

Algumas Considerações sobre as Abordagens aos Estudos do Solo e do Clima na Agricultura

MITIKO YANAGA UNE *

NO DECORRER da história da agricultura o homem, através do conhecimento empírico, distinguia os solos aptos ao cultivo mas não dispunha de elementos capazes de prever as condições climáticas que garantissem o sucesso ou o fracasso das safras agrícolas, acarretando riscos e incertezas em relação à probabilidade de chuvas e à previsão de geadas e transformando a agricultura em uma das atividades mais complexas e incertas (Heady, Earl, 1954). Daí, então, o grande interesse que vem tendo o estudo das exigências das plantas em relação às limitações impostas pelos controles físicos. Neste sentido têm sido desenvolvidas várias linhas de pesquisas que serão, então, revisadas, abordando-se primeiro o estudo de solos e em seguida o do clima.

A) *Estudos de solos*

Os estudos de solos, relacionados ou não com a agricultura, iniciaram-se a partir da segunda metade do século passado quando a escola russa de estudos de solos desenvolveu um novo conceito de solo. Dokuchaiev e colaboradores definiram o solo como sendo um corpo independente, com uma morfologia característica, resultante da ação conjunta dos fatores de formação (clima, material de origem, relevo e tempo). Em 1900 Dokuchaiev, apoiado neste conceito, publicou a sua classificação final dos solos, dividindo-os segundo a posição, a origem, as condições climáticas, o teor em húmus e a textura do mesmo.

* Geógrafa do IBGE.

A escola americana de estudos de solos onde se destacaram Kellog e seus colaboradores, em 1938, propôs uma nova classificação de solos, dividindo-os segundo a cobertura vegetal que os reveste, o material de origem, o clima e as características químicas. Os cientistas norte-americanos, baseados no progresso dos estudos de solo que se sucederam, emitiram novos conceitos e os ordenaram segundo as suas propriedades físicas e químicas, a gênese e a morfologia, utilizando uma nomenclatura típica composta de radicais gregos e latinos. Esta classificação é conhecida como a 7th *Approximation, a comprehensive system* (Cavedon, Ari 1977).

Paralelamente à identificação e à classificação dos solos, desenvolveu-se uma preocupação com a utilização agrícola e a conservação dos solos, pois quando se estuda o solo visando ao seu aproveitamento para fins agrícolas não interessam apenas o levantamento e o reconhecimento do mesmo, mas, principalmente, a forma de como utilizá-los a fim de evitar uma degradação rápida, conservando por mais tempo as suas propriedades físicas e químicas. Os estudos, neste sentido, evoluíram rapidamente, dando origem aos mapas de aptidão agrícola dos solos ou de classes de capacidade de uso. Neles a terra recebe notas, segundo as limitações que a área apresenta, baseadas nas suas características físicas, as quais impõem restrições ao seu uso agrícola. Estas restrições atuam de uma ou mais formas, afetando o desenvolvimento dos cultivos, a produção agrícola, a qualidade da produção e os custos operacionais para torná-la produtiva.

Os princípios que norteiam a classificação dos solos em classes de aptidão agrícola são dados pelas principais limitações que o solo apresenta. Cinco fatores são identificados no que concerne ao grau de limitação do solo, a saber: a deficiência de fertilidade, a deficiência de água, o excesso de água, a susceptibilidade à erosão e o impedimento à mecanização. Estes fatores, isolados ou conjugadamente, constituem elementos para uma avaliação detalhada, mas servem também para orientar um diagnóstico de aptidão do solo ao seu uso agrícola. São igualmente importantes os fatores climáticos na avaliação do solo, tais como a temperatura, luz, ambiente biológico, a forma de distribuição das chuvas. Interferem ainda as propriedades físicas e químicas que podem agir juntas ou separadamente, como a pedregosidade que se reflete no uso da mecanização do solo. A susceptibilidade à erosão é o resultado da ação conjunta da declividade, permeabilidade, profundidade do solo, tipo de argila, textura, coerência do material, intensidade e distribuição das chuvas.

As classes nas quais os solos são classificados constituem cinco categorias de acordo com a sua aptidão, havendo um aumento gradativo no número e na intensidade das limitações: nula (sem problemas de conservação e fáceis de trabalhar), ligeira (solos com pouca susceptibilidade à erosão e com declives do terreno de 3 a 8%) moderada (moderada susceptibilidade à erosão, com declives de 8 a 20%), forte (muito susceptíveis à erosão, com declives de 20 a 40%) e muito forte (fortemente susceptíveis à erosão, declives superiores a 40% e não podendo ser usados para fins agrícolas), Tomasi, J.M.G., 1971. Não se pode, contudo, esquecer que para a avaliação do potencial agroclimático do solo é preciso levar também em conta os aspectos econômicos e sociais do lavrador que o colocam ao alcance da tecnologia.

