

Capítulo 3

Zoneamento agrícola de riscos climáticos

Eduardo Delgado Assad
Jurandir Zullo Júnior
Hilton Silveira Pinto

O desenvolvimento da Seguridade Agrícola no Brasil defrontava-se, no início da década de 1990, com dois grandes fatores limitantes ao seu desenvolvimento: as altas taxas de perdas da agricultura e a falta de metodologia atuarial adequada.

No Estado de São Paulo, por exemplo, onde a tecnologia agrícola sempre foi bem desenvolvida, foram observadas as seguintes taxas de lavouras sinistradas na safra 1992/1993: 30 % para o arroz (*Oryza sativa* L.), 21 % para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), 22 % para o algodão (*Gossypium* spp.) e 16 % para o milho (*Zea mays* L.) e a soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. No Estado da Bahia, onde as condições climáticas são mais diversificadas, as taxas de perdas na safra 1992/1993 foram bem mais elevadas: 37 % para o milho, 34 % para o arroz e o feijão, 29 % para a soja e 22 % para o algodão. Na Região Nordeste, a situação foi bem grave e chegou a níveis inacreditáveis, como: 87 % para a mamona, 81 % para o algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.), 70 % para o milho, 46 % para o arroz, 41 % para o feijão e 32 % para a soja irrigada (ROSSETI, 2001).

Com tais níveis de perdas, a atividade agrícola estava tornando-se inviável impossibilitando, até mesmo, que os produtores rurais pudessem continuar arcando com os altos custos da seguridade agrícola. A seca e a chuva excessiva na colheita foram identificadas como os principais fenômenos responsáveis pela redução das safras na agricultura brasileira, bem como por grande parte das indenizações pagas pelos instrumentos de seguridade agrícola, atingindo 95 % do total.

A metodologia atuarial utilizada até então, apesar de algumas tentativas científicas aplicadas nos primórdios da implantação do seguro agrícola no

Brasil, sempre deixou a desejar. Inexistiam, na maioria das vezes, cálculos atuariais para a determinação do valor do prêmio a ser pago pelos agricultores, como no caso específico do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), em que ainda se designa o valor do adicional com base em alíquotas históricas, indicadas aleatoriamente.

Em 1996, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) viabilizou o projeto Desenvolvimento de Estudos de Regionalização dos Sinistros Climáticos no Brasil, com o apoio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), visando minimizar as perdas na produção agrícola através da disponibilização de técnicas ao produtor rural que permitissem reduzir os riscos climáticos relacionados ao regime de chuvas. Esse projeto estava de acordo com a proposta desenvolvimentista do governo, pois visava à utilização de tecnologia na agricultura, por menor que fosse, e a adoção da qualidade na atividade produtiva, garantindo sua sustentabilidade.

A perspectiva de redução de gastos pelo governo, com crescimento e desenvolvimento, justificou plenamente a implantação e efetivação desse Projeto. A redução dos riscos climáticos na agricultura e a conseqüente diminuição das perdas para os produtores rurais configuravam-se em objetivos que iam ao encontro das propostas do governo federal, permitindo o redirecionamento de recursos para áreas com vocação real aos empreendimentos rurais e projetos prioritários.

O Projeto induziu o agricultor, já na safra 1995/1996, a utilizar tecnologias adequadas à semeadura, com dados científicos de cada microrregião e orientações em todas as fases do desenvolvimento das culturas, proporcionando a utilização racional do crédito agrícola, a redução dos custos de produção, a proteção do solo e do ambiente, e o melhor uso de equipamentos agrícolas. O Projeto tem viabilizado, desde então, o planejamento da atividade agrícola reduzindo os riscos de perdas e aumentando, conseqüentemente, a produção.

Sabendo-se que a seca e a chuva excessiva eram os principais fenômenos responsáveis pelas perdas na agricultura nacional, foi realizado um estudo de caráter espaço-temporal para a identificação das áreas de maior risco para a agricultura brasileira, utilizando as redes de estações pluviométricas do antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica do Ministério do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Dnaee) e do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), vinculado ao Mapa. Esses dados permitiram o cálculo de previsões quantitativas da precipitação pluviométrica em escalas sinópticas para períodos de até cinco dias.

A Embrapa desenvolve e testa metodologias que identificam as áreas agrícolas de risco, aperfeiçoando-as cada vez mais tanto em termos de tempo quanto

de escalas. O mesmo acontece com os outros órgãos de pesquisa como o Instituto Agrônomo (IAC) e o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri)/Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), em São Paulo; o Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar); a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. (Epagri); a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig); a Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA); e a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro), no Rio Grande do Sul.

Desde a sua implantação, o Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos (Zarc), programa transformado em política pública do governo federal, que indica a cada município o que plantar, onde plantar e quando plantar, tem os seguintes objetivos principais:

- a) Coletar informações pluviométricas diárias disponíveis no País.
- b) Analisar e criticar os dados pluviométricos diários coletados.
- c) Fazer uma análise de frequência dos dados e espacializá-los.
- d) Imprimir e disponibilizar mapas de ocorrência de veranicos nas regiões brasileiras.
- e) Tabular a análise de frequência da precipitação pluviométrica para períodos de 10, 15 e 30 dias, com frequência de 20 %, 50 % e 80 %, caracterizando, precisamente, os anos e a distribuição espacial das informações.
- f) Avaliar e regionalizar as chuvas de maior intensidade no território nacional.
- g) Regionalizar e otimizar as datas de plantio para as principais culturas do Brasil.
- h) Calcular a evapotranspiração potencial para as estações meteorológicas brasileiras.
- i) Coletar informações agronômicas das principais culturas agrícolas do Brasil.
- j) Calcular e estabelecer a capacidade de retenção dos principais solos cultivados.
- k) Simular o modelo do balanço hídrico para culturas escolhidas, considerando datas de plantio, ciclo das culturas, solos e cultivares diferentes.
- l) Espacializar os resultados dos índices de penalização obtidos na simulação do balanço hídrico.
- m) Publicar mapas com datas de plantio otimizadas para as principais culturas do Brasil.

Para o estabelecimento do Zarc e a realização de todos os itens descritos anteriormente, foi necessário criar metodologia fundamentada em análises espaço-temporais dos dados climáticos e análises agrometeorológicas, pedológicas, estatísticas e agronômicas. Tais procedimentos são, predominantemente, multidisciplinares, baseados em grandes esforços computacionais e de modelagem, associados ao inter-relacionamento de variáveis que definem o risco climático.

De maneira geral, os principais métodos utilizados para definir as áreas pluviometricamente homogêneas no País envolvem: caracterizar o funcionamento hídrico dos solos para fins de zoneamento agrícola; estabelecer os parâmetros para cálculo do risco climático das culturas perenes; definir os parâmetros para cálculo do risco climático das culturas anuais; e estabelecer métodos de análise espacial que minimizem os erros de interpolação para melhor representar os resultados do Zarc.

Determinação das áreas pluviometricamente homogêneas no Brasil¹

O parâmetro atmosférico mais relevante na agricultura brasileira é a precipitação pluvial, pois a seca e a chuva excessiva respondem pela maioria dos sinistros agrícolas (GÖPFERT et al., 1993). A quantificação dos riscos decorrentes da falta ou do excesso de chuvas no sucesso das diversas culturas agrícolas em cada região e época de plantio foi objeto de abordagem probabilística apresentada por Keller Filho (1998) e Lima (1998). A aplicação dessa abordagem probabilística exigiu o agrupamento das observações pluviais segundo critério de similaridade do comportamento probabilístico da precipitação pluvial, em sua evolução ao longo de um período anual. Para tanto, foram utilizados métodos estatísticos que permitiram classificar e agrupar áreas que tivessem comportamento pluviométrico similar. Essa identificação de regiões pluviometricamente homogêneas tem sido a base dos estudos de riscos climáticos na agricultura nacional.

Um dos métodos mais utilizados para classificar objetos em categorias de similaridade é a análise de agrupamentos (*cluster analysis*). Essa técnica considera um conjunto inicial de objetos, aos quais são associadas medidas de várias grandezas, denominadas variáveis classificatórias, utilizadas para a obtenção de grupos de objetos assemelhados em relação aos valores assumidos por essas variáveis (EVERITT, 1993).

¹ A metodologia desse item é baseada no trabalho de Keller Filho et al. (2006).

