consumo de energia, até 2030, enquanto que a população deverá aumentar cerca de 30%.

Esse fato leva vários cientistas a se preocuparem com uma série de consequências que a humanidade enfrentará daqui a algumas décadas. Essa preocupação é válida, mesmo que a estimativa da reserva de petróleo aumente, para sustentar mais um século, ou a nova tecnologia permita o uso de carvão mineral, transformando-o em combustível líquido, com sua reserva suficiente para manter mais 150 anos etc., uma vez que o problema de depauperamento permanece.

FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

A energia é um ingrediente essencial para o desenvolvimento, uma das aspirações fundamentais da população dos países da América Latina, Ásia e África. O consumo de energia *per capita* pode ser usado como um indicador da importância dos problemas que afetam estes países, onde se encontram 70% da população mundial (NUNES; ASSIS, 2007). Na maioria dos países, onde o consumo de energia comercial *per capita* está abaixo de uma tonelada equivalente de petróleo (TEP) por ano, a expectativa de vida é baixa. Ultrapassar esta barreira torna-se essencial para o desenvolvimento. O consumo médio *per capita* nos países industrializados da União Européia é de 3,22 TEP. A média mundial é de 1,66 TEP *per capita*.

O Brasil, com 1,3 TEP/habitante, encontra-se em posição razoável no cenário internacional. No entanto, o consumo de energia tem crescido 4,6%/ano, desde 1970, duplicando a cada 15 anos, acompanhando de perto o crescimento do produto interno bruto. No período de 1970 a 1996, o consumo de energia triplicou. O crescimento da população na década de 1990, no Brasil, foi de 1,3% ao ano, sendo o aumento do consumo de energia *per capita* de 3,3%. Portanto, é razoável esperar que esse consumo atinja um valor de 2,5 ou 3 TEP/*per capita* dentro de 20 anos,

aproximando-se do valor atual dos países da Europa. A dúvida é se o País dispõe de recursos naturais, na área de energia, para sustentar tal crescimento nas próximas décadas. Como 61% da energia usada no Brasil é renovável, portanto, produzida localmente, como energia hidrelétrica (37%), produtos de cana-de-açúcar: álcool (11%), lenha (13%), etc., o restante (39%) é derivado basicamente de petróleo e gás, sendo a metade importada.

O setor industrial é o maior consumidor, utilizando cerca de 40% do total da energia consumida. A indústria consome, principalmente, eletricidade. Os transportes utilizaram, aproximadamente, 20% da energia consumida no País, no período de 1980 a 1995. O óleo diesel tem sido a principal fonte de energia para os transportes, sendo 50% da energia consumida pelo setor. A parcela da gasolina reduziu-se de 34% para 27%, de 1980 a 1995, e o consumo do etanol cresceu de 5% para 18,6% em igual período. O setor residencial utilizou 16% da energia consumida no País, em 1995.

Como fontes renováveis de energia têm-se energia solar, energia hidráulica, energia eólica, energia gerada pela biomassa, entre outras. É interessante notar que todas essas fontes são, na verdade, oriundas da energia solar. Considerando a transformação ocorrida em tempo remoto com a massa de materiais orgânicos, as fontes fósseis são igualmente originárias da energia solar.

O aproveitamento das energias geotérmica e nuclear é, aparentemente, exceção, não se originando da energia solar. Entretanto, sua dependência às energias solar e fósseis é ainda bastante expressiva na construção e operação.

Energia solar

Muito se tem falado da energia solar como fonte primária das mais promissoras, sobretudo para os países tropicais e subtropicais, como é o caso do Brasil. Uma de suas apregoadas vantagens é a de constituir insumo gratuito, disponível em quantidades sem limites.

As radiações que vêm do sol possuem ótimas qualidades incontestáveis. A energia que as radiações transportam não custa nada, renova-se todos os dias, não é poluidora, pode ser livremente captada por toda a parte e até mesmo apresenta-se com fartura nos países das zonas tórridas e tropicais. Em compensação, todavia, seu efetivo aproveitamento envolve dificuldades tecnológicas, apreciáveis em grande número de casos, sobretudo na geração de eletricidade. Felizmente, porém, não constituem real embaraço em casos mais simples, como, por exemplo, a secagem de grãos, alimentos e outros produtos, a calefação de água nos prédios, a climatização dos ambientes, a obtenção do calor industrial em temperaturas moderadas e em outros casos.

Assim, diversas aplicações práticas já foram desenvolvidas e são atualmente viáveis. Outras, acham-se ainda em fase de estudos, e sua viabilidade técnica ao sucesso da pesquisa e desenvolvimento.

A produção da eletricidade a partir dos raios solares pode-se fazer por dois processos principais. Um, utilizando máquinas térmicas e requerendo equipamentos complexos que, no estágio atual de seu desenvolvimento, custam muito caro, onerando o produto final, a eletricidade. Outro processo, o fotovoltaico, teoricamente mais simples, emprega peças muito sofisticadas que, por ora, também representam grande despesa. Assim, a energia de origem solar só convém para casos especiais, em que o alto custo é compensado por determinadas vantagens.

Em suma, o aproveitamento da energia solar encontra-se em plena evolução tecnológica. É um potencial do mais alto interesse, porém não apresenta viabilidade plena e satisfatória em todos seus usos possíveis.

O sol participa dos demais processos vitais no reino vegetal, como o simples crescimento das plantas e os fenômenos da fotossíntese; pois sabidamente pode-se extrair energia dos vegetais e estes, quando cultivados sistematicamente para esse fim, representam a fonte que se denominou biomassa.

O sol está, também, na origem das correntes oceânicas, dos ventos e das ondas do mar; comanda os ciclos hidrológicos e os gradientes térmicos dos oceanos e teve papel decisivo na formação dos combustíveis fósseis.

O sol fornece, constantemente, à parte mais alta da atmosfera terrestre, uma energia equivalente a $8,372 \text{ J/cm}^2/\text{min}$. Pelo formato do globo terrestre, pela rotação da Terra e pela variação sazonal de inclinação do eixo de rotação, a energia recebida do sol tem sua variação por local, hora do dia e por tempo sazonal.

No caso do Brasil, a energia solar está em torno de $1,674 \text{ kJ}$ a $3,349 \text{ kJ/cm}^2/\text{dia}$, durante o inverno, e $4.186 \text{ kJ/cm}^2/\text{dia}$, durante a época de verão. Esses valores são, entretanto, calculados em condições de ausência de atmosfera. Ao penetrar na camada atmosférica, cerca de 30% desta energia é refletida de volta ao espaço e a parte restante é absorvida pela atmosfera, alcançando a superfície da terra uns 45% do valor inicial (BÖGER, 1977). O Brasil, que se situa entre 5° latitude norte a 33° latitude sul, recebe, portanto, $0,8372$ a $2,0930 \text{ kJ/cm}^2/\text{dia}$, durante o inverno, e $2,0930$ a $2,5116 \text{ kJ/cm}^2/\text{dia}$, durante o verão. Esses valores levam ao resultado de $0,5860$ a $0,7535 \text{ MJ/cm}^2/\text{dia}$, como sendo a energia solar recebida no território brasileiro (MOTA, 1977).

Tomando-se como média $0,6698 \text{ MJ/cm}^2/\text{ano}$, com sua extensão de 8.512 mil km^2 , o Brasil recebe, anualmente, um total de $5,7 \times 10^{16} \text{ MJ}$ de energia solar. Esse valor corresponde a $1,807 \times 10^{12} \text{ kw}$. Considerando-se a potência hidrelétrica de Itaipu em $12,6$ milhões de kw (BRASIL, 1982), aquele valor corresponde a uma quantia equivalente a 143 mil Itaipus , trabalhando dia e noite, durante o ano inteiro.