Um mesmo tipo de solo pode, dependendo de fatores estritamente locais, ser dividido em classes diversas de aptidão e para cada uma

delas está implícita a viabilidade de remover, minimizar ou controlar as limitações que interferem no uso agrícola, o que constitui o sistema de manejo. Assim, as classes de aptidão agrícola dividem-se em sistemas de manejo primitivo, semi-desenvolvido, desenvolvido e desenvolvido com irrigação, que traduzem, em uma escala ascendente, a utilização do solo mediante o emprego da tecnologia, melhorando gradativamente as suas condições físicas e químicas, que são encontradas em graus e combinações diferentes, como a remoção de pedras, a drenagem de água, correção da salinização em alumínio e sódio, emprego de fertilizantes, terraceamento e irrigação. A associação de aptidão agrícola dos solos com as condições climáticas locais permite orientar as potencialidades agrícolas ao cultivo de lavouras de ciclo vegetativo curto e longo, ou de ambos os ciclos, como também de não indicá-las a nenhum cultivo.

Os primeiros mapas de aptidão agrícola no Brasil foram publicados em 1966 pelo Ministério da Agricultura, na escala de 1:5.000.000, a nível regional, abrangendo o mesmo mapa as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, com os três sistemas de manejo: primitivo, semidesenvolvido e desenvolvido. Seguem-se a estes, já na década de 70, outros mapas de aptidão agrícola e de interpretação para uso agrícola, a nível local, estadual e regional publicados pela EMBRAPA: Iguatemi — MT; Sul de Mato Grosso; Três Áreas Prioritárias da rodovia Transamazônica; Três Marias; o Estado do Paraná que, pela sua intensa atividade agrícola, foi estudado por partes (noroeste, nordeste, oeste e sudoeste); os estados nordestinos (Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco) e, no Sudeste, o Espírito Santo.

O Estado de São Paulo destaca-se das demais Unidades da Federação por contar com uma classificação dos solos baseada na interpretação de fotografias aéreas verticais e na classificação de solos estabelecida por Norton (EUA) e desenvolvida pelo Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos. São distinguidas três categorias de terras de acordo com a sua aptidão, capacidade produtiva e limitações. Para determiná-las procede-se a uma verificação e medição das condições daqueles fatores que limitam a utilização da terra. São sete os fatores limitantes, a saber: profundidade (dividida nas seguintes classes: 2m, de 1 a 2m, 0,50 a 1m, 0,25 a 0,50m e menos de 0,25m); permeabilidade (rápida, moderada, lenta e muito lenta); declive (de 0 a 2%, 2 a 5%, 5a 10%, 10 a 20%, 20 a 40% e mais de 40%); fertilidade aparente (muito alta, alta, média, baixa e muito baixa); drenagem (excessiva, adequada, fraca e muito fraca); pedregosidade (sem pedras, menos de 1% de área, com pedras, 1 a 10% da área com pedras, de 10 a 30% com pedras, de 30 a 50% com pedras e mais de 50% com pedras); erosão (manto original, laminar não aparente, laminar ligeira, laminar moderada, laminar severa, laminar muito severa, voçorocão, sulcos rasos ocasionais, sulcos rasos freqüentes, sulcos rasos muito freqüentes, sulcos médios ocasionais, sulcos médios freqüentes, sulcos médios muito freqüentes, sulcos profundos muito freqüentes, sulcos muito profundos ocasionais, sulcos muito profundos freqüentes e sulcos muito profundos muito freqüentes) — Audi, Raul, 1970.

Ambos os grupamentos tanto o da EMBRAPA como o de São Paulo obedecem à mesma ordem de fatores limitantes, e nos mapas de aptidão agrícola, segundo as classes de manejo, acrescenta-se uma interpretação dos fatores climáticos locais que vinculam o uso agrícola dos solos às lavouras de ciclo curto e/ou longo, aos quais se acrescenta a redução ou minimização dos fatores limitantes mediante o emprego da tecnologia.

Outra área que vem sendo amplamente estudada é a do Projeto RADAM que, inicialmente voltado ao estudo do trajeto da rodovia Transamazônica, passou a dedicar-se a toda área amazônica e com o êxito dos primeiros resultados alcançados estendeu sua área de atuação aos estados nordestinos do Maranhão, Piauí, partes da Bahia, Pernambuco e Ceará e ainda estendeu-se ao nordeste de Minas Gerais. À interpretação das imagens e de outros sensores remotos, que permite fazer um levantamento dos recursos naturais da região, somam-se ainda uma verificação *in loco* e uma pesquisa bibliográfica, o que permite visualizar, juntamente com a geologia, a geomorfologia, a cobertura vegetal, e a pedologia, também o uso potencial dos solos.

Por pretender que os mapas de aptidão das terras e de uso potencial dos solos sejam válidos por um longo período de tempo, as terras são consideradas exclusivamente em função dos fatores físicos locais que, por serem mais ou menos permanentes, não sofrem oscilações intrínsecas. Por esta mesma razão são ignoradas, por exemplo, as avaliações sujeitas a flutuações no tempo, como a distância e a acessibilidade ao mercado.