A análise de agrupamentos, muitas vezes, associada à análise de componentes principais, tem sido utilizada na climatologia para a definição de regiões climáticas homogêneas (MUNÓZ-DIAZ; RODRIGO, 2003; UNAL et al., 2003; UVO, 2003). Neste trabalho foram utilizados os dados de precipitação pluviométrica diária cedidos pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (Dnaee), atual Agência Nacional de Águas (ANA), referentes a 2.341 postos pluviométricos dispersos em todo o território brasileiro. Normalmente, os dados pluviométricos devem ser avaliados quanto à atualidade, ausência de erros, completude e consistência. Para os procedimentos de consistência dos dados e homogeneização são utilizados, geralmente, os métodos da Dupla Massa (PINTO et al., 2000) e do Vetor Regional (HIEZ, 1977). No preenchimento das falhas emprega-se, comumente, o método dos Vizinhos mais Próximos (PINTO et al., 2000). Os dados utilizados para identificar as áreas pluviometricamente homogêneas foram analisados, sob todos esses aspectos, por Lima (2003). Desse modo, utilizaram-se séries históricas consistentes, abrangendo períodos entre 15 e 35 anos para cada posto pluviométrico. Os dados diários originais dessas séries e os totais a cada cinco dias formaram um banco de dados, sendo que cada posto foi identificado por meio de suas coordenadas geográficas (latitude e longitude).

O passo seguinte foi a escolha de procedimento adequado para a formação de grupos homogêneos de observações pluviais. De modo geral, os procedimentos existentes para a aplicação da análise de agrupamento desdobram-se em quatro etapas: escolha das variáveis classificatórias, especificação de uma medida de similaridade, seleção do método de agrupamento e decisão quanto ao número de grupos a serem formados.

Variáveis classificatórias

A escolha dessas variáveis reflete o julgamento do investigador sobre a relevância dos fatores climáticos para os propósitos da pesquisa. Na agrometeorologia são mais utilizadas as variáveis que correspondem à temperatura (média, máxima e mínima) e à precipitação pluvial total, geralmente referida a períodos mensais. A escolha das variáveis classificatórias tem por finalidade a formação de grupos homogêneos de observações pluviais para os quais as distribuições de probabilidade de chuva possuam um perfil assemelhado ao longo de sua evolução no tempo. Do ponto de vista descritivo, as distribuições de probabilidade diferem entre si por características de posição, escala e forma. Quanto à forma, as características mais importantes para diferenciar o perfil das distribuições são o seu grau de assimetria e de curtose ou achatamento. Nas distribuições de

probabilidades da precipitação pluvial referentes a determinado período, outra característica diferenciadora é a probabilidade de ocorrência de períodos de estiagem.

Por isso, as variáveis classificatórias são escolhidas de forma a captar as flutuações da posição, a escala e a forma das distribuições de frequência da chuva, ao longo de todos os 73 quinquídios existentes em um ano, bem como da proporção de quinquídios em que houve estiagem. Assim, para cada um dos 73 quinquídios de um ano foram calculados os seguintes indicadores das características que diferenciam as distribuições de chuva em cada ponto de observação pluviométrica: média aritmética (parâmetro de posição), desvio-padrão (parâmetro de escala), coeficientes de assimetria e de curtose (parâmetros de forma) e proporção de quinquídios secos. Dessa forma, a cada ponto de observação pluviométrica fez-se corresponder um vetor de 365 parâmetros (5 parâmetros x 73 quinquídios) para caracterizar o perfil estatístico do regime de precipitação pluvial ao longo de um período anual.

Medida de similaridade

Na análise de agrupamentos é fundamental a definição de uma medida de similaridade ou de distância entre os grupos a serem constituídos. Como as variáveis classificatórias escolhidas são variáveis reais e, portanto, mensuradas em uma escala de intervalo, é conveniente adotar uma medida de distância com propriedades métricas, tendo a escolha recaído na métrica euclidiana por ser essa a mais utilizada (EVERITT, 1993). Como as variáveis classificatórias são mensuradas em unidades distintas, os seus valores foram previamente standardizados, de forma a terem média zero e variância unitária (GREEN, 1978).

Método de agrupamento

Ao longo das últimas décadas, sob o estímulo do grande progresso da tecnologia da computação, foram desenvolvidos inúmeros métodos para o agrupamento de objetos, podendo ser distinguidos dois tipos principais:

- a) Métodos não-hierárquicos: que produzem um número fixo de agrupamentos.
- b) Métodos hierárquicos: que formam agrupamentos por meio de uma sequência crescente de partições de grupos, denominada “abordagem divisiva”, ou de junções sucessivas de grupos, chamada de “abordagem aglomerativa”.

Para agrupar observações pluviais não é possível estabelecer, a priori, o número ideal de grupos a ser formados. Nesse caso, os métodos não-hierárquicos são inconvenientes, pois sua aplicação exigiria grande esforço de cálculo nas sucessivas tentativas para encontrar o número adequado de agrupamentos. Assim, adotou-se o método hierárquico aglomerativo, que é o mais utilizado na construção de agrupamentos (KAUFMAN; ROUSSEAU, 1990).

Várias técnicas de agrupamento hierárquico têm sido propostas, destacando-se, dentre as mais utilizadas, as seguintes (EVERITT, 1993):

- a) Ligação simples (*single linkage method*).
- b) Ligação completa (*complete linkage method*).
- c) Método centróide (*centroid method*).
- d) Método da mediana (*median method*).
- e) Método da média dos grupos (*group average method*).
- f) Método da variância mínima (*Ward's method*).

A escolha de uma dessas técnicas é, de certa forma, subjetiva. Para a definição das áreas pluviometricamente homogêneas, utilizou-se o método da variância mínima (WARD, 1963), recomendado por Edelbrock (1979), com base em vários estudos empíricos. Nesse método, a formação dos agrupamentos em cada estágio da hierarquia é avaliada pela soma dos quadrados dos desvios em relação ao centro de gravidade dos grupos, geralmente indicada por R^2 . O critério para a fusão de cada par de grupos é o de que seja obtido o menor acréscimo possível no valor de R^2 .

Número de grupos

Segundo Hartigan (1985), não existe um método inteiramente satisfatório para a determinação do número ideal de grupos. Com esse propósito, utiliza-se o Critério Cúbico para Agrupamento (CCC – Cubic Clustering Criterion), instituído por Sarle (1983). Esse critério baseia-se na construção de uma medida, indicada por CCC, que compara os valores observados de R^2 com uma aproximação de $E(R^2)$, ou seja, de seu valor esperado. Calcula-se o valor de CCC após cada etapa da construção hierárquica dos grupos. Quando o CCC é positivo, os valores observados de R^2 são superiores à $E(R^2)$, indicando a provável existência de novos agrupamentos significantes. Milligan e Cooper (1985) compararam o desempenho de grande número de critérios para determinar o número ideal de grupos, chegando à conclusão de que o CCC é um dos que apresentaram melhores resultados.

Por meio do método hierárquico da variância mínima (WARD, 1963) foi possível identificar seis grandes aglomerações de observações pluviiais em todo o Brasil, as quais passaram a ser denominadas áreas homogêneas, identificadas como Área 1, Área 2, Área 3, Área 4, Área 5 e Área 6 (Fig. 1).

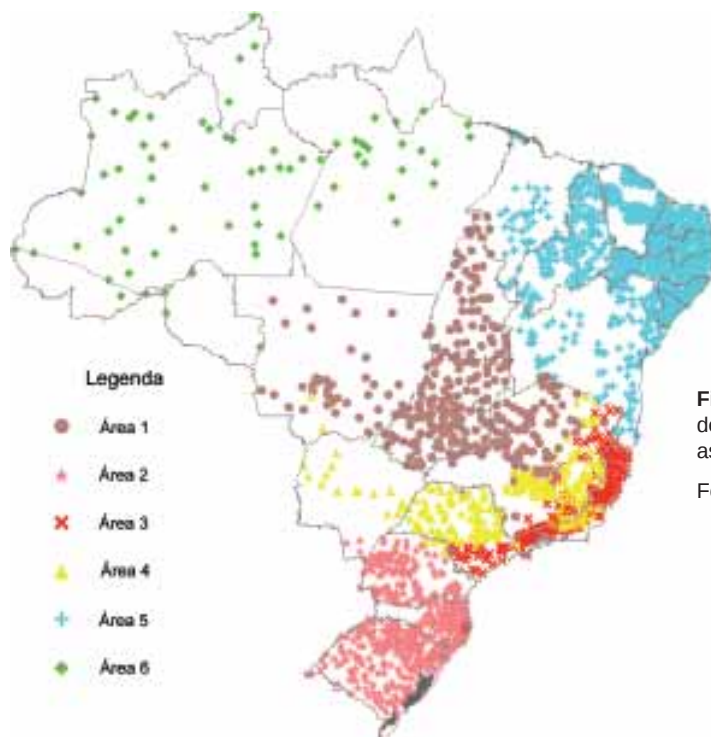


Fig. 1. Distribuição espacial dos pontos de observação pluviométrica, segundo as seis áreas homogêneas.