Energia solar e biomassa

Ao considerar que a área terrestre brasileira recebe em média $0,6698 \text{ MJ/cm}^2/\text{ano}$ de energia solar e a produção de grão de milho média de 3.600 kg/ha (CONAB, 2008), o aproveitamento seria de apenas $0,08\%$ da energia recebida. Isto é, pressu-

pondo que a caloria obtida por 1 kg de milho seja igual a $19,0589 \text{ kJ}$ (MORRISON, 1966) a produção de 3.600 kg de grãos/ha corresponde a $68,612726 \text{ MJ/ha}$, ou seja, $0,6861 \text{ J/cm}^2$, acumulada durante o ciclo de vegetação de seis meses.

A baixa eficiência no aproveitamento de energia solar através da biomassa poderá ser corrigida? Até que ponto a perda de energia é inevitável? Como pode ser melhorada a eficiência? Tais perguntas estão sendo respondidas pelos cientistas, especialmente dos ramos da fisiologia da planta, de agronomia e da climatologia.

Ao calcular de modo grosseiro, a média da energia solar no valor de $0,6698 \text{ MJ/cm}^2/\text{ano}$ corresponde a cerca de $1,8418 \text{ kJ/cm}^2/\text{dia}$. O raio solar que chega até a superfície terrestre, absorvida uma parte com um determinado comprimento de onda, ainda composto por um conjunto de várias ondas (MOTA, 1977). Entre elas, as ondas que podem ser aproveitadas na reação fotossintética pela clorofila das plantas situam-se entre $0,4$ e $0,7 \text{ micra}$ de comprimento (BÖGER, 1977), ou precisamente: a maior absorção ocorre entre as ondas de $0,72$ e $0,61 \text{ micra}$, e $0,51$ e $0,40 \text{ micra}$, sendo menor a absorção de ondas entre $0,61$ e $0,51 \text{ micra}$ de comprimento (MOTA, 1977). A energia oriunda de raio solar com as ondas de $0,4$ a $0,7 \text{ micra}$ de comprimento tem sua proporção inicial de 41% da energia solar total (MOTA, 1977). Cortada uma parte da onda a penetrar na atmosfera, esta porção fica em torno de 44% (MOTA, 1977) a 50% , variando ligeiramente por estação do ano e por localidade (MONTEITH; UNSWORTH, 1990). Tomando-se como base 50% , a sua proporção de $1,8418 \text{ kJ/cm}^2/\text{dia}$, torna-se $0,9202 \text{ kJ}$ efetiva/cm²/dia.

Segundo a Lei de Einstein, na reação fotoquímica seria necessário o mínimo de energia de uma unidade de *quantum* de luz para reação de uma molécula. A eficiência seria neste caso, igual a um (1). Entretanto, para a reação fotossintética, é estimada sua eficiência de $0,08$; $0,1$ ou máximo de $0,125$ (MONTEITH; UNSWORTH, 1990). Isto é,

para reação de uma molécula de CO_2 seriam necessários $12,5$; 10 ou 8 quanta de luz.

Segundo Monteith e Unsworth (1990), 1 J de radiação que chega à superfície terrestre com os comprimentos de onda, entre $0,4$ e $0,7 \text{ micra}$, contém, normalmente $2,77 \times 10^{18}$ quanta. Sendo que 1 J corresponde 10^7 ergs, 220 calorias de energia solar conteriam $2,55 \times 10^{21}$ quanta.

Para que as radiações solares sejam aproveitadas pelas plantas, é necessário que essas radiações sejam absorvidas pela clorofila. As radiações absorvidas nas paredes celulares ou outras partes que não contêm clorofila não serão, portanto, aproveitadas diretamente na reação de fotossíntese. O aproveitamento é calculado ao redor de 85% (MONTEITH; UNSWORTH, 1990). Têm-se, então, $2,17 \times 10^{21}$ quanta/cm²/dia.

Pressupondo que as plantas utilizam 10 quanta para a redução de uma molécula de CO_2 , tem-se um total de $2,17 \times 10^{20}$ moléculas de CO_2 reduzidas para CH_2O , através de fotossínteses.

Entretanto, as plantas consomem, pela respiração, seu CH_2O produzido, na proporção de cerca de 33% (WILLIAMS; JOSEPH, 1970). O número de moléculas de CH_2O líquido assimilado seria então, $1,45 \times 10^{20}$.

Acontece, porém, que a eficiência de reação fotossintética é ainda reduzida por um fator limitante que é a concentração de CO_2 no ar. No que se refere a consumo $1,45 \times 10^{20}$ moléculas/cm²/dia de CO_2 corresponde a cerca de 106 g de CO_2/m^2 . Segundo Reinach (2005), a concentração de CO_2 no ar está, atualmente, em torno de 360 ppm em seu volume. Para ter uma idéia de volume de CO_2 consumido, pode-se estimar que 106 g de CO_2 corresponde ao volume do mesmo contido em 165 mil litros, ou seja, 165 m^3 de ar.

A redução de concentração de gás CO_2 , no ar, reduz também a eficiência de reação fotossintética, mesmo com a abundância de luz. Em vários experimentos são demonstrados que o aumento de concentração de CO_2 no ar eleva a sua taxa de assimilação (RICHARDSON, 1967). Segundo Böger

(1976), aumentando em dobro a concentração de CO_2 no ar, o incremento de fotossíntese será, pelo menos, 30% maior. Em outra observação, algumas plantas dobram sua reação fotossintética aparente, com o incremento de duas a três vezes a concentração de CO_2 no ar, em comparação à normal. A eficiência da reação fotossintética é, portanto, ligada à concentração do gás CO_2 no ar, bem como à resistência que parece na difusão de CO_2 para o interior da planta. Estudando os limites máximo e mínimo da resistência, Williams e Joseph (1970) estimaram que o volume de CO_2 fotossintetizado com maior resistência observada seria apenas 15% em relação ao menor coeficiente de resistência observada, ou seja, 60 mm^3 de $\text{CO}_2/\text{cm}^2/\text{h}$ para o primeiro caso de $400 \text{ mm}^3/\text{cm}^2/\text{h}$ para o segundo, ambos em condição normal de concentração de CO_2 no ar, 0,03%. Estes resultados levaram esses autores a concluir que a saturação de luz estaria em torno de 2,093 a 1,6744 $\text{J}/\text{cm}^2/\text{min}$.

A Terra recebe cerca de 8,3720 $\text{J}/\text{cm}^2/\text{min}$ de energia solar e esta chega à superfície terrestre com 50% do valor inicial. A energia solar, no valor de 4,1860 $\text{J}/\text{cm}^2/\text{min}$, atingindo a superfície terrestre é aproveitada em apenas 50% do seu valor na reação fotossintética, ou seja, cerca de 2,0930 $\text{J}/\text{cm}^2/\text{min}$. O aproveitamento de 1,6744 $\text{J}/\text{cm}^2/\text{min}$ corresponde então a 80% da energia efetiva, quando a resistência for mínima, e 0,2093 $\text{J}/\text{cm}^2/\text{min}$, em apenas 10%, com a máxima resistência que ocasiona a saturação de luz. A resistência varia de acordo com as plantas e as condições climáticas, especialmente em relação à velocidade do vento. Quanto menor o movimento de ar, maior será a resistência (WILLIAMS; JOSEPH, 1970).

Considerando, em média, 50% a taxa de redução que ocorre pela saturação de luz, aquele valor de $1,45 \times 10^{20}$, o número de moléculas de CH_2O líquido produzido pela fotossíntese reduz para $7,25 \times 10^{19}/\text{cm}^2/\text{dia}$. Este equivale a 53 g de CO_2 assimilado e reduzido para 36 g de $\text{CH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{dia}$. Considerando o valor de energia combustível de CH_2O em 0,4688 $\text{MJ}/\text{molécula}/\text{g}$, ou

seja, 15,6138 kJ/g , a energia fixada por este produto seria 0,5609 $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$, ou seja 56,09 $\text{J}/\text{cm}^2/\text{dia}$. Em comparação com o valor inicial da energia solar recebida em 1,8418 $\text{kJ}/\text{cm}^2/\text{dia}$, esta representa 2,95%.