Naturalmente, quando se procura cultivar alguma espécie vegetal, estas orientações gerais de aptidão das terras não são suficientes, fazendo-se necessário considerar as exigências e necessidades, tolerâncias e limitações de cada cultura. Baseadas em estudos agronômicos, e de acordo com o levantamento das exigências edáficas requeridas pelas plantas, as necessidades podem ser agrupadas em: teor em húmus, declividade do terreno, acidez suportável (pH), profundidade, textura e drenagem do solo, teor em potássio, cálcio e fósforo, aos quais a planta responde com uma produtividade econômica ou não, do ponto de vista antrópico. Contudo, pelo grande número de variedades, nem sempre é fácil determinar limites muito fixos dentro da mesma espécie, pois as pesquisas em estações experimentais procuram descobrir híbridos que apresentem maior resistência às condições físicas adversas e menos sensíveis às pragas. Assim, têm-se para as principais culturas as seguintes exigências levantadas segundo Verdade, F. de C. e Gargantini H, (1973) e a revista *Dirigente Rural* (Anuário de 1974).

CULTURAS	DRENAGEM	TOPOGRAFIA	FERTILIDADE	TEXTURA	FAIXA DE pH TOLERÁVEL
arroz.....	boa	plana	não é exigente	arenosa	(1) 5 a 6
amendoim.....	boa	ondulada	razoável	arenosa	(2) 5,5 a 6,5
algodão.....	boa	ondulada	média e alta	sílico-argilosa	(2) 5,5 a 6,5
mandioca.....	boa	ondulada	razoável	arenosa	(2) 5,5 a 6,7
milho.....	boa	plana	alta	arenosa	(2) 5,5 a 7,5
soja.....	boa	suavemente ondulada	boa	argilo-silicosa	(3) 6,5 a 6,8
trigo.....	boa	suave	boa	areno-argilosa	(4) 5,5 a 6,0

(1) Coelho, Fernando S.

(2) Verdade, F. de C. e Gargantini H,

(3) Franklin R.M. Thomas

(4) *Dirigente Rural*

Os autores tendem, no entanto, a discordar quanto à faixa de pH considerada tolerável e abaixo da qual o vegetal ou reage com uma produtividade economicamente baixa ou não resiste ao meio hostil.

Sabe-se, contudo, que vários fatores são responsáveis pela acidez do solo, como a composição da rocha original, a cobertura vegetal e o teor em húmus e assim, em um mesmo tipo de solo, podem ser encontrados os índices diversos de pH. A acidez de solo corrigida com aplicação de cal constitui, ao lado da correção da fertilidade natural e da irrigação, os poucos itens assinalados nos censos agropecuários do IBGE no tocante à redução das limitações do uso agrícola do solo.

Acrescem-se a estas exigências aquelas que dizem respeito às ofertas locais em termos climáticos, como a temperatura diurna, a distribuição das chuvas e a radiação solar, e cujas necessidades e tolerâncias variam de uma planta para outra e mesmo dentro de uma mesma espécie, pois ocorrem divergências, dependendo das variedades cultivadas.

B) *Estudos de Clima*

Quanto ao clima as pesquisas ainda não têm conseguido, exceto em relação às secas e às geadas, caracterizar as limitações, uma vez que as exigências de temperatura, de radiação solar e de umidade se apresentam bastante elásticas entre as próprias plantas. Estas apresentam limitações climáticas que vão dos mínimos de umidade e de temperatura, necessários ao seu desenvolvimento, passando pelo ótimo e atingindo o máximo suportável por espécie vegetal, aos quais se denomina de limitantes de tolerância. Muitas pesquisas, na realidade, tentam determinar a faixa dentro desse limite no qual a planta responde com uma produtividade como unicamente alta. Segundo Gates (1963), a limitação à expansão e à difusão das culturas em áreas climaticamente inaptas são mais dependentes de fatores de ordem econômica do que propriamente dependentes dos controles físicos, uma vez que se podem criar, em estufa, condições de umidade e de temperatura artificiais. Contudo, mesmo em áreas aptas ao cultivo, verifica-se a ocorrência de vários índices de produtividade, pois as exigências de temperatura e de umidade variam também segundo as várias etapas do crescimento do vegetal cuja adequação correta vai refletir na qualidade e na quantidade produzidas. Assim, assiste-se, ao lado de pesquisas que tentam determinar as exigências climáticas mínimas e máximas das plantas, aquelas que procuram, em uma macroescala, determinar as áreas climaticamente aptas à disseminação das plantas.

Segundo Hogg (1974), os principais controles climáticos que afetam o ambiente para a produção da planta são da seguinte ordem:

primário — energia solar, precipitação e outros métodos de expressar as necessidades de água (macroclima).

secundário — energia advectiva, modificações topográficas.

terciário — condições de tempo favorável, fenômenos isolados causando danos às culturas.