Fonte: Keller Filho et al. (2005).

Os seis grupos identificados estão situados em áreas climáticas distintas, com regime de precipitação pluvial bastante diversificado. De fato, a precipitação pluvial média, ao longo de um ano, apresenta grande contraste entre as áreas homogêneas, com exceção das Áreas 3 e 4 (Fig. 1). Por sua vez, a proporção de quinquênios secos ao longo de um ano é muito diferente em todas as áreas homogêneas, também nas Áreas 3 e 4. Portanto, considerada como uma análise exploratória preliminar, essa identificação de seis áreas homogêneas produziu bons resultados, apesar da baixa densidade espacial dos postos pluviométricos existentes nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e na Região Norte, exceto o Estado do Tocantins. Considerando, entretanto, que a precipitação pluvial é influenciada por fatores físico-geográficos, como posição, extensão latitudinal e relevo, deve-se esperar que em grandes extensões territoriais o regime de chuva não seja homogêneo. Por isso, o método de Ward foi utilizado para subdividir cada área homogênea em várias zonas homogêneas, nas quais o regime de chuva apresenta um grau de homogeneidade suficiente para os propósitos do estudo. Para determinar o número ideal de zonas homogêneas, utilizou-se o Critério Cúbico para

Agrupamento (SARLE, 1983). Dessa forma, o território brasileiro ficou dividido em seis áreas homogêneas subdivididas em 25 zonas homogêneas descritas, detalhadamente, no trabalho de Keller Filho et al. (2006).

A Área 1 está inserida, quase que totalmente, no ecossistema Cerrado, que abrange uma área aproximada de 204 milhões de hectares. Em virtude de seu posicionamento latitudinal, a região caracteriza-se pela transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos do tipo temperado, de latitudes médias (NIMER, 1989). Nos estudos feitos por Rao e Hada (1990), e adaptados por Silva Dias e Marengo (1999), a região é considerada praticamente homogênea quanto à duração e ao posicionamento dos períodos secos e chuvosos. Entretanto, Castro et al. (1994) mostram que essa região apresenta certo grau de heterogeneidade decorrente da diversidade de duração dos períodos secos e chuvosos. As quatro zonas homogêneas identificadas apresentam diferenças de até dois meses na duração dos períodos secos e chuvosos. Essa heterogeneidade é determinada pelos sistemas atmosféricos que atuam nessa área. A região do Cerrado encontra-se sob a influência dos anticiclones do Atlântico Sul e migratório Polar, além das depressões do Chaco e Amazônica. O anticiclone do Atlântico Sul, também conhecido como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), é um dos principais fenômenos que determinam o regime de chuvas em toda a região (VIANELLO; ALVES, 1991; QUADRO, 1994; OLIVEIRA et al., 2001).

A Área 2 está quase toda situada na Região Sul, onde predomina o clima subtropical úmido. Nessa região atuam os vórtices ciclônicos de alto nível de origem subtropical que provocam chuvas e ventos fortes (SILVA DIAS; GRAMMELSBACHER, 1991), os sistemas frontais (Pacífico, Argentina, Sul-Sudeste e Nordeste) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A complexa ação desses sistemas atmosféricos pode explicar a identificação de seis zonas homogêneas, as quais, devido a condições de relevo, apresentam sistemas de exploração agrícola diferenciados para fruticultura temperada, produção de grãos, culturas de inverno e verão, produção de arroz irrigado, pequena produção diversificada e atividade pecuária.

A Área 3 é caracterizada, também, pela transição entre climas quentes das latitudes baixas e climas mesotérmicos das latitudes médias (NIMER, 1989). Em geral, os totais pluviais anuais variam de 1.500 mm a 2.000 mm. No litoral, principalmente no norte de São Paulo, a precipitação pluvial é elevada, podendo atingir níveis de 3.500 mm a 4.000 mm anuais, sem estação seca definida. A variação do regime pluvial na Área 3 permitiu identificar quatro zonas homogêneas, diferenciadas, entre os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e a região que acompanha o litoral e a Serra do Mar, onde predomina o clima litorâneo úmido.

A Área 4 abrange o Estado de São Paulo, sul e sudeste do Estado de Minas Gerais e a parte central do Estado do Mato Grosso do Sul. Os principais sistemas atmosféricos que geram as chuvas nessa área são as correntes perturbadas do Sul, sob a forma de passagens frontais e ramos aquecidos que detêm 67 % da gênese das chuvas (TARIFA, 1975), zonas de convergência do Atlântico Sul e vórtices ciclônicos. O conjunto desses sistemas é uma possível explicação para a identificação de três zonas homogêneas nessa área.

A Área 5 abrange quase toda a Região Nordeste, onde prevalecem os climas tropical, tropical semi-árido e litorâneo úmido, e apresenta grande complexidade na distribuição e na intensidade de chuvas. A diversidade do regime de precipitação pluvial nessa região pode ser explicada pela forte influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), onde ocorre a interação de características atmosféricas e oceânicas, tais como: a zona de confluência dos ventos alísios, a zona do cavado equatorial, a zona de máxima temperatura da superfície do mar, a zona de máxima convergência de massa e a zona de banda de máxima cobertura de nuvens convectivas (SILVA DIAS; MARENGO, 1999).

O estudo de Rao e Hada (1990) indicou, no Nordeste brasileiro, a existência de quatro regiões com precipitação pluvial de características bem distintas. Utilizando a análise de agrupamentos foram identificadas, na Região Nordeste, seis zonas pluviometricamente homogêneas, a saber: a primeira, influenciada pelo clima litorâneo úmido; a segunda, abrange parte do Sertão nordestino, no qual predomina o clima tropical semi-árido; a terceira, a quarta e a quinta zona, são zonas de transição entre o clima tropical semi-árido e o clima litorâneo úmido; e, finalmente, a última zona, que abrange principalmente o Maranhão, onde predomina o clima tropical.

A Área 6 compreende a Região Norte, com precipitação pluvial elevada, influenciada por linhas de instabilidade onde as regiões central, sudoeste e leste apresentam estação seca bem definida. Essa região apresenta importante heterogeneidade espacial e sazonal da pluviosidade e possui o maior total pluvial anual. Segundo Nobre (1988) e Nobre et al. (1991), os principais fatores que influenciam o regime de chuvas nessa região estão associados à condensação do ar úmido trazido pelos ventos de leste da ZCIT, além das respostas à flutuação dinâmica do centro de convecção, quase que permanente na Amazônia, conforme explicado por Hastenrath (1993).

Silva Dias e Marengo (1999) indicam a existência de quatro núcleos de precipitação abundante nessa área. Neste trabalho, pela análise de agrupamentos, foram identificadas duas zonas homogêneas com características compatíveis com suas indicações. A primeira é bastante chuvosa, com o predomínio do clima equatorial úmido, enquanto a segunda é menos chuvosa, constituindo um corredor na direção noroeste/sudeste, de Roraima ao leste do Pará.

A identificação de zonas pluviometricamente homogêneas é fundamental para o Zarc do Brasil, servindo de base para a definição do calendário agrícola. O conhecimento detalhado dos padrões pluviais das regiões homogêneas é auxílio inestimável para a escolha das culturas com menor risco climático e para o estabelecimento das datas de plantio mais favoráveis. Assim, por exemplo, a cultura de milho na Área 5 apresenta menor risco na zona do Agreste nordestino, que abrange, praticamente, todo o Agreste nordestino, do que na região da Serra do Araripe, em Pernambuco, pois os índices de precipitação pluvial nessa região são menores do que os da primeira.

Outro exemplo é o das regiões do sul do Maranhão, sul do Piauí, oeste e sudoeste da Bahia. Essas regiões são limítrofes entre o Cerrado e o Semi-Árido e apresentam um comportamento pluvial muito próximo ao das zonas que compõem a Área 1. Esse fato vem causando o avanço da fronteira agrícola do Centro-Oeste em direção ao Nordeste, tendo como limite a região do Semi-Árido, de maior risco agrícola. Análises dessa natureza mostram que é pequeno o risco do cultivo do milho safrinha no sul de Goiás e no sul de Mato Grosso devido à maior duração do período chuvoso observado na Área 1, que abrange essas regiões. Entretanto, no Vale do Paranapanema, em São Paulo, abrangido pela Área 3, o risco dessa cultura é muito alto. A ocorrência de períodos chuvosos pode explicar, também, a variação da duração dos ciclos da cultura do trigo [*Triticum aestivum* (L.) em. Thell.] no Paraná, onde o plantio começa em março na Área 2, com cultivares de ciclo médio e precoce, e termina em junho. Esse calendário de plantio visa, principalmente, evitar a colheita em períodos com forte risco de ocorrência de chuvas e a conseqüente redução da qualidade do grão. O entendimento da distribuição das chuvas e a identificação dos períodos secos, por si só, não é suficiente para definir os riscos climáticos. A esse conhecimento é necessário acoplar o funcionamento hídrico dos solos.