Por outro lado, 53 g de $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{dia}$ correspondem, em média, 53 mg de $\text{CO}_2/\text{dm}^2/\text{h}$, considerando 10 h/dia de insolação eficiente para fotossíntese. Esse valor já se encontra nas observações em escala experimental (Quadro 1).

Entretanto, estes valores são geralmente os máximos, observados em condições especiais do estudo. No ciclo vital de uma planta, observa-se, entretanto, a variação de poder de assimilação de CO_2 , durante seu estágio de crescimento. No início do crescimento, as plantas possuem poucas folhas, que mal cobrem a área total de plantio. A taxa de assimilação de CO_2 , neste estágio, é consideravelmente menor (RICHARDSON, 1967). Torna-se novamente a menor taxa de assimilação de CO_2 , no final do crescimento pela maturação. Considerando estas variações, Monteith e Unsworth (1990) estimaram em 45% a 50%, a capacidade de aproveitamento de energia solar pela planta, durante o seu ciclo de vida, em comparação com a capacidade máxima observada durante o mesmo período.

A produtividade média, teoricamente esperada, será então 27 g de CO_2 assimilado e 18 g de CH_2O produzido/ m^2/dia e 28,0462 $\text{J}/\text{cm}^2/\text{dia}$, correspondendo a 1,5%

da energia solar, inicialmente recebida. Esse valor dará resultado de 65,7 t de matéria seca (MS)/ha, para as culturas que crescem um ano inteiro, e 27 t/ha, para as culturas anuais de cinco meses de ciclo de vida.

Considerando a taxa de 1,5%, a potencialidade de conversão energética das plantas, já na escala experimental são demonstradas as produtividades próximas a esta cifra. Escuder e Macêdo (1980) mostraram que a produção de MS de capim-gordura em 4.441 kg/ha em 28 dias, na região central do estado de Minas Gerais, o que corresponde a uma produção de 15,9 g de MS/ m^2/dia . Sendo que esta produção, apenas da parte superior das plantas, atingiu quase a produtividade teoricamente calculada.

Para algumas plantas, porém, esta cifra é bastante elevada para ser alcançada. Um outro experimento demonstrou a excelente produtividade de tomate na Região Norte do estado de Minas Gerais, com seus 189.940 kg de frutos/ha em 210 dias. Segundo Gargantini e Garcia Blanco (1963), a planta inteira do tomateiro, aos 130 dias, tem sua massa fresca de 114% e a massa seca de 7,8% em relação à massa fresca dos frutos. Estima-se então o total de 16.889,5 kg de MS/ha, em 210 dias, o que corresponde a 8,0 g de MS/ m^2/dia , cerca de 45% de produtividade teórica. Inclusive, Escuder e Macêdo (1980) observaram aquela produtividade somente num dos períodos de corte na época de

QUADRO 1 - Volume de CO_2 assimilado pela reação fotossintética

Cultura	mg CO_2 assimilado/ dm^2/h
Cana-de-açúcar	70,68
Milho	45,00
Algodão	22,00
Soja	50,00
Beterraba	25,00

FONTE: Monteith e Unsworth (1990).

chuva, e os cortes anterior e posterior àquele foram 56% e 49%, respectivamente, em relação à produtividade observada na época chuvosa.

Como vimos até aqui, a potencialidade de conversão energética das plantas está em torno de 1,5% da energia solar recebida. A tecnologia da pesquisa agropecuária no estado de Minas Gerais permite utilizar cerca de 50% dessa potencialidade. Entretanto, na área de produção comercial ocorre ainda outra taxa de redução.

Monteith e Unsworth (1990) observaram que a produtividade máxima alcançada em escala comercial, tomando-se a média de uma nação que demonstrou maior produtividade no mundo, está em torno de 42% dos máximos valores observados nos experimentos, em variadas culturas, e a média mundial seria 37% em relação à máxima mundial.

Esta proporção indica que as plantas, na escala comercial, estão sendo utilizadas com apenas 15,5% da produtividade demonstrada nos experimentos agrícolas. Pode-se dizer que, em média, as plantas com sua potencialidade de conversão energética, cerca de 1,5%, demonstra na escala experimental sua taxa de conversão em 0,75%, e na escala comercial 0,11%. No caso do milho que foi apresentado, no início, a energia produzida foi considerada apenas por produção de grão, desprezando a energia acumulada em outras partes da planta. Razão pela qual o aproveitamento da energia solar ficou em torno de 0,08%.

Biomassa como fonte alternativa de energia

Dos 100,9 milhões de toneladas equivalentes de petróleo consumido no Brasil, durante o ano de 1998 (PETROBRÁS, 1999), as energias fósseis situam-se em torno de 47%. Tendo como base o poder energético de petróleo em 37,4396 MJ/kg, as energias fósseis forneceram cerca de $1,7581 \times 10^{12}$ MJ, durante o ano de 1976, o que equivale a 13 milhões ou 26 milhões de hectares de culturas agrícolas com sua eficiência de 0,2% ou 0,1% de fixação de energia solar, respectivamente, quando

consideradas as culturas que se desenvolvem o ano inteiro. No caso de culturas anuais tendo seu ciclo de vida, em média, de cinco meses, esta área aumentará para 32 milhões ou 63 milhões de hectares de terra, com as eficiências de 0,2% ou 0,1% de conversão energética, respectivamente.

Considerando que, no Brasil, em 2008, a área colhida das principais culturas temporárias foi da ordem de 47 milhões de hectares, a de culturas perenes, com exceção da parte florestal de 6,6 milhões de hectares (CONAB, 2008), pasto permanente de 177,7 milhões de hectares (SCOT CONSULTORIA, 2008) e florestas de 478 milhões de hectares (CARNEIRO, 2003), os valores antes apresentados são bastante expressivos.

As energias eólica e hidráulica são energias mecânicas que podem ser convertidas em energia elétrica. A utilização de energia nuclear e energia solar é, no momento, o aproveitamento de energia térmica que se converte em energia elétrica. Tais energias têm suas utilizações restritas. Mediante a esgotabilidade e participação no aquecimento global da energia fóssil, a importância do aproveitamento de energia oriunda de biomassa, como combustível, aumentará mais a cada ano. Entretanto, sua baixa eficiência no rendimento energético a partir do raio solar ocasiona a necessidade de imensa área. Torna-se, pois, necessário estudar a utilização racional de energia fixada pela biomassa. Várias posições já foram apresentadas pelos estudiosos do assunto.

Biogás

Uma das proposições é a transformação de biomassa em gás metano. A partir de 1 kg de detritos animais, é produzido 0,009 m³ de metano com poder calorífico de 24,2788 MJ/m³. E, para a massa seca de folhas, produz-se um volume sete vezes maior de metano (VARGAS, 1977).

Dependendo do procedimento, ambiente no qual o processo de fermentação é dirigido, bem como da matéria-prima, a taxa de produção de metano muda amplamente o seu valor.

Segundo Zetti et al. (1978), a partir de 1 kg de MS de aguapé (*Eichhornia crassipes*) poderão ser fornecidos até 270 L de biogás, com 60% a 80% de CH₄, o que corresponde a cerca de 3,5581 MJ. Considerando que 1 kg de CH₂O fornece cerca de 15,4882 MJ, o seu aproveitamento, em biogás, seria de 23% da energia acumulada em biomassa.