Estas exigências climáticas têm, portanto, merecido a atenção de especialistas dos mais diversos ramos de pesquisas, como biólogos, ecólogos, climatólogos, agrônomos e geógrafos. Dessa forma, as contribuições têm sido volumosas desde o século passado, embora se observe, muitas vezes, óticas diferentes de estudo.

Na linha de pesquisa que visa a determinar as exigências climáticas, a temperatura do ar tem merecido a atenção dos estudiosos. Entre os pesquisadores das latitudes mais altas há uma preocupação maior com

o limite mínimo necessário ao desenvolvimento das espécies. Kinday, por exemplo, apresentou os seguintes limites mínimos: ervilha 4,4°C, aveia 6,1°C, batata 7,2°C, milho 10,0°C, algodão 17,2°C.

Outros pesquisadores, no entanto, têm-se voltado para a determinação dos limites toleráveis das temperaturas ao desenvolvimento das espécies e que por isso mesmo constituem subsídios a zoneamentos agroclimáticos. Segundo a revista *Dirigente Rural* (Anuário de 1974) são as seguintes as condições climáticas médias de algumas lavouras:

CULTURAS	TEMPERATURA MÉDIA	PRECIPITAÇÃO ANUAL (mm)
algodão.....	superior a 20°C	500 a 1.500
cacau.....	23°C	1.500 a 2.000
cana-de-açúcar.....	20 a 24°C	1.200
mamona.....	entre 25 e 30°C	850
soja.....	25 a 35°C	entre 700 a 1.200 durante o ciclo

Estas exigências variam ainda, segundo os pesquisadores, como, por exemplo, no caso da cultura do cafeeiro, para a qual são encontradas as seguintes temperaturas ideais:

Papadakis — entre 20 e 30°C.

Boswell — entre 16 e 27°C.

Dirigente Rural — entre 19 e 21°C.

A evolução dos estudos por parte dos ecólogos e agrônomos levou a detreminar as exigências hídricas e térmicas segundo as várias fases do ciclo vegetativo das plantas. Um dos estudos neste campo é o de Azzi (1954), que estabeleceu uma comparação entre o crescimento do milho com os totais mensais de chuva durante o seu ciclo vegetativo. Este autor, tendo estudado o desenvolvimento do milho com os totais pluviométricos divididos em classes de 5 em 5mm diários de chuva, para 100 estações meteorológicas da Itália, para o ano de 1912, concluiu que a precipitação mínima necessária no período de crescimento era de 46mm. A partir de 46mm a produtividade aumenta proporcionalmente como o aumento da chuva. Em uma escala temporal, Azzi analisa os totais mensais de chuva durante um período de 100 anos, e estabelece a freqüência de probabilidades de ocorrência, para períodos de dez anos, de situações favoráveis e desfavoráveis (por excesso ou por falta) ao cultivo do milho na área de influência da estação meteorológica de Florença.

No Brasil, o Instituto Agrônomo de Campinas, entre outros órgãos, vem também realizando pesquisas com vistas a determinar as exigências dos cultivos nas diversas fases do ciclo vegetativo. Entre estas pesquisas está o trabalho de Arruda, F. B., Mascarenhas H. A. A. e Vieira, em 1976, para o estudo da soja, que apresenta os seguintes resultados: há uma correlação alta e positiva entre o total de chuvas nos períodos do 45.º e 75.º dia após a germinação e entre o 45.º e 90.º dia, entre o 75.º e o 90.º dia, entre o 45.º e o 120.º dia, entre o 45.º e o 135.º dia e entre o 45.º e o 105.º dia e a produção de soja, sendo, portanto, possível fazer-se uma estimativa de produção de grãos com base nas chuvas caídas a partir da 2.ª quinzena de janeiro até o

final da 1.^a quinzena de fevereiro. É possível prever-se, inclusive, uma precipitação ideal de 163mm desde a germinação até 30 dias após, 197mm do 30.^o ao 45.^o dia, de 431mm do 45.^o ao 75.^o dia, 154mm do 75.^o ao 90.^o dia, 120mm do 90.^o ao 105.^o dia, 38mm do 105. ao 120.^o dia e de 99mm do 120.^o ao 135.^o dia. Pesquisas neste sentido têm sido efetuadas para diversas culturas como a do algodão, do amendoim e do café, entre outras, e serviram de paradigma ao trabalho do zoneamento agrícola de São Paulo (1973).