Caracterização do funcionamento hídrico dos solos para fins de zoneamento agrícola²

Considerando que o objetivo principal do zoneamento agrícola é definir épocas de plantio mais apropriadas para diferentes culturas, de modo a diminuir os riscos climáticos no processo produtivo, as informações necessárias dos solos são aquelas que permitem avaliar o seu comportamento enquanto reservatório

² A metodologia desse item é baseada no trabalho de Lopes Assad et al. (2001; 2007).

de água. Tais informações são baseadas nas características físico-hídricas dos solos.

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

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, por extensionistas e por técnicos de diferentes formações. A textura é um parâmetro que pode ser estimado, por exemplo, a partir da apreciação no campo pelo tato (por exemplo, solos argilosos são macios no tato, moldáveis; solos arenosos possuem predominância de grãos que arranham, não sendo moldáveis). O gradiente é avaliado a partir da relação entre os teores de argila de dois horizontes ou as camadas consecutivas de solos.

Cabe salientar que a legislação ambiental deve ser rigorosamente respeitada no zoneamento agrícola. Portanto, áreas de preservação obrigatória, áreas ribeirinhas e áreas de declividade superior a 45 % não devem ser incluídas como aptas para nenhum tipo de sistema de produção agrícola. 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.

Salienta-se, também, que parâmetros de fertilidade não são considerados no zoneamento agrícola pelos seguintes motivos principais:

- a) A fertilidade do solo pode ser modificada utilizando-se, corretamente, adubos e corretivos.
- b) A influência de alguns atributos de fertilidade, como a capacidade de troca de cátions (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, exercem 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 1 – englobam solos:

- a) Com teor de argila superior a 10 % e inferior a 15 %, nos primeiros 50 cm de solo.
- b) 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

- a) Com teor de argila maior do que 35 % nos primeiros 50 cm de solo.
- b) Com menos de 35 % de argila e menos de 15 % de areia (textura siltosa) nos primeiros 50 cm de solo.

Destaca-se que essas três 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 zoneamento agrícola.

Para utilizar regionalmente as informações sobre o funcionamento dos solos, foram propostos critérios de reclassificação dos mapas, visando facilitar o entendimento dos critérios utilizados na elaboração dos mapas, de solos disponíveis no Brasil. Como exemplo de reclassificação considerou-se, segundo Lopes Assad et al. (2007), o levantamento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul, elaborado pelo Projeto RadamBrasil, na escala de 1:250.000, reduzida, posteriormente, para a escala 1:1.000.000. Esse levantamento foi publicado nos volumes 33 e 35 do levantamento de recursos naturais elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (BRASIL, 1986; 1999) e a sistemática de trabalho baseou-se na fotointerpretação individual de imagens de radar, com unidades de mapeamento de solo delimitadas em função de relevo, drenagem, vegetação e tonalidade, textura e estrutura das imagens de radar.

Os polígonos obtidos na digitalização de cada mapa foram classificados de acordo com as classes de solos criadas na etapa de definição do modelo de dados. Após a classificação, foram inseridos textos referentes ao nome do solo de cada polígono, adotando-se a uniformização de legenda proposta em Soares e Silva (2005). Em seguida, foi feita a reclassificação de cada uma das unidades de mapeamento, considerando, principalmente, atributos de textura, profundidade efetiva, relevo e processo de formação. Essa reclassificação foi feita segundo os seguintes critérios, além daqueles estabelecidos na Instrução Normativa nº. 12 do Mapa (BRASIL, 2005):

- a) Nas associações que envolvem, como primeiro componente, solos com aptidão para a agricultura (Latossolos, Argissolos e Nitossolos, por exemplo) e, como segundo ou terceiro componente, solos sem aptidão para a agricultura, considerou-se o tipo de solo previsto para os componentes com aptidão para agricultura.
- b) Nas associações em que todos os componentes são solos com aptidão para a agricultura, mas com estimativa de comportamento físico-hídrico diferenciado, em razão das diferenças na textura e na estrutura, considerou-se o tipo de solo previsto para o primeiro, por ser esse o de maior área.

Considerando que a maioria das plantas cultivadas consome, na fase de maior demanda, cerca de 4 mm de água por dia, e que a maioria das plantas cultivadas tem grande parte de seu desenvolvimento radicular até 40 cm de profundidade, foram feitas reclassificações para os tipos de solos previstos no zoneamento agrícola, adotando-se os seguintes critérios:

- a) Solos Tipo 0: CAD (capacidade de armazenamento de água) $< 0,4$ mm/cm.
- b) Solos Tipo 1: $0,4$ mm/cm $< CAD < 0,7$ mm/cm.
- c) Solos Tipo 2: $0,7$ mm/cm $< CAD < 1$ mm/cm.
- d) Solos Tipo 3: CAD > 1 mm/cm.

Ou seja, as plantas não são penalizadas por veranicos de até 10 dias quando cultivadas em solos do Tipo 3; veranicos de até 7 dias, em solos do Tipo 2; veranicos de até 4 dias, para solos do Tipo 1; e veranicos de até 3 dias, no caso de solos do Tipo 0.

Como exemplo, as Tabelas 1 e 2 descrevem a conversão dos solos do Rio Grande do Sul para os tipos de solos considerados no zoneamento agrícola, ilustrado na Fig. 2. Uma vez definidos os critérios para a identificação dos tipos de solos, os valores numéricos correspondentes à CAD são utilizados como parâmetros dos modelos de análise de risco nas simulações realizadas.

Metodologia de risco climático para culturas perenes: caso do café arábica

O café arábica (*Coffea arabica* L.) foi uma das primeiras culturas perenes a ser considerada no zoneamento de riscos climáticos. Foram estabelecidos, inicialmente, critérios para estudos dos riscos climáticos para os principais

Tabela 1. Área dos solos mapeados no Estado do Rio Grande do Sul, em escala 1:1.000.000, estimada por meio de um sistema de informações geográficas.

Solo	Área	
	(km²)	(%)
Aluvial	1.066,7	0,4
Areia quartzosa	834,3	0,3
Areia quartzosa hidromórfica	600,2	0,2
Brunizem	12.614,4	4,5
Cambissolo	19.665,1	7,0
Gleis	6.836,5	2,4
Latossolos	48.575,4	17,2
Podzol	763,4	0,3
Podzólicos	62.798,0	22,3
Planossolos	26.843,7	9,5
Plintossolo (laterita hidromórfica)	4.258,3	1,5
Regossolo	53.001,3	18,8
Terras bruna e roxa	24.490,0	8,7
Vertissolo	1.950,9	0,7
Área urbana e água	17.163,2	6,1
Dunas	2.596,6	0,9
Área total	284.057,9	100,0

Fonte: Lopes Assad et al. (2007).

Tabela 2. Área dos diferentes agrupamentos de solos do Estado do Rio Grande do Sul, segundo a quantidade de água disponível para plantas, obtida a partir da reclassificação de mapa digital de solos no milionésimo.

Agrupamento de Solo	Área	
	(km²)	(%)
Tipo 0	78.341,2	27,8
Tipo 1	11.719,8	4,2
Tipo 2	88.737,8	31,5
Tipo 3	88.085,8	31,2
Área urbana e água	17.163,2	6,1
Dunas	2.596,6	0,9
Total	284.057,9	100,0

Fonte: Lopes Assad et al. (2007).

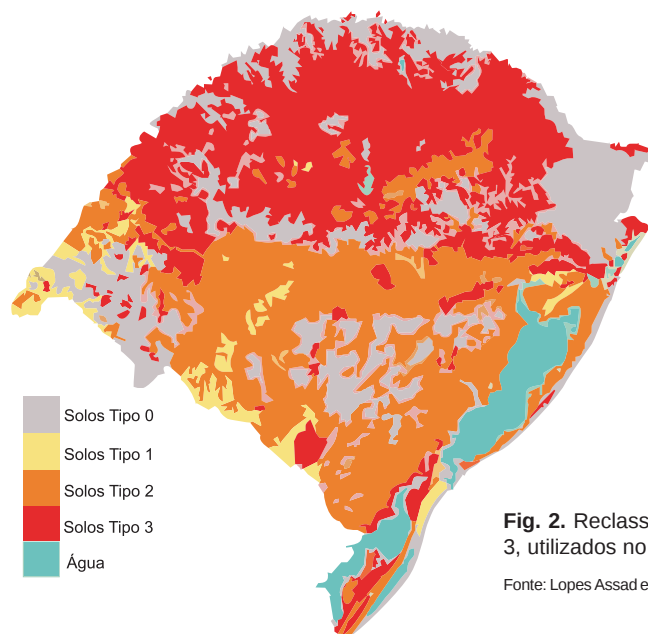


Fig. 2. Reclassificação dos solos, segundo os Tipos 1, 2 e 3, utilizados no Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos.