Considerando em 0,2% de MS/dia/m², a eficiência de conversão energética das plantas cultivadas no Brasil, durante seis meses de ciclo de vida, a produção de MS será cerca de 5,1 t/ha ou 189 milhões de toneladas em 47 milhões de hectares, área atualmente cultivada para as culturas temporárias. Pressupondo, a grosso modo, cerca de 1/3 deste valor aproveitado como produto comercial e outro 1/3 como MS recuperável, este equivale a 78 milhões de toneladas de MS. Assumindo ainda, que a partir de 1 kg de MS possa ser produzido 0,27 m³ de biogás com seu poder calorífico, cerca de 13,1859 MJ/m³, o volume de 23 milhões de toneladas de MS poderá fornecer uma produção de $6,21 \times 10^9$ m³ de biogás com poder calorífico total de $3,0349 \times 10^{11}$ MJ, o que corresponderia a 14,3% da energia fornecida pela fonte fóssil, durante um ano, no Brasil.

Este processo poderá dar uma contribuição bastante significativa, se realizada a sua produção sob uma orientação cuidadosa. Uma das vantagens que pode ser prevista na produção de biogás é que esta poderá ser feita em várias localidades, como nos meios rurais e nas áreas urbanas, o que poderá reduzir o gasto de energia para o seu transporte.

Um outro aspecto que deve ser considerado é o aproveitamento de algumas plantas com alto poder de fixação de energia solar e que se desenvolvem em condições desfavoráveis para as culturas comerciais. Como é o caso do aguapé (*Eichhornia crassipes*). Segundo Zetti et al. (1978), o aguapé tem seu rendimento energético calculado em cerca de 1,6%. Considerando a energia solar em 1,8418 kJ/cm²/dia, este valor representa a fixação de 0,2947 MJ/

m²/dia, correspondendo a cerca de 19 g de MS/m²/dia. Aplicando o cálculo anterior, esta produção poderá resultar em 47,5 m³ de biogás com poder calorífico total de 676,0390 MJ/ha/dia. Se esta produtividade puder ser mantida durante o ano inteiro, a produção de energia será cerca de 2,4697 x 10⁵ MJ/ha/ano.

O Brasil possui, especialmente nos Estados do Norte, uma área de 326 mil km² de terra úmida de várzea. Se 22% desta área for destinada à produção de aguapé, e conseqüentemente de biogás, o poder calorífico produzido equivaleria a toda energia de origem fóssil consumida, no ano de 1976 no Brasil, caso aquela produtividade de aguapé seja mantida durante o ano inteiro e o gasto de energia para a produção e transporte não for considerado.

O aproveitamento da biomassa oriunda de lixo da região urbana já é bastante conhecido e é uma realidade para algumas cidades brasileiras. Nos Estados Unidos da América na região urbana de São Francisco, calcula-se que o poder energético do lixo urbano equivale a 3,7% da energia total consumida na cidade (SAVAGE, 1978).

Lenha e carvão

O aproveitamento de biomassa como fonte de energia térmica tem sua história bastante remota. Como método primitivo, têm-se as lenhas com o seu poder calorífico de 6,2790 a 12,5580 MJ/kg. Caso a madeira perca 25% de umidade, seu poder calorífico elevar-se-á acima de 12,5580 MJ/kg e para madeira completamente seca este valor sobe para 19,6742 MJ/kg (CENBIO, 2008). Esta fonte energética poderá ser utilizada no meio rural ou mesmo na indústria. A lenha poderá sustentar a linha ferroviária, por meio de reflorestamento, colocando ao longo da área desta linha, que fornecerá, constantemente, fonte energética de mínima distância ao local de uso.

A lenha, transformada em carvão vegetal, torna-se uma excelente fonte energética, com seu poder calorífico de 29,3020 a 33,4880 MJ/kg. Em comparação, o carvão mineral tem poder calorífico de 20,9300 a 33,4880 MJ/kg e o coque de 23,0230 a 31,3950 MJ/kg. O carvão vegetal é utiliza-

do em escala industrial, o que se observa na produção de gusa no Brasil.

A produtividade do eucalipto está pouco acima de 30 m³/ha/ano, ao 7^o ou 8^o ano, no espaçamento de 2 m com três cortes. A transformação de lenha em carvão necessita de 1,8 m³ de madeira roliça para 1m³ de carvão vegetal. O carvão de Minas Gerais tem seu peso de 250 kg/m³, necessitando-se de 8,9 m³ de lenha para produção de 1 tonelada de carvão. Nesse caso, a relação seria de 2,23 m³ de madeira roliça por unidade de volume de carvão vegetal.

Admitindo que, cerca de 50% em volume de lenha seria convertido em carvão vegetal, com seu peso de 250 kg/m³ e, seu peso calorífico de 29,3020 MJ/kg, incremento anual de 25 m³ de lenha/ha/ano significa 12,5 m³ de carvão com seu peso total de 3.125 kg e poder calorífico total de 9,1569 x 10¹⁰ MJ/ha/ano. Este valor representa cerca de 0,14% do aproveitamento de energia solar.

Considerando que, no Brasil, o consumo de energia de carvão vegetal representa, atualmente, cerca de 3% do consumo total, seria necessário duplicar o esforço despendido para o reflorestamento, a fim de que possibilite, pelo menos, a substituição da parte de carvão mineral pelo vegetal.

Álcool

Uma outra maneira de aproveitar a energia fixada na biomassa é transformá-la em combustível líquido, ou seja, álcool.

Em geral é chamado de álcool, o produto resultante de um átomo de hidrogênio (H), substituído pelo oxidrilo (OH), excetuando-se o produto oriundo do componente aromático, como o caso de benzina, cujo produto de substituição de um H pelo OH é chamado fenol.

Conforme o número de substituição do H por OH, o álcool é chamado mono, di ou triídrico e também de álcool poliídrico, o produto resultante de duas ou mais substituições.

No momento, maior atenção é dada ao álcool monoidrico, especialmente álcool metílico (metanol CH₃OH) e álcool etílico (etanol C₂H₅OH), como fonte energética.

Em alguns casos, Propanol (C₃H₇OH) e Butanol (C₄H₉OH) são considerados como fonte energética oriunda de biomassa.

Segundo Perrone (1977), antes da 2^a Guerra Mundial, grande parte do álcool industrial era produzida por fermentação de biomassa e, atualmente, nos Estados Unidos da América, praticamente todo ele é produzido por indústria petroquímica, por seu baixo custo de produção.

A utilização da energia de biomassa, seja qual for a forma de aproveitamento, é influenciada pela questão econômica, que é bastante influenciada pela decisão política. As principais lideranças dos países desenvolvidos afirmam que as usinas brasileiras estão plantando cana em áreas destinadas tradicionalmente para produção de grãos para alimentação humana ou animal, é o caso da soja, milho e feijão, por exemplo. Já as lideranças brasileiras afirmam que, o aumento da área plantada com cana está ocupando pastagens degradadas e que, após três a cinco anos, voltariam a ser ocupadas com a produção de alimentos.

Antes, o metanol era obtido pela destilação de madeira, razão do nome “espírito de madeira” ou *wood spirit* ou *wood alcohol*. Por meio do processo de destilação podem ser obtidos de 0,88% a 2,07% de metanol, partindo-se de madeiras moles e duras, respectivamente, além de outros produtos como acetona, ácido acético, alcatrão, gases de dióxido de carbono, monóxido de carbono, alcatrão, metano, entre outros (CENBIO, 2008).