No estudo das exigências climáticas das plantas outros fatores são também considerados, como a ocorrência de geadas — nas latitudes médias e altas — sejam elas esporádicas, tardias ou antecipadas, pois interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas, registrando-se, inclusive, perda das safras agrícolas. Este fato induz os agrônomos a desenvolverem novas variedades capazes de amadurecer dentro da estação livre de geada, que é o período do ano, contando em número de dias, sem ocorrência de geadas e cuja duração tende a aumentar à medida que a latitude decresce (Patersen, 1974). Tem sido observado, contudo, que, de um modo geral, as mudanças bruscas para altas temperaturas parecem ser menos prejudiciais para as plantas que as mudanças para as baixas temperaturas. Essas, de ocorrência esporádica, embora não sejam letais, interferem quase sempre acelerando o desenvolvimento do ciclo vegetativo das plantas, no caso das gramíneas (arroz, trigo e milho), por exemplo, interferem na granação reduzindo as safras agrícolas, como foi observado com relação à safra do trigo de 1977-78, no Rio Grande do Sul, quando houve uma redução das horas de frio.

Importante também em termos de temperatura é a constante térmica, que é a soma de graus centígrados superiores ao limite mínimo de temperatura necessário ao desenvolvimento das plantas. De Fina (1973) apresenta, por exemplo, 2.500°C como constante térmica para o milho e 2.000°C para o trigo. Os pesquisadores das atividades agrícolas nas latitudes médias e altas defrontam-se ainda com um outro problema — redução da radiação solar — que não ocorre nas baixas latitudes. Tendo em vista a necessidade da radiação solar para incentivar a atividade clorofiliana das plantas, foram propostos índices de radiação como sendo o número de dias de sol necessários ao desenvolvimento, florescimento e frutificação das plantas, ou seja, o número de dias luz (Griffith, J. F. 1966).

Entre os elementos climáticos é a possibilidade de chuvas escassas ou abundantes, dispersas ou concentradas, o elemento comum às baixas, médias e altas latitudes. Também os índices de aridez e de umidade vêm sendo objeto de pesquisas em várias partes do mundo e por vários autores: Lang (1915), de Martonne (1926), Koeppen (1931), Thornthwaite (1931, 1948, 1955), Peman (1948), Blaney e Cridle (1950), Walter (1961), Gaussen (1963) e Waller C.C. (1967). Pesquisas têm sido realizadas procurando aplicar estes índices às exigências das plantas cultivadas, como também de utilizá-los visando a limitar as regiões áridas e semi-áridas do mundo. Do ponto de vista climático estes índices constituíram-se em subsídios à classificação dos climas.

De todas as classificações climáticas propostas três delas tiveram ampla aceitação: a de Koeppen (1900 a 1936), a de índices de evapotranspiração de Thornthwaite (1931 a 1955), as genéticas, isto é, segundo a atuação das massas de ar na definição dos tipos climáticos de Flohn (1950) e a de Strahler (1964). A classificação de Koeppen foi

a primeira a avaliar a relação entre a chuva e a temperatura necessária ao crescimento das plantas; daí a divisão em classes segundo as exigências térmicas das formações vegetais naturais e segundo a época e os totais respectivos de precipitação. Thornthwaite, em 1931, introduziu o conceito de eficiência pluviométrica e fez da umidade o fator classificatório fundamental para definir o índice térmico. Em 1948 apresentou a sua segunda classificação onde a eficiência térmica é derivada do valor da evapotranspiração porque esta é por si mesma uma função da temperatura. Além destas, as classificações baseadas na gênese dos climas (regimes de ventos e das massas de ar) têm sido largamente pesquisadas e as de Flohn e de Strahler são as mais conhecidas (Barry R. G. e Chorley R. J. 1968).

No Brasil a classificação climática de Gaussen, de cunho ecológico, que procura através de uma relação entre os dados mensais de chuva e de temperatura delimitar o clima das formações vegetais naturais, foi bastante difundida na década de 60, constituindo-se juntamente com a classificação de Koeppen, em um embasamento de trabalhos climáticos que se sucederam. Em São Paulo, Monteiro, Carlos Augusto F. de (1966) faz uma classificação do clima do Estado de São Paulo baseada na gênese do clima.

Ao mesmo tempo que se tentavam classificar os climas, os ecólogos procuravam, por sua vez, fazer zoneamentos climáticos baseados nas exigências térmicas e hídricas das plantas e nas ofertas climáticas locais. Assim, ao lado das pesquisas que tentam estabelecer os limites toleráveis e o ótimo ao desenvolvimento das plantas em suas diversas fases de crescimento, surgem trabalhos nos quais são aplicados esses resultados a fim de delimitar, com base nas ofertas climáticas locais, as áreas aptas e/ou inaptas a esses cultivos.

Os zoneamentos agrícolas vêm se tornando uma rotina como conclusivos de trabalhos de avaliação do potencial agrícola do solo e do clima. Tem-se observado que há três tipos de abordagens em estudos de zoneamento agroclimáticos, a saber:

a) considerar as condições climáticas da área onde determinada planta é encontrada em estado nativo como sendo o padrão climático ideal à disseminação dessa planta. Cultura do Café *in Variações Climáticas e Flutuação da Oferta Agrícola no Centro Sul do Brasil*, 1972;

b) analisar as condições climáticas da área de alta concentração de um dado cultivo e considerá-las como sendo o padrão climático ideal à sua difusão. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, *in Zoneamento Agrícola e Pecuário do Brasil*, 1966;

c) aplicar as exigências de umidade, de radiação solar e de temperatura de uma dada cultura, testadas em estações experimentais como sendo as ideais a esta cultura. Zoneamento do algodão, *in Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo*, 1974.