Fonte: Lopes Assad et al. (2007).

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 de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rondônia, Espírito Santo e Rio de Janeiro.

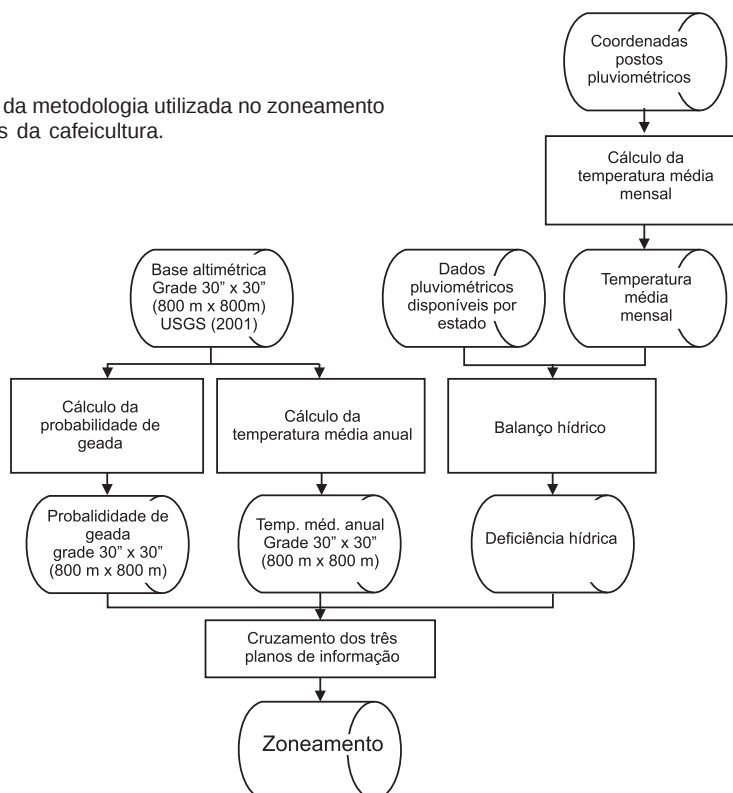
As áreas aptas ao cafeeiro arábica, segundo as necessidades climáticas apresentadas por Camargo et al. (1977), Seção de Climatologia Agrícola (1972) e Instituto Brasileiro do Café (1977; 1986) são aquelas em que:

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

Áreas em que, dos itens acima, 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 os dois outros itens são atendidos, 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 nesses parâmetros, Pinto et al. (2001), Caramori et al. (2001), Sedyiama 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 Fig. 3. A metodologia é baseada no 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.

Fig. 3. Fluxograma da metodologia utilizada no zoneamento de riscos climáticos da cafeicultura.



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 no sistema Agritempo (www.agritempo.gov.br). No caso específico do Estado de São Paulo, esses dados foram depurados e consistidos pelo Cepagri/Unicamp, sendo utilizadas 390 estações, correspondentes a séries homogêneas e uniformes de 1961 a 1990, distribuídas conforme ilustrado na Fig. 4.

Para São Paulo, os valores da temperatura média mensal e anual foram calculados por meio da aplicação das equações propostas por Pinto et al. (1972) à base altimétrica do United States Geological Survey (USGS, 2001), que corresponde a uma grade altimétrica uniforme de 30" x 30" de grau ou 800 m 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.

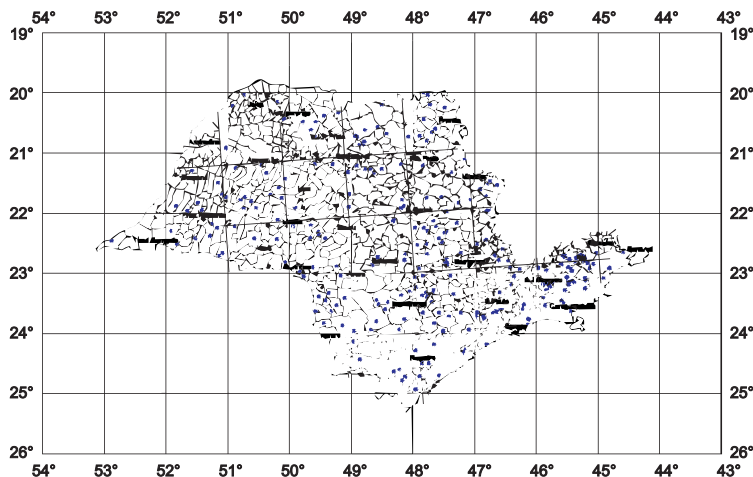


Fig. 4. Distribuição espacial da rede de estações pluviométricas do Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE/CTH/SP) utilizada no zoneamento agrícola. 390 estações de 1961 a 1990.

Fonte: Zullo Júnior et al. (2006).

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).

De acordo com essa metodologia, o potencial atual de cultivo econômico do café arábica, em São Paulo, é da ordem de 39,4 % da área do estado, ou seja, 97.848 km². Além disso, 57.428 km² (23,1 %) correspondem a áreas consideradas restritas por geadas e 39.604 km² (15,9 %) restritas por temperaturas elevadas. Em 706 km² (0,3 %), recomenda-se a irrigação e, em 53.013 km² (21,3 %), a cultura é considerada inapta. A Fig. 5 apresenta o zoneamento climático atual para a cafeicultura no Estado de São Paulo. Metodologia semelhante foi utilizada para a definição do zoneamento do café no Paraná (CARAMORI et al., 2001), em Minas Gerais (SEDIYAMA et al., 2001), em Goiás e no sudoeste da Bahia (ASSAD et al., 2001).

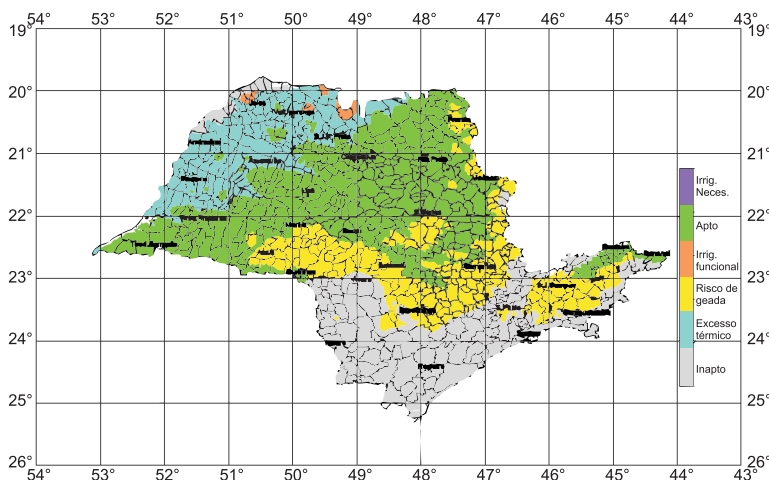


Fig. 5. Zoneamento climático para a cafeicultura no Estado de São Paulo.

Fonte: Pinto et al. (2001)

Metodologia de riscos climáticos para culturas anuais: casos do milho e da soja

Os calendários de plantio que compõem o zoneamento agrícola são revisados e atualizados anualmente com a inclusão de novas culturas e cultivares, o aumento das bases de dados climáticos, a utilização de novas técnicas de interpolação e em função das condições climáticas possíveis na próxima safra. A contínua revisão e atualização do zoneamento agrícola aumenta a precisão dos seus resultados e o torna cada vez mais útil aos agricultores. O zoneamento agrícola está baseado na 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).

A metodologia utilizada no Zarc para grãos e culturas anuais no Brasil é baseada no processamento de balanços hídricos sequenciais, calculados para períodos de dez 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: desenvolvimento inicial (Fase I), crescimento vegetativo (Fase II), florescimento e enchimento de grãos (Fase III) e 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. A Tabela 3 apresenta exemplo de valores dos graus-dias e da temperatura basal utilizados para definir a duração das quatro fases fenológicas para três possíveis cultivares de milho (BRUNINI et al., 2001).