Uma outra maneira de obter metanol de madeira seria por meio da gaseificação ou pirólise, na qual a madeira é decomposta mediante alta temperatura, total ou parcialmente em gases. Guerra (1977) analisou a perspectiva econômica de produção de metanol e amônia anidra a partir de madeira, considerando-se o consumo de 3 t de madeira seca para cada tonelada de metanol produzida, incluindo-se a madeira necessária para produção de energia. Os autores demonstraram boa perspectiva econômica na produção de metanol a partir de madeira, o que não aconteceu com a produção de amônia. Com base de 1 t de

etanol por 3 t de madeira seca, pode-se calcular que a produção de 25 m³/ha/ano de madeira, com sua massa de 450 kg/m³, a produção de metanol seria de 3.750 kg/ha/ano. Como se observa, nas informações posteriormente apresentadas com as produtividades de cana-de-açúcar, de mandioca e de sorgo sacarino, esta produtividade é bastante considerável, podendo ainda aumentar essa cifra por meio do aproveitamento de galhos, pontas e outros resíduos, conforme indica Guerra (1977).

A produção de etanol a partir de biomassa é feita pela fermentação e posterior destilação. Entretanto, a reação enzimática de fermentação de álcool ocorre com glicose, frutose e manose. Para sacarose e maltose ocorre a fermentação de álcool após estas serem transformadas em glicose e frutose, através de hidrólise provocada por outra reação enzimática. Esta reação ocorre pela enzima contida na levedura, responsável pela fermentação de álcool.

Para os materiais amiláceos, seu amido deverá ser preliminarmente preparado pela sacarificação antes da fermentação de álcool, como o caso de cereais, batata e mandioca.

No caso de celulose, que tem a mesma forma de amido (C₆H₁₀O₅)_n, a hidrólise, no entanto, ocorre com maior dificuldade em comparação ao caso de amido, por sua resistência.

Uma vez obtido o açúcar, por processos industriais de sacarificação da madeira, este poderá ser fermentado, obtendo-se o álcool (C₆H₁₂O₆ = 2 C₂H₅OH + CO₂).

O eucalipto demonstrou baixo rendimento de 104,4 L de álcool absoluto por tonelada de madeira seca, mostrando dificuldades econômicas na sua utilização. A madeira mais eficiente e mais produtiva é a ucuuba, com rendimento de 250,5 L por tonelada de madeira seca.

Sob o aspecto de problema energético, a produção de etanol, a partir de hidrólise de madeira, deverá ser considerada, uma vez que existe ainda como subproduto cerca de 25% a 35% de lignina por madeira seca. A lignina tem seu poder calorífico em cerca de 20,930 MJ/kg, podendo ser carbonizada

com seu rendimento de 60% a 70%. Nesse caso, o poder calorífico de carvão, a partir de lignina como subproduto do processo, adicionará mais 4081,3500 MJ/t de madeira seca original. Somando-se a este o poder calorífico de 4403,6720 MJ proveniente de 200 L de álcool a 22,0184 MJ/L, uma tonelada de madeira seca poderá resultar num total de 8485,0220 MJ. Este valor, considerando 25 m³/ha/ano como produtividade florestal, com a conversão energética a partir de hidrólise da madeira, resultará em 9,5458 x 10⁴ MJ/ha/ano, valor ligeiramente superior à estimativa da energia produzida exclusivamente de carvão vegetal, sem levar em consideração a energia gasta nos processos de produção.

Silva et al.(1976) estimaram as produções de álcool da cana-de-açúcar, da mandioca e do sorgo sacarino em 3.564, 2.523 e 2.775 L/ha/ano, respectivamente. Considerando o poder calorífico do álcool, 22,0184 MJ/L, os valores apresentados resultam na produção de 7,8475 x 10⁴, 5,5552 x 10⁴ e 8,3117 x 10⁴ MJ/ha/ano, respectivamente. Isto é 0,12%, 0,8% e 0,12%, em consideração a 0,6698 MJ de energia solar/cm²/ano.

Considerando, ainda, os aproveitamentos de resíduos agrícolas como fonte de energia, admitindo-se 5,4418 MJ/kg, para bagaço de cana, ramos de mandioca e bagaço de sorgo sacarino, eleva-se o volume de energia total produzida pela cana-de-açúcar para 1,5194 x 10⁵ MJ/ha/ano, 9,3277 x 10⁴ MJ/ha/ano para a mandioca e 1,3264 x 10⁵ MJ/ha/ano para sorgo sacarino, tornando-se respectivamente 0,23%, 0,14% e 0,20% do aproveitamento de energia solar.

Biodiesel

Biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, que pode ser obtido por diferentes processos, tais como o craqueamento, a esterificação ou a transesterificação. Pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais. Existem dezenas de espécies vegetais no Brasil que podem ser utilizadas para obtenção de biodiesel, tais

como: mamona, dendê (palma), girassol, babaçu, amendoim, pinhão-manso e soja, dentre outras.

Pode ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções. A mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada B2 e, assim, sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100.

Segundo a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (BRASIL, 2005), biodiesel é:

biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.

A transesterificação é o processo mais utilizado atualmente para a produção de biodiesel. Consiste na reação química dos óleos vegetais ou gorduras animais com o álcool comum (etanol) ou o metanol, estimulada por um catalisador, da qual também se extrai a glicerina, produto com aplicações diversas na indústria química.

Além da glicerina, a cadeia produtiva do biodiesel gera uma série de outros coprodutos (torta, farelo, etc.), que podem agregar valores e constituir outras fontes de renda importantes para os produtores.

Vantagens do biodiesel

É energia renovável. As terras cultiváveis podem produzir uma enorme variedade de oleaginosas como fonte de matéria-prima para o biodiesel.

É constituído por carbono neutro, ou seja, o combustível tem origem renovável ao invés da fóssil. Dessa forma, sua obtenção e queima não contribuem para o aumento de CO₂ na atmosfera, zerando, assim, o balanço de massa entre emissão de gases dos veículos e absorção destes gases pelas plantas.

Contribui para a geração de empregos no setor primário, que no Brasil é de suma importância para o desenvolvimento social. Com isso, evita-se o êxodo do trabalhador do campo, reduzindo o inchaço das grandes cidades e favorecendo o ciclo

da economia auto-sustentável, essencial para a autonomia do País.

Com a incidência de petróleo em poços cada vez mais profundos, muito dinheiro está sendo gasto na sua prospecção. Isto torna cada vez mais onerosa a exploração e o refino das riquezas naturais no subsolo do Brasil. Surge então a necessidade de explorar os recursos da superfície, o que pode ter um fim social melhor para o País, visto que o cultivo e a colheita das plantas oleaginosas, como a mamona e o pinhão-manso, são vegetações naturais do Semi-Árido e não requer nenhum investimento. E a colheita será feita manualmente pelos próprios agricultores, evitando o êxodo rural para os grandes centros.

Nenhuma modificação nos atuais motores do tipo ciclo diesel faz-se necessária. Dessa forma, é mais simples e menos oneroso para os fabricantes conservarem a tecnologia do que modificar os atuais motores, como foi o caso da tecnologia auto-regulável do motor Elsbett, que já pode funcionar com qualquer tipo de mistura oleaginosa, inclusive biodiesel com banha.

Desvantagens na utilização do biodiesel

Os grandes volumes de glicerina previstos como subprodutos e equivalentes entre 5% e 10% do produto bruto não servem nem para piso asfáltico. Desse modo, todo o programa de despoluição dos rios e lagos brasileiros, incluindo a fauna, será afetado e, com isso, o esforço dos ambientalistas.

Para ter a idéia da quantidade de glicerina resultante no Programa Biodiesel (B2), basta dizer que no período inferior a um ano, os tanques de combustível das refinarias, dos postos de revenda e veículos consumidores, seriam insuficientes para armazenar esse rejeito. Será necessário desenvolver uma tecnologia similar ao Motor Diesel, capaz de absorver esses derivados. Não há ainda uma visão clara sobre os impactos ambientais desta oferta de glicerina. Trata-se, também, de matéria-prima indispensável na industrialização

de explosivos como o TNT. No Brasil, não se conhecem ainda outras aplicações que explorem “as reações associadas ao glicerol” de forma mais controlável e de uso energético.