Na verdade o que ocorre, muitas vezes, em trabalhos agroclimáticos é a combinação de mais de um tipo de abordagem associando o tipo a + b ou b + c com uma preocupação de estabelecer as faixas toleráveis e ótimas a cada cultivo, tendo em vista as exigências hídricas e térmicas dos mesmos. Entretanto, uma vez que as exigências hídricas e térmicas variam de cultivo para cultivo e se referem exclusivamente ao período vegetativo de cada um em particular, surgem divergências sobre como se avaliar o potencial agroclimático para um conjunto de cultivos com diferentes exigências. Objetivando superar as divergências De Fina

(1954) propôs para a Argentina uma pesquisa baseada na aplicação de questionários em povoados com mais de 20 anos de ocupação, a fim de obter informações sobre 18 cultivos-índices que ele considera serem populares e bastante difundidos, e que apresentam exigências climáticas distintas. Constituem eles uma lista de 12 plantas parênses fanerófitas, divididas em três subgrupos segundo as suas resistências ao frio e 6 plantas anuais:

- a) cacaueteiro, ananás, bananeira e limoeiro — típicas de clima úmido e chuvoso;
- b) ameixeira, oliveira, figueira e videira européia — típicas de clima seco e com umidade suficiente no solo;
- c) noqueira, pessegueiro, pereiro e macieira — intermediárias em exigências hídricas entre os dois primeiros subgrupos.

Os cultivos anuais estão ordenados em forma decrescente de necessidades de duração e intensidade do verão para o amadurecimento dos frutos: algodão, melancia, milho, trigo, aveia e cevada.

Um outro trabalho relacionado ao assunto é o de Papadakis (1966) que apresenta as exigências térmicas e hídricas das plantas e seleciona, nas áreas de temperaturas adequadas a cada cultivo, aquelas áreas ideais ao plantio, através dos índices locais de umidade e seguindo as exigências dos cultivos. Igualmente Sekiguti (1969), apoiado nas condições climáticas ideais ao cultivo do coco, seleciona as áreas potencialmente cultiváveis e estabelece, a seguir, métodos para calcular os índices de temperatura e de precipitação que, juntos dão a nota para determinar o índice climático de cada área. Esses índices são associados com a respectiva produção local de coco/ha e a produção de copra em ton/km.

Sekiguti e Papadakis determinam as potencialidades climáticas de uma área utilizando-se de dados de normais climatológicas sem se preocuparem com as flutuações climáticas. Muitos autores preferem estabelecer uma análise das normais climatológicas. Assim fez Hashemi, F. (1974), ao avaliar o potencial agroclimático para o Irã, procurando, através de dados climáticos para o período de 1961-70, analisar os vários aspectos do clima naquilo que se refere à duração da estação de crescimento, unidades de calor e de frio, média mensal da temperatura do ar e oscilação diurna da temperatura, médias mensais das máximas e das mínimas, precipitação mensal e duração média do período úmido e intensidade mensal da radiação solar. E sugerindo, através da análise desses aspectos parciais do clima, o uso agroclimático potencial do Irã, sem fazer, contudo, indicações.

Ramanath (1973), por sua vez, preocupa-se com as flutuações climáticas que interferem nas safras agrícolas, mormente no que se refere à distribuição e variabilidade da chuva, probabilidade semanal e mensal de ocorrer precipitações de diversas classes de totais de chuva e ocorrência de períodos de estiagem, baseado em uma única localidade na Índia (Bellary), em um período de 100 anos de observações meteorológicas, objetivando avaliar as potencialidades agroclimáticas da área.

A associação da produção agrícola com as condições climáticas é encontrada ainda em outros trabalhos, sendo que alguns deles analisam as flutuações das safras agrícolas associadas às variações climáticas. Maunder (1966) associa os dados climáticos (temperatura média, chuva mensal e sazonal e a radiação solar para 27 estações meteorológicas

na Nova Zelândia) com os de produção agrícola de trigo, aveia, batata, ervilha, milho, cebola, fumo e cevada, correlacionando a produtividade com o desvio padrão da chuva e com as variações encontradas em torno do desvio padrão. Apresenta, inclusive, o significado econômico da interferência do clima em termos de rendimento das lavouras. Analisa a produção de creme de leite por vaca, a produção de lã por carneiro, lã por acre, a produção de maçã e de pera, e encontra nesta pesquisa 18 fatores agrícolas.