A demanda de água das culturas e os períodos com deficiência ou excesso hídrico são determinados utilizando-se o coeficiente de cultura (Kc) apropriado,

Tabela 3. 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 ($T_{\text{BASAL}} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Até a maturação ($T_{\text{BASAL}} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)
I	862	1.237
II	820	1.190
III	747	1.075

Fonte: Brunini et al. (2001).

que possui uma relação linear com os índices de área foliar (IAF), conforme perfil-padrão apresentado na Fig. 6. 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) e modificado por Vaksman (1990), tem sido utilizado

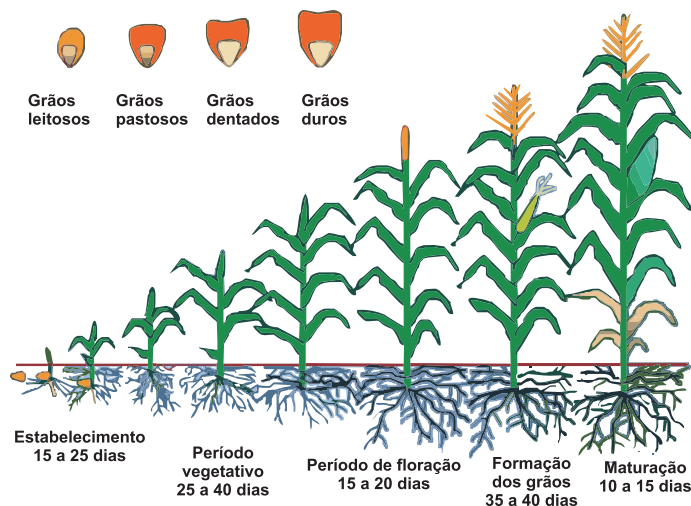


Fig. 6. Perfil típico utilizado para definir o coeficiente de cultura (K_c) em milho.

Fonte: Luiz Marcelo Aguiar Sans, Embrapa Milho e Sorgo.

para calcular o Isna (Índice de Satisfação das Necessidades de Água – razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima), que representa o grau de atendimento hídrico da cultura. Valores de Isna durante a fase crítica (Fase III – fase reprodutiva: florescimento e enchimento de grãos), para uma frequência mínima de 80 % dos balanços hídricos calculados, são espacializados utilizando-se o sistema de informações georreferenciadas (SIG) para determinar a viabilidade de determinado período de plantio: 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 as culturas sob o regime de sequeiro, sendo utilizados três tipos de solos, conforme descrito no item anterior, baseados 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 do que 20 anos.

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), baseada na temperatura média mensal, estimada a partir das equações apresentadas por Pinto et al. (1972), utilizando as coordenadas geográficas (altitude, latitude e longitude) 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). A Fig. 7 apresenta um fluxograma simplificado da metodologia utilizada para as culturas anuais. As Fig. 8, 9 e 10 apresentam os resultados do zoneamento de riscos climáticos para cultivares precoces de soja no Estado de Goiás, para plantios no primeiro decêndio de outubro, novembro e dezembro, respectivamente, em solos do Tipo 3. Observa-se um 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. As Fig. 11 a 14 apresentam os resultados do zoneamento de riscos climáticos para plantios de milho no Estado do Piauí, de novembro a janeiro, em solos dos tipos 2 e 3.

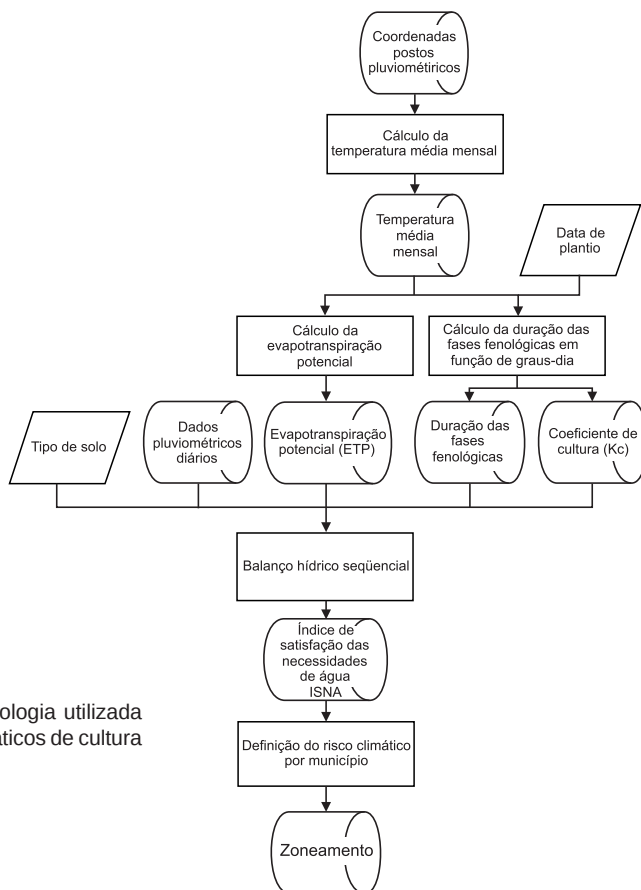


Fig. 7. Fluxograma da metodologia utilizada no zoneamento de riscos climáticos de cultura anual.

Fonte: Embrapa Milho e Sorgo.

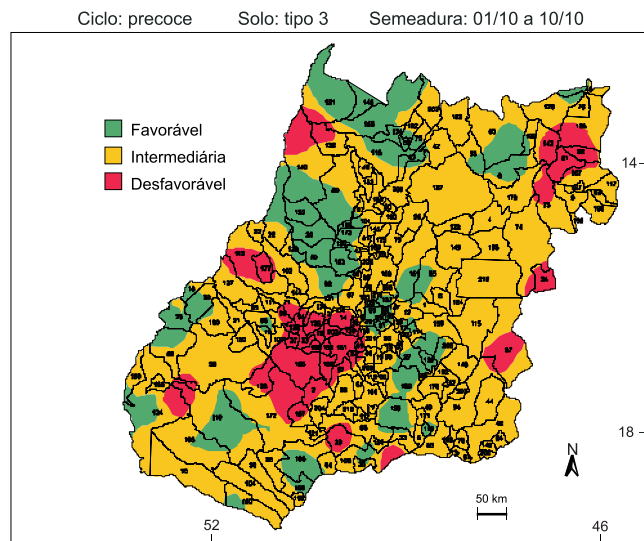


Fig. 8. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da soja no Estado de Goiás, para plantios de cultivares precoces, no primeiro decêndio de outubro, em solos do Tipo 3.

Fonte: Eduardo Delgado Assad, Embrapa Informática Agropecuária.

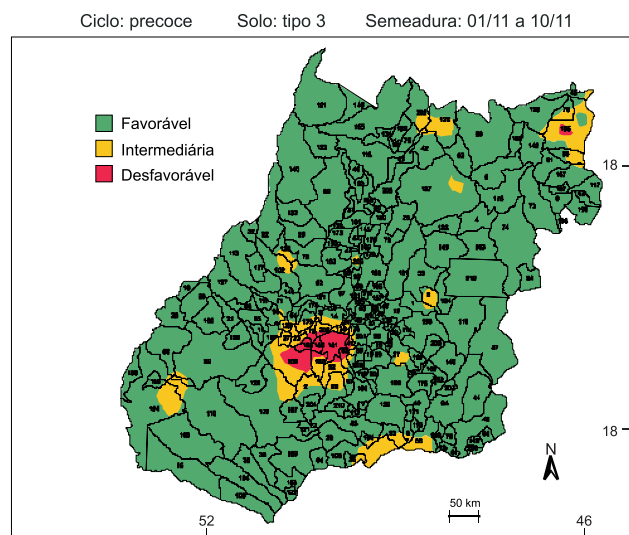


Fig. 9. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da soja no Estado de Goiás, para plantios de cultivares precoces, no primeiro decêndio de novembro, em solos do tipo 3.

Fonte: Eduardo Delgado Assad, Embrapa Informática Agropecuária.