No Brasil e na Ásia, lavouras de soja e dendê, cujos óleos são fontes potencialmente importantes de biodiesel, estão invadindo florestas tropicais, importantes bolsões de biodiversidade. Embora, aqui no Brasil, essas lavouras não tenham o objetivo de ser usadas para biodiesel, essa preocupação deve ser considerada.

Aspectos econômicos do biodiesel

Em 2002, a demanda total de diesel no Brasil foi de 39,2 milhões de m³, dos quais 76% foram consumidos em transportes. O País importou 16,3% dessa demanda, o equivalente a US\$ 1,2 bilhão. Como exemplo, a utilização de biodiesel a 5% no País, demandaria, portanto, um total de 2 milhões de m³ de biodiesel.

Mistura biodiesel/diesel

O biodiesel pode ser usado misturado ao óleo diesel proveniente do petróleo em qualquer concentração, sem necessidade de alteração nos motores diesel já em funcionamento. Alguns motores antigos necessitam de alterações.

A concentração de biodiesel é definida como BX, em que X refere-se à porcentagem em volume do biodiesel, ao qual é misturado ao diesel do petróleo. Assim, B5, B20 e B100 referem-se, respectivamente, às misturas de biodiesel/diesel com porcentagens de biodiesel de 5%, 20% e 100%.

Importância estratégica

Desenvolvimento econômico regional, na medida em que se explore a melhor opção de fonte de óleo vegetal (mamona, soja, dendê, macaúba, pinhão-manso, etc.), específica de cada região. O consumo do biodiesel em lugar do óleo diesel com base no petróleo pode claramente diminuir a dependência ao petróleo (chamada petrodependência). Contribui para a redução da

poluição atmosférica, já que contém menores teores de enxofre e outros poluentes. Geração de empregos em áreas geográficas menos propícias a outras atividades econômicas e, dessa forma, promoção da inclusão social.

Projeto piloto

Cidade como Curitiba, capital do estado do Paraná, possui frota de ônibus para transporte coletivo movida a biodiesel. Essa ação reduziu substancialmente a poluição ambiental, aumentando, portanto, a qualidade do ar e, por conseqüência, a qualidade de vida num universo populacional de 3 milhões de habitantes.

Acredita-se que até 2010 mais de quinhentas cidades estarão com o biodiesel em suas bombas.

Aspecto geral sobre o poder energético da biomassa

A energia solar atinge a superfície terrestre, variando seu valor de acordo com a latitude, tempo sazonal e outros fatores. Por outro lado, o poder de fixação dessa energia pelas plantas, por meio da fotossíntese, muda de acordo com as espécies, condição climática, condição edáfica e outros fatores.

Monteith e Unsworth (1990) estimaram a razão da energia fixada pelos vários tipos de vegetação existentes no globo terrestre, com sua área ocupada, calculando-se um total de $1,7836 \times 10^{15}$ MJ cal de energia fixada pelas plantas por ano.

Prado (1980) afirmou que o consumo mundial de energia seria de $11,76 \times 10^9$ toneladas de carvão equivalente, cerca de $3,4451 \times 10^{14}$ MJ, correspondendo a 19,3% de energia fixada pelas plantas no mundo inteiro.

Em termos de escala nacional, o território brasileiro com sua área terrestre de 8.512 km² recebe, anualmente, da energia solar cerca de $5,6930 \times 10^{16}$ MJ. Considerando apenas em 0,1% a taxa de aproveitamento de energia solar pelas plantas, a energia acumulada em biomassas seria $5,6930 \times 10^{13}$ MJ. Este valor

corresponde ainda a 15 vezes mais do que o total de energia consumida no Brasil no ano de 1976.

Considerando ainda as utilizações de energia solar direta, energia eólica, hidráulica, hidrelétrica, a energia do mar, energia fixada pelas plantas aquáticas, o Brasil possui, com as fontes renováveis, uma potencialidade energética bastante considerável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Toda potencialidade energética demonstrada poderá ser ativada por meio das condições socioeconômicas e, sobretudo, da política nacional. Entretanto, para a utilização das energias renováveis deverão ser lembrados alguns aspectos, para que o programa de energia não cause, no futuro, um transtorno irreversível.

Sem considerar a ordem de importância, coloca-se em primeiro lugar os limites de potencialidade energética. As energias oriundas de biomassa têm seus limites. Um deles seria o fator socioeconômico. Mesmo considerada economicamente viável nos outros países, a sacarificação de madeira no Brasil ainda está longe de ser um processo economicamente viável, em comparação com a indústria açucareira a partir de cana-de-açúcar. Para substituir a energia equivalente ao consumo de carvão mineral pelo carvão vegetal, em quantidade base do ano de 1976, o Brasil deverá despende o mesmo esforço dado para o reflorestamento durante o período de 1966 a 1980, só para obter carvão vegetal. Para que seja aproveitada a energia da biomassa por meio de álcool ou de carvão de madeira, seria necessário ter apoio da programação nacional, a longo prazo, com base na política de energia do Brasil, como acontece com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Entre o limite socioeconômico e político da energia oriunda de biomassa, deve-se lembrar do problema de transporte. Muitas das fontes renováveis de energia poderão não ser aproveitadas por sua distância até o centro de consumo. Poderá, ainda, ocorrer o salto negativo, no balanço energético, em alguns casos. Neste

aspecto, o estudo de miniusina poderá dar uma boa contribuição, uma vez que o álcool combustível produzido nesse processo prevê o seu consumo local, evitando, assim o consumo de energia para o seu transporte. No trabalho de Dias (1978), o protótipo de miniusina para alto consumo de uma fazenda entre 150 e 1.000 ha demonstrou sua eficiência de 465 L de álcool de 92° a 96° GL toneladas de cana. De acordo com este autor, tendo em vista um consumo de 40 mil litros de álcool por ano, para substituir 25 mil litros de óleo diesel, será necessária uma produção de 890 t de cana-de-açúcar por ano.

Em segundo lugar vem o limite pela eficiência de conversão energética das plantas. E esta eficiência, aparentemente, está ligada à produtividade das plantas. Isto é, a maior produtividade resulta em maior eficiência de conversão energética. Entretanto, este fato nem sempre é verdadeiro. Pimentel (1977) afirmou que a produção do milho por unidade da área nos Estados Unidos foi, em 1977, em torno de 2,6 vezes maior que a do processo totalmente manual para a mesma cultura no México. Em termos de conversão energética, o método primitivo mexicano é 48 vezes mais eficiente que o processo moderno americano. No entanto, o americano produz 2,69 vezes a energia (considerando somente a produção de grãos de milho) e o mexicano produz 128,8 vezes em comparação com as energias consumidas nos seus processos de produção.

A tendência geral da nova tecnologia buscou a maior produtividade por meio de novas cultivares, com uso de fertilizantes e defensivos, ou por uma técnica de irrigação, associada a maior investimento e a maior consumo de energia. As novas cultivares mais produtivas exigem, em sua maioria, maior consumo de insumos agrícolas, conseqüentemente maior energia. Os trabalhos de pesquisa agropecuária são conduzidos até o aspecto econômico, e poucos deles demonstram o balanço energético nesta área. Seria, portanto, necessário desenvolver um estudo que atinja o problema energético do processo

agropecuário, já que a contribuição deste setor, no referido problema, será aumentada a cada ano que passa.

Com o limite de potencialidade do aproveitamento da energia de biomassa, vem finalmente a energia máxima fotossintetizada. A máxima potencialidade da planta poderá converter até cerca de 3% da energia solar recebida, isto é, 20,0928 kJ/cm²/ano, em biomassa. A aproximação a esta cifra, por meio de novas tecnologias, terá, porém, certa dificuldade com os fatores limitantes, como maior consumo de energia e maior investimento.