No Brasil esta linha da pesquisa ampliada e detalhada foi seguida pela equipe do IPEA (1972), que avaliou a produtividade das lavouras e a flutuação das safras com as chuvas e a temperatura média, durante o ano agrícola, para o período compreendido entre 1947/69, na região abrangida pelos Estados de Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Analisaram-se os dados de produção e de área cultivada a nível de estado e de região, para o período de 1961/69, e a nível de município quando se fizeram necessários ao esclarecimento dos dados globais. Esta pesquisa foi ainda acompanhada do deflacionamento dos preços das safras a fim de se avaliar a interferência do preço na área cultivada e na produção do ano seguinte.

Silva, A. R. do, Pinto, M. M. e Azevedo D. da Costa (1973), ao estudarem o potencial climático do sul de Mato Grosso para a cultura do trigo, analisaram os totais de chuvas caídas no período vegetativo do trigo, de abril a agosto, durante os anos de 1942 a 72, utilizando-se dos dados climatológicos da estação meteorológica de Ponta Porã. As ofertas hídricas foram calculadas como sendo a diferença entre a evapotranspiração potencial (método de Thornthwaite) e a precipitação ocorrida, que representa a precipitação efetiva com os dados de chuva e de temperatura para os períodos de abril a agosto.

No Brasil o balanço hídrico calculado segundo a fórmula de Thornthwaite vem tendo larga aplicação para se avaliar as potencialidades hídricas dos climas com vistas a zoneamentos agroclimáticos. Camargo (1966) aplicou estes índices ao Estado de São Paulo e a partir daí eles têm sido aplicados a outras Unidades da Federação, como: SUDENE (1967), "Zoneamento em bases climáticas das principais plantas cultivadas em Pernambuco"; Estado do Rio de Janeiro (1970), "Plano Agropecuário de Desenvolvimento"; IPEA (1972), "Variações Climáticas e Flutuações da Oferta Agrícola no Centro Sul do Brasil"; IPEAN (1972), "Zoneamento Agrícola da Amazônia"; Mota (1974) "Zoneamento Agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina"; Governo do Rio Grande do Sul (1975) "Estudos Básicos"; Governo do Estado de São Paulo (1975), "Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo". A nível nacional a aplicação do balanço hídrico segundo Thornthwaite é ainda anterior, datando de 1966, como pode ser visto na publicação da SEITEC (1966) "Zoneamento Agrícola e Pecuário do Brasil". Estes índices são aplicados no tocante à umidade e/ou aridez. Com relação à temperatura recorre-se muitas vezes aos dados encontrados em pesquisas agronômicas ou àqueles que espelhem as áreas de maior concentração da lavoura em tela. Determinam-se, assim, as áreas inaptas, marginais ou toleradas e as ótimas a cada cultivo.

O Nordeste que, pela sua posição, conta com uma parte semi-árida no seu território, tem sido objeto de pesquisas de climatólogos para avaliar o seu potencial agroclimático do ponto de vista hídrico, como fez Hargreaves em 1973 e 1974, dedicando-se ao estudo das irregularidades dos totais mensais de chuva. A fim de relacionar a precipitação

com as safras agrícolas, calculou-se índices de umidade baseados tanto na forma da distribuição das precipitações como nos totais de chuva para detectar as exigências de água necessárias a um nível satisfatório de produção. Os índices de avaliação de umidade (MAI, que é a relação entre ocorrência de chuvas e a evapotranspiração potencial) foram calculados sob a fórmula $ETP = \text{fator latitude} \times \text{temperatura média} \times 0,158 \times (100 - U.R.)^{1/2}$ e levaram o autor a classificar o clima do Nordeste do Brasil nas seguintes classes:

MAI	CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA	INDICAÇÃO
todos os meses com MAI entre 0,00 a 0,33...	muito árido	não aptos para cultivos de área úmida
1 a 2 meses consecutivos com MAI de 0,34 ou acima.....	árido	aptidão limitada para cultivos de área úmida
3 a 4 meses consecutivos com MAI de 0,34 ou acima.....	semi-árido	produção possível de cultivos que exigem de 3 a 4 meses de umidade na estação de crescimento
5 ou mais meses consecutivos com MAI de 0,34 ou acima.....	úmido seco	produção possível de cultivos que exigem de 5 a mais meses de umidade

Propôs, ainda, Hargreaves que o MAI fosse adotado como um padrão para classificação de deficiência de água na seguinte ordenação:

- MAI = 0,000 a 0,333 muito deficiente
- MAI = 0,34 a 0,67 moderadamente deficiente
- MAI = 0,68 a 1,00 pouco deficiente
- MAI = 1,00 a 1,33 adequada
- MAI = 1,34 e acima excessiva