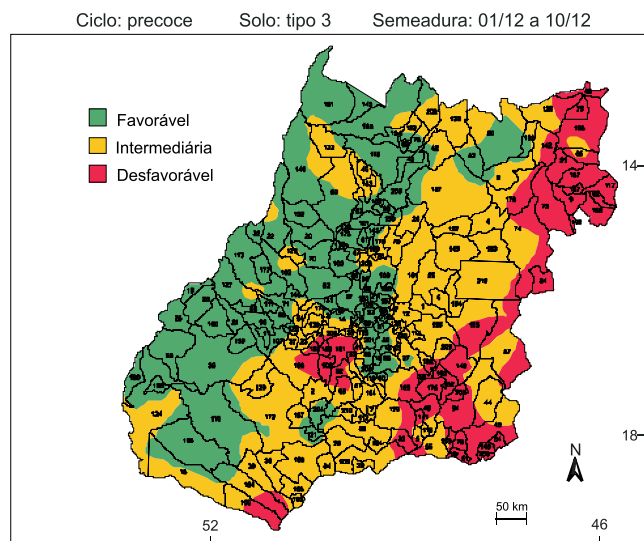


Fig. 10. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da soja no Estado de Goiás, para plantios de cultivares precoces, no primeiro decêndio de dezembro, em solos do tipo 3.

Fonte: Eduardo Delgado Assad, Embrapa Informática Agropecuária.

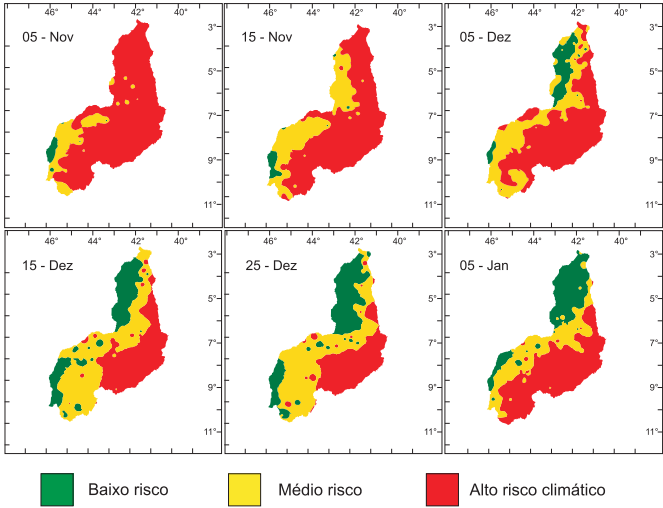


Fig. 11. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da soja no Estado do Piauí, para plantios de novembro a janeiro, em solos do tipo 2.

Fonte: Andrade Junior et al. (2001).

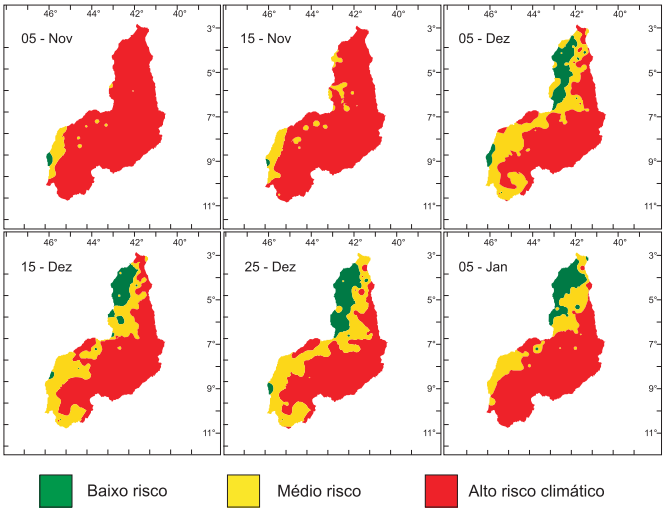


Fig. 12. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da soja no Estado do Piauí, para plantios de novembro a janeiro, em solos do tipo 3.

Fonte: Andrade Junior et al. (2001).

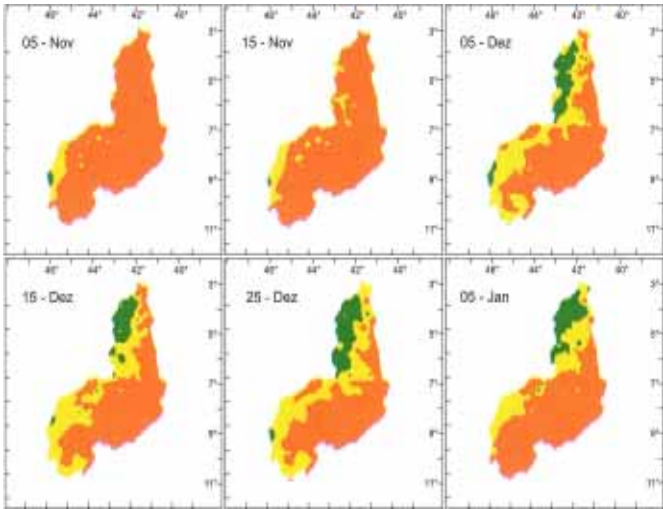


Fig. 13. Zoneamento de riscos climáticos da cultura do milho no Estado do Piauí, para plantios de novembro a janeiro, em solos do tipo 2.

Fonte: Andrade Junior et al. (2001).

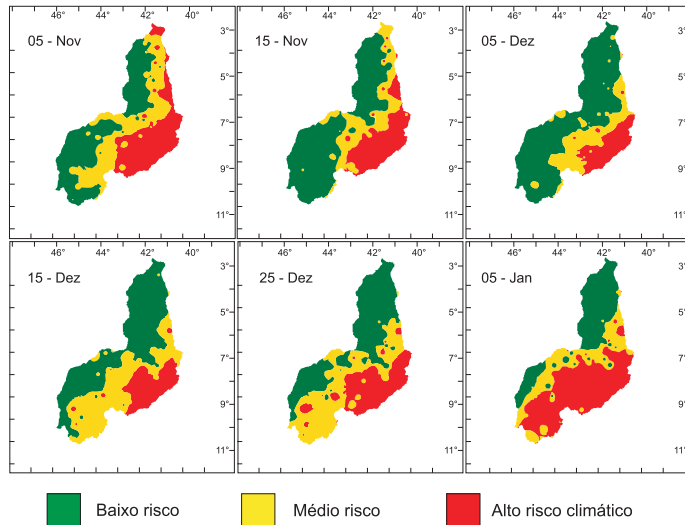


Fig. 13. Zoneamento de riscos climáticos da cultura do milho no Estado do Piauí, para plantios de novembro a janeiro, em solos do Tipo 3.

Fonte: Andrade Junior et al. (2001).

Considerações finais

Como resultados da utilização do Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos pelo Proagro, podem ser destacados os seguintes fatores:

- a) Redução das solicitações de cobertura por eventos climáticos sinistrantes.
- b) Inibição e diminuição das solicitações fraudulentas, uma vez que o acompanhamento sistemático das ocorrências climáticas e o monitoramento das operações securitárias, em todas as suas fases, coíbem a realização de pagamentos indevidos.
- c) Disponibilização de informações gerenciais necessárias à melhor gestão do Proagro.
- d) Disponibilização de informações sistematizadas que possibilitem avaliação permanente dos resultados do zoneamento agrícola e seu constante aperfeiçoamento.
- e) Diminuição dos aportes de recursos financeiros do Tesouro Nacional, da ordem de R\$150 milhões³ por ano, decorrentes da melhor correlação entre os recursos arrecadados e os despendidos pelo Programa.

Constata-se, portanto, que novos rumos surgiram para a seguridade agrícola brasileira com o Programa de Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos, permitindo que o Proagro seja um indutor de tecnologia, abandonando a fase crítica em que se constituiu simples e desastrado pagador de seguros.

Tanto o zoneamento agrícola como o monitoramento das ações do Proagro trazem benefícios para o setor agropecuário brasileiro, como demonstram

³ Aproximadamente US\$ 85 bilhões; valor do dólar em outubro de 2007 = R\$ 1,766.

sobejamente os resultados já alcançados, principalmente no que concerne à diminuição das perdas provocadas por eventos climáticos, ao aumento da produtividade das lavouras consideradas e à recuperação do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária como um verdadeiro instrumento de política agrícola.

Agradecimentos

O zoneamento agrícola de riscos climáticos tornou-se uma política pública graças ao esforço dos seguintes pesquisadores: Gilberto Rocca Cunha, Jaime Maluf, Silvio Steinmetz, Flavio Haertel, Ronaldo Matzenauer, Marcos Wrege, Hugo José Braga, Paulo Henrique Caramori, Jose Renato Bouças Farias, Rogério Remo Alfonsi, Orivaldo Brunini, Maria Leonor Lopes Assad, Luiz Marcelo Aguiar Sans, Silvando Carlos da Silva, Balbino Antonio Evangelista, Edson Eijy Sano, Heleno Bezerra, Fernando Antonio Macena da Silva, Ana Gama, Alexandre Hugo Barros, Malaquias Amorin (in memorian), José Américo Bordini, Maria de Jesus, Therezinha Xavier, Cláudio Lazarotto, Napoleão Esberard, Helio Goppfert (in memorian), Paulo Schubnel Resende Lima, José Tadeu Keller Filho. Os autores também gostariam de agradecer especificamente o dr. Luiz Antonio Rosseti, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que não mediu esforços em transformar o zoneamento agrícola numa realidade nacional.