Os estudos de genética e fisiologia de plantas poderão, por outro lado, contribuir bastante para o aumento da eficiência fotosintética. Algumas plantas que apresentam o primeiro produto sintetizado com quatro átomos de carbono, chamadas plantas de espécie C₄, requerem apenas metade de água por unidade de matéria produzida pelas plantas C₃ e as plantas C₄ têm maior taxa de crescimento (HUBBELL; GASKINS, 1984). Os trabalhos de pesquisa poderão contribuir para o uso racional dos recursos naturais, aumento de eficiência na geração de energia solar à biomassa, por meio de novas cultivares e de novas tecnologias.

Além dos limites de aproveitamento de energia solar, a conseqüência do aumento de energia consumida é outro aspecto a considerar. Uma das preocupações desse aspecto está sendo levantada pelos físicos, alegando o acúmulo de entropia. No sistema termodinâmico, a Terra recebe constantemente a energia solar e, por outro lado, joga-se ao espaço cósmico baixa temperatura associada com a entropia já bastante aumentada. Uma vez que, segundo a lei da termodinâmica, a entropia permanece ou aumenta e não se espera a sua redução. A entropia deverá sempre ser dispersada no espaço. As energias associadas com a baixa entropia, como o caso de energia mecânica, eletromagnética, de alta temperatura, etc., poderão ser aproveitadas. Tais fontes energéticas de baixa taxa de entropia, uma vez transformada em energia com alta taxa de entropia, como o caso de energia de baixa temperatura, serão difícil-

mente aproveitadas. E este mecanismo de despejar a entropia depende tão-somente do sistema natural do globo terrestre. A humanidade ainda não enfrentou as condições em que a entropia, gerada pelo próprio homem, comece a se acumular na superfície terrestre.

Ligado a esse problema, outro aspecto que merece atenção especial é apresentado pelos climatologistas. De acordo com a observação, a concentração de CO₂ no ar aumentou de 290 ppmv, em 1880, antes da industrialização maciça, para 360 ppmv nos tempos atuais. Outros fatores, inclusive várias dificuldades, foram previstos para as imagens do século 21, em muitos estádios e, no final deles, com a imagem do oceano ártico sem gelo. Há o alerta, também, de que a civilização humana nunca enfrentou tais condições e a adaptação nesta situação climática parece inconcebível.

Preocupado com a fonte de energia e com o limite de terra cultivável para a produção de alimentos, Pimentel (1977) afirmou que o desenvolvimento em ciência e tecnologia ajudará a superar alguns problemas, mas a solução real para a maior escassez é o controle efetivo da população.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE, v.38, 1977. 847p.

BÖGER, P. Photosynthesis on earth. **Plant Research and Development**, v.5, p.24-39, 1977.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 14 jan. 2005. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm>. Acesso em: jun. 2008.

_____. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. **Manual de energia solar**. Brasília, 1982. 54p.

CARNEIRO, C.M. **Considerações sobre o desenvolvimento do setor florestal no mundo: com ênfase especial à América Latina**.

Rio de Janeiro: BNDES, 2003. Seminário: A Questão Florestal e o Desenvolvimento. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/florestal1.pdf>>. Acesso em: jul. 2008.

CENBIO. **Banco de dados de biomassa no Brasil**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://infoener.iee.usp.br/cenbio/biomassa.htm>>. Acesso em: jul. 2008.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos – safra 2007/2008**. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf>. Acesso em: jun. 2008.

DIAS, J.M.C.S. Mini usinas para álcool de cana de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 1., 1978, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Artes Gráficas Schulzee, 1978. p.260-268.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano nacional de energia – PNE 2030**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20070626_2.pdf>. Acesso em: jul. 2008.

ESCUDE, C.L.; MACÊDO, G.A.R. Pastagens naturais e cultivadas da região dos cerrados. **Informe Agropecuário**. Pastagens: base econômica da produção bovina, Belo Horizonte, ano 6, n.70, p.70-73, 1980.

GARGANTINI, H.; GARCIA BLANCO, H. Marcha de absorção de nutrientes pelo tomateiro. **Bragantia**, São Paulo, v.22, n.56, p.693-714, nov. 1963.

GUERRA, F. Produção de álcool anidro a partir da madeira. **Silvicultura**, São Paulo, v.1, n.4, p.34-35, 1977.

HUBBELL, D.H.; GASKINS, M.H. Associative N₂ fixation with Azopirillum. In: ALEXANDER, M. (Ed.). **Biological nitrogen fixation: ecology, technology and physiology**. New York: Plenum, 1984. p.201-224.

MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**. London: E. Arnold, 1990. 291p.

MOTA, F.S.da. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel, 1977. 379p.

MORRISON, F.B. **Alimentos e alimentação dos animais: elementos essenciais para alimentar, cuidar e explorar os animais domésticos, incluindo aves**. Rio de Janeiro: USAID, 1966. 892p.

NUNES, T.F.; ASSIS, C.C. **Sustentabilidade ambiental no setor energético brasileiro**. Coronel Fabriciano: UNILESTE-MG-CAU, 2007.

Disponível em: <<http://blogandoasenergias.blogspot.com/2007/11/sustentabilidade-ambiental-no-setor.html>>. Acesso: jul. 2008.

PERRONE, J.C. A economia dos processos de hidrólise de celulose. **Silvicultura**, São Paulo, v.1, n.6, p.54-60, 1977.

PETROBRAS. **Ambiente de negócios da indústria do petróleo**. 1999. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/ri/port/ConhecaPetrobras/RelatorioAnual/relanu/nacional.htm>>. Acesso em: jun. 2008.

PIMENTEL, D. Energy resource and land constraints in food production. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v.300, n.30, p.26-33, 1977.

REINACH, F. **Um cientista que sabia medir**. 2005. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/spin/2005/spin426/jce_gas_carbonico.htm>. Acesso em: jun. 2008.

RICHARDSON, G.L. Development of photosynthesis in cotton seedlings, *Gossypium hirsutum* L. **Crop Science**, v.7, n.1, p.6-8, Jan./Feb. 1967.

SAVAGE, G.M. Energy recovery from urban solid waste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 1., 1978, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Artes Gráficas Schulzee, 1978. p.301-312.

SCOT CONSULTORIA. **Áreas de pastagens versus agricultura**. Bebedouro, 2006. Disponível em: <http://www.abcz.org.br/site/download/pastagens_x_agricultura.pdf>. Acesso em: jun. 2008.

SILVA, J.G. da; SERRA, G.E.; MOREIRA, J.R.; GONÇALVES, J.C. Balanço energético cultural da produção de álcool etílico de cana-de-açúcar, mandioca e sorgo sacarino: fase agrícola e industrial. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, ano 45, v.88, n.6, p.8-21, dez. 1976.

VARGAS, J.I. **Programa de racionalização das siderúrgicas e carvão vegetal**. São Paulo, 1977. 18p.

WILLIAMS, C.N.; JOSEPH, K.J. **Climate: soil and crop production in the humid tropics**. Kuala Lumpur: Oxford University Press, 1970. 82p.

ZETTI, B.J.E.; BASTOS NETTO, D.; RAMOS, A.N.; MUNIZ, A.C. Digestores populares de metano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 1., 1978, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Artes Gráficas Schulzee, 1978. p.313-320.

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

INTRODUÇÃO

O Informe Agropecuário é uma publicação seriada, periódica, bimestral, de caráter técnico-científico e tem como objetivo principal difundir tecnologias geradas ou adaptadas pela EPAMIG, seus parceiros e outras instituições para o desenvolvimento do agronegócio de Minas Gerais. Trata-se de um importante veículo de orientação e informação para todos os segmentos do agronegócio, bem como de todas as instituições de pesquisa agropecuária, universidades, escolas federais e/ou estaduais de ensino agropecuário, produtores rurais, empresários e demais interessados. É peça importante para difusão de tecnologia, devendo, portanto, ser organizada para atender às necessidades de informação de seu público, respeitando sua linha editorial e a prioridade de divulgação de temas resultantes de projetos e programas de pesquisa realizados pela EPAMIG e seus parceiros.