Referências

ANDRADE JUNIOR, A. S.; SENTELHAS, P. C.; LIMA, M. G.; AGUIAR, M. J. N.; LEITE, D. A. S. R. Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e soja no Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9 , n. 3 (Número Especial: Zoneamento Agrícola), p. 544-550, 2001.

ASSAD, E. D.; 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. 519-526, 2001. (Número Especial: Zoneamento Agrícola).

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. **Memoires et Travaux de IRAT**, n. 13, 1986. 10 p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: Seplan/IBGE, 1986, v. 33, 796 p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: Seplan/IBGE, 1999, v. 35. (não publicado).

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2005. [Online]. Instrução normativa nº 12. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>.

BRUNINI, O.; ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A.

P.; PATTERNIANI, M. E. Z. Riscos climáticos para a cultura do milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 519-526, 2001. (Nº Especial: Zoneamento Agrícola).

CAMARGO, A. P. de; ALFONSI, R. R.; PINTO, H. S. et al. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em áreas do Cerrado, In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., **Bases para Utilização Agropecuária**. Ed. Itatiaia, p. 89-120, 1977.

CAMARGO, M. B. P. de; PEDRO JUNIOR, M. J.; ALFONSI, R. R. Probabilidade de ocorrência de temperaturas absolutas mensais e anual no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 52, n. 2, p. 161-168, 1993.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. de. Teste de uma equação simples para estimativa da evapotranspiração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, Campinas. **Anais ...**, Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 229-244, 1983.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; FARIA, R. T.; 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).

CASTRO, L. H. R.; MOREIRA, A. M.; ASSAD, E. D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos Cerrados brasileiros. In: ASSAD, E. D. **Chuvas nos cerrados: análise e espacialização**. Brasília, Embrapa-CPAC/Embrapa-SPI, 1994. 423 p.

CUNHA, G. R. da; ASSAD, E. D. Uma visão do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 377-385, 2001.

EDELBROCK, C. Comparing the accuracy of hierarchical clustering algorithms: the problem of classifying everybody. **Multivariate Behavior Research**, v. 14, p. 367-384, 1979.

EVERITT, B. S. **Cluster analysis**. 3rd ed. London: Heinemann Educational Books, 1993. 122 p.

FOREST, F. **Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales** Présentation et utilisation du logiciel BIP. Montpellier: Irat-Cirad, 1984. 63 p.

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

GREEN, P. E. **Analyzing multivariate data**. Hinsdale, Illinois: The Dryden Press, 1978. 519 p.

HARTIGAN, J. A. Statistical theory in clustering. **Journal of Classification**, v. 2, p. 63-76, 1985.

HASTENRATH, S.; GEISCHAR, L. Further work of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, v. 6, p. 743-758, 1993.

HIEZ, G. L'homogénéité des données pluviométriques. **Cahiers Orstom, Série Hydrologie**, v. 14, p. 129-172, 1977.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. IBC. **Plano de renovação e revigoração de cafezais - 1977/78**. Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e do Comércio, Gerca, 1977. 45 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. IBC. Clima e fenologia. In: Ministério da Indústria e do Comércio. Gerca. **Cultura do café no Brasil** Pequeno Manual de Recomendações. Rio de Janeiro, p.8-21, 1986.

KAUFMAN, L.; ROUSSEAU, W. **Finding groups in data: an introduction to cluster analysis**. New York: John Wiley & Son, 1990.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. de R.; Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 311-322, 2006.

KELLER FILHO, T. Redução do risco climático na agricultura: uma abordagem probabilística: 1-Metodologia, principais aspectos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SEGURIDADE E ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO MERCOSUL, 1., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília, Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1998. p. 40-47.

LIMA, J. G. S. **Gerenciamento de dados climatológicos heterogêneos em agricultura** Campinas, 2003. 103 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.

LIMA, P. R. S. de R. Redução do risco climático na agricultura: uma abordagem probabilística. 2- Resultados obtidos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SEGURIDADE E ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO MERCOSUL, 1., 1998, Brasília. **Anais.** Brasília, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1998. p. 48-57.

LOPES ASSAD, M. L.; BOSCHI, R. S.; NOMURA, E. ; EVANGELISTA, B. A. ; SILVA, J. S. V. Uso de informações de solos no Zoneamento Agrícola de Risco Climático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., Aracaju, 2007.

LOPES ASSAD, M. L.; SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J. Relação água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. especial, 2001.

MILLIGAN, G. W.; COOPER, M. C. An examination of procedures for determining the number of clusters in a dataset. **Psychometrika**, v. 50, p. 159-179, 1985.

MUÑOZ-DIAZ, D.; RODRIGO, F. S. The North Atlantic oscillation and winter rainfall over the Siberian Peninsula as captured by cluster analysis. **Geophysical Research Abstracts**, v. 5, p. 865-885, 2003.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989. 421 p.

NOBRE, C. A. Ainda sobre a zona de convergência do Atlântico Sul: a importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**, v.3, p.30-33, 1988.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v. 4, p. 957- 988, 1991.

OLIVEIRA, L. L.; VIANELLO, R. L.; FERREIRA, N. J. **Meteorologia fundamental**. Erechim, RS: Edifapes, 2001. 423 p.

PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 78 p.

PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E. D.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R. R.; CORAL, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura no Estado de São Paulo, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 495-500, 2001.

PINTO, H. S.; 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 – CONAI, 1., 1983. São Paulo. **Anais..** São Paulo: Sucesu, SEI, Andei, Abicomp, p. 274-279, 1983.

PINTO, H. S.; TARIFA, J. R.; ALFONSI, R. R. Estimation of frost damage in coffee trees in the state of São Paulo – Brasil. American Meteorological Soc. In: CONFERENCE ON AGRICULTURE AND FOREST METEOROLOGY. 13., Purdue University. W. Lafayette, USA, p. 37-38, 1977.

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: Instituto de Geografia, FFCL, USP, 1972. 20 p. (Caderno Ciências da Terra, 23).

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. São José dos Campos, 1994. 97 p. Tese (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the southern oscillations. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 2, p. 81-91, 1990.

ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001.

SARLE, W. S. **Cubic clustering criterion**. Cary, NC: SAS Institute, 1983. 39 p. (SAS Technical Report A-108).

SEÇÃO DE CLIMATOLOGIA AGRÍCOLA. **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. 81 p.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JR., 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. 510-518, 2001. (Número Especial: Zoneamento Agrícola).

SILVA DIAS, P. L.; MARENGO, J. A. Águas atmosféricas. In: REBOUÇAS, A. C. R.; BRAGA, B.; TUNDIZI, J. G. **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Ed. Escrituras, 1999. Cap. 3. p.75-115.

SILVA DIAS, M. A.; GRAMMELSBACHER, E. A possível ocorrência do tornado em São Paulo no dia 26 de abril de 1991: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.6, p.513-522, 1991.

SOARES, A. M.; SILVA, J. S. V. **Uniformização da legenda de solos do Brasil ao milionésimo**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2005. 32 p. (Documentos/Embrapa Informática Agropecuária; 49).

TARIFA, J. R. **Fluxos polares e as chuvas de primavera-verão no Estado de São Paulo** uma análise quantitativa do processo genético. São Paulo, 1975. 93 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.

THORNTHWAITE, C. W.; MATTER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**, The Laboratory of Climatology, Centerton, NJ, USA, v. 8, n. 1, 104 p, 1955.

UNAL, Y.; KINDAP, T.; KARACA, M. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. **International Journal of Climatology**, v. 23, p. 1045-1055, 2003.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **USGS Eros Data Center**. Distributed Active Archive Center. 2001. Disponível em: <<http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html>>

UVO, B. C. Analysis and regionalization of the Northern European winter precipitation based on its relationship with the North Atlantic oscillation. **International Journal of Climatology**, v.23, p.1185-1194, 2003.

VAKSMANN, M. **Le modèle bipode: logiciel. Bamako: IRAT**, 1990.

VIANELLO, R. L.; ALVES, R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1991. 449 p.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244, 1963.

ZULLO JÚNIOR, J.; PINTO, H. S., ASSAD, E. D. Impact assessment study of climate change on agricultural zoning. **Meteorological Applications** (Supplement) p. 69-80, 2006.