A produção do Informe Agropecuário segue uma pauta e um cronograma previamente estabelecidos pelo Conselho de Difusão de Tecnologia e Publicações da EPAMIG, conforme demanda do setor agropecuário e em atendimento às diretrizes do Governo. Cada edição versa sobre um tema específico de importância econômica para Minas Gerais.

Do ponto de vista de execução, cada edição do Informe Agropecuário terá um coordenador técnico, responsável pelo conteúdo da publicação, pela seleção dos autores dos artigos e pela preparação da pauta.

APRESENTAÇÃO DOS ARTIGOS ORIGINAIS

Os artigos devem ser enviados em CD-ROM ou pela Internet, no programa Word, fonte Arial, corpo 12, espaço 1,5 linha, parágrafo automático, justificado, em páginas formato A4 (21,0 x 29,7cm).

Os quadros devem ser feitos também em Word, utilizando apenas o recurso de tabulação. Não se deve utilizar a tecla *Enter* para formatar o quadro, bem como valer-se de “toques” para alinhar elementos gráficos de um quadro.

Os gráficos devem ser feitos em Excel e ter, no máximo, 15,5 cm de largura (em página A4). Para tanto, pode-se usar, no mínimo, corpo 5 para composição dos dados, títulos e legendas.

As fotografias a serem aplicadas nas publicações devem ser recentes, de boa qualidade e conter autoria. Podem ser enviadas em papel fotográfico (9 x 12 cm ou maior), cromo (*slide*) ou digitalizadas. As fotografias digitalizadas devem ter resolução mínima de 300 DPIs no formato mínimo de 15 x 10 cm e ser enviadas em CD-ROM ou ZIP disk, preferencialmente em arquivos de extensão TIFF ou JPG.

Não serão aceitas fotografias já escaneadas, incluídas no texto, em Word. Enviar os arquivos digitalizados, separadamente, nas extensões já mencionadas (TIFF ou JPG, com resolução de 300DPIs).

Os desenhos devem ser feitos em nanquim, em papel vegetal, ou em computador no Corel Draw. Neste último caso, enviar em CD-ROM ou pela Internet. Os arquivos devem ter as seguintes extensões: TIFF, EPS, CDR ou JPG. Os desenhos não devem ser copiados ou tirados de Home Page, pois a resolução para impressão é baixa.

PRAZOS E ENTREGA DOS ARTIGOS

Os colaboradores técnicos da revista Informe Agropecuário devem observar os prazos estipulados formalmente para a entrega dos trabalhos, bem como priorizar o atendimento às dúvidas surgidas ao longo da produção da revista, levantadas pelo coordenador técnico, pela Revisão e pela Normalização. A não-observância a essas normas trará as seguintes implicações:

- a) os colaboradores convidados pela Empresa terão seus trabalhos excluídos da edição;
- b) os colaboradores da Empresa poderão ter seus trabalhos excluídos ou substituídos, a critério do respectivo coordenador técnico.

O coordenador técnico deverá entregar à Divisão de Publicações (DVPU) da EPAMIG os originais dos artigos em CD-ROM ou pela Internet, já revisados tecnicamente, 120 dias antes da data prevista para circular a revista. Não serão aceitos artigos entregues fora desse prazo ou após o início da revisão lingüística e normalização da revista.

O prazo para divulgação de errata expira seis meses após a data de publicação da edição.

ESTRUTURAÇÃO DOS ARTIGOS

Os artigos devem obedecer a seguinte seqüência:

- a) **título:** deve ser claro, conciso e indicar a idéia central, podendo ser acrescido de subtítulo. Devem-se evitar abreviaturas, parênteses e fórmulas que dificultem a sua compreensão;
- b) **nome do(s) autor(es):** deve constar por extenso, com numeração sobrescrita para indicar, no rodapé, sua formação e títulos acadêmicos, profissão, instituição a que pertence e endereço. Exemplo: Eng^o Agr^o, D.Sc., Pesq. EPAMIG-CTSM, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: epamig@ufla.br;
- c) **resumo:** deve constituir-se em um texto conciso (de 100 a 250 palavras), com dados relevantes sobre a metodologia, resultados principais e conclusões;
- d) **palavras-chave:** devem constar logo após o resumo. Não devem ser utilizadas palavras já contidas no título;
- e) **texto:** deve ser dividido basicamente em: Introdução, Desenvolvimento e Considerações finais. A Introdução deve ser breve e focar o objetivo do artigo;
- f) **agradecimento:** elemento opcional;
- g) **referências:** devem ser padronizadas de acordo com o “Manual para Publicação de Artigos, Resumos Expandidos e Circulares Técnicas” da EPAMIG, que apresenta adaptação das normas da ABNT.

Com relação às citações de autores e ilustrações dentro do texto, também deve ser consultado o Manual para Publicações da EPAMIG.

NOTA: Estas instruções, na íntegra, encontram-se no “Manual para Publicação de Artigos, Resumos Expandidos e Circulares Técnicas” da EPAMIG. Para consultá-lo, acessar: www.epamig.br, entrando em Publicações ou Downloads.

Para vislumbrar o futuro, é preciso olhar longe.

Ou bem de perto.



A FAPEMIG investe em pesquisa de norte a sul do Estado e em todas as áreas do conhecimento. Longe ou perto, com perspectivas macro ou microscópicas, sua meta é promover o desenvolvimento, através do apoio à Ciência, Tecnologia e Inovação.

Para conhecer a FAPEMIG,
visite a nossa homepage:
<http://www.fapemig.br>

O que você mais precisa para crescer
é o que o BDMG mais tem para oferecer:

APOIO



Agente financeiro do Governo de Minas na promoção do desenvolvimento do Estado, o BDMG apóia o agronegócio mineiro em várias frentes. As soluções financeiras oferecidas pelo Banco atendem a empreendimentos rurais e agroindustriais de todos os portes. Para mais informações, consulte o *site* www.bdmg.mg.gov.br e faça uma consulta preliminar.

APOIO AO PRODUTOR RURAL COOPERATIVADO – Financiamento ao produtor rural que precisa investir na modernização de seu empreendimento para aumentar a produtividade.

APOIO AO FAZENDEIRO FLORESTAL – Financiamento de projetos de florestas renováveis que estimulam a integração entre a empresa de porte industrial e o produtor rural.

APOIO AOS LATICÍNIOS – Financiamento de projetos destinados ao atendimento de normas sanitárias e ambientais e ampliação das instalações, de modo a melhorar a qualidade do leite e derivados e elevar a competitividade e a presença do produtor mineiro nos mercados interno e externo.

APOIO À BOVINOCULTURA – Financiamento voltado para a melhoria da qualidade e produtividade da cadeia de carne bovina em Minas

Gerais e para o aumento da participação mineira nas exportações nacionais por meio da modernização tecnológica do setor, melhoria dos rebanhos e adequação ambiental dos estabelecimentos.

APOIO À SUINOCULTURA E AVICULTURA INTEGRADAS – Financiamento para desenvolvimento do sistema integrado de criação de suínos e de aves em bases sustentáveis, visando a expansão e modernização das granjas existentes, a implantação de novos criatórios integrados à agroindústria e ao aumento da competitividade da produção mineira.

APOIO AO SETOR SUCROALCOOLEIRO – Financiamento dirigido tanto à atividade industrial em projetos de implantação, expansão ou manutenção de unidades agroindustriais produtoras de açúcar e álcool, quanto à atividade agrícola dos empreendimentos a ela integrados.

www.bdmg.mg.gov.br
O Banco parceiro do cliente empreendedor.