Embora as críticas à aplicação da classificação de Hargreaves sejam baseadas no fato de ser a mesma aplicável unicamente a climas semi-áridos e áridos e útil para avaliar as necessidades de irrigação, verifica-se que Papadakis (1966), ao classificar os climas do mundo, utiliza também o índice de umidade como sendo o resultado da divisão de chuva pela evapotranspiração potencial para diagnosticar os meses secos e úmidos. As tentativas para avaliar o potencial agroclimático no Brasil são ainda mais antigas e datam de 1955, quando Alceo Magnanini introduziu os fitoclimogramas do café, do algodoeiro e do trigo *in Condições Geográficas e Aspectos Geoeconômicos da Bacia do Paraná—Uruguai*. Em 1966, no IBGE, Maricato, A.T. baseada no trabalho de Girolamo Azzi, após determinar as exigências hídricas e térmicas dos cultivos em suas diferentes fases da vida vegetativa, monta estes dados em forma de fração ordinária compondo, assim, os fitoclimogramas do fumo, do cacau, da cana e do coco e Bezerra dos Santos, Ruth S. analisa o fitoclimograma da videira. Ambas as pesquisadoras avaliam o potencial agroclimático com relação a estas culturas, extensivo a todo ter-

ritório nacional. Os elementos do clima foram selecionados segundo as condições requeridas pelas plantas nas diversas fases da vida vegetativa. Para a videira, por exemplo, considerou-se a fórmula.

$$\frac{T_i}{P_{ip}} \frac{T_p}{P_v} \frac{T_v}{G_g} = H \text{ onde}$$

- T_i = temperatura de inverno
- T_p = temperatura de primavera
- T_v = temperatura de verão
- P_{ip} = chuvas de primavera
- P_v = chuvas de verão
- G_g = geadas de inverno e de primavera
- H = média da umidade relativa anual

e, mediante o cálculo dos dados dispostos em forma de fração, chegou-se às áreas aptas e inaptas à difusão do cultivo da uva.

Do exposto pode-se concluir que há uma estreita ligação entre a produção agrícola e o manejo dos recursos naturais. Se, por um lado, as diretrizes para definir a aptidão agrícola dos solos encontram-se baseadas no seu potencial, a aptidão climática é, por outro lado, avaliada em índices de situações já ocorridas, prevendo-se, neste caso, as situações médias ou as probabilidades futuras. Como decorrência da incerteza do clima e da flutuação das situações normais do tempo, são necessárias pesquisas a fim de se obter a maior precisão nos índices climáticos calculados a partir de uma longa série de observações meteorológicas, da maior extensão do período dependerá a possibilidade de se calcular uma situação média que se aproxima da realidade local. Fato este que justifica a grande diversidade de estudos climáticos a fim de se aprimorar um modelo agroclimático.

Estes têm sido os principais passos dados no sentido de se estabelecer uma utilização racional dos recursos do solo e do clima. Deve-se considerar que, além destes fatores, interferem outros como os recursos humanos e econômicos em um zoneamento agrícola. Também o exame de mudanças ocorridas quer na dieta alimentar quer na pauta de importações e de exportações de produtos agrícolas contribuem para auxiliar a tomada de decisão no estabelecimento de um modelo ao zoneamento agrícola de uma área, incentivando, indiretamente, entre os cultivos que apresentam melhor adaptação às condições climato-edáficas, aqueles que também satisfaçam os interesses do homem. Se a expansão natural das plantas é fruto da adaptação às condições ambientais, na expansão das plantas cultivadas está implícita também os interesses do homem. Em outras palavras, o efeito de alguns controles físicos são automaticamente limitados quando se dá ênfase aos interesses do homem. No Brasil e mais especificamente no Sudeste, no Sul e mesmo no Centro-Oeste assistiu-se a expansão das lavouras de amendoim, na década de 50, de girassol e de soja nos últimos dez anos, assim como os avanços e os recuos da lavoura algodoeira segundo as oscilações do mercado, o que constitui exemplos elucidativos do caráter dinâmico da aptidão econômica de uma área, razões estas que justificam os trabalhos de análise dos aspectos físicos no caso da substituição dos cultivos objetivando avaliar as ofertas ambientais.

BIBLIOGRAFIA

- ALCOCK, M. B. Harvey, e THOMAS J. — *The Measurement and Utilisation of some Climatic Resource in Agriculture in Climatic Resource* — p. 87-108.
- ARRUDA, F. B, MASCARENHAS, H. A. A. e VIEIRA, S. R. — Efeito hídrico na produção da soja — n.º 38 do Instituto Agronômico, Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo — 24 p. — Campinas, 1976.
- AZZI, Girolamo — *Ecologie Agricole* — 428 p. Libraire J. B. Bailliére et Fils Paris, 1954.
- BARRY, R. G. e CHOLEY, R. J. — *Climatic Classification in Atmosphere Weather and Climate*, 379 p. Methuen e Coltd, 1968, Londres.
- BEZERRA dos Santos, RUTH S. — Fitoclimograma esquemático da videira no Brasil, p. 113-128 — *Rev. Bras. Geografia*, ano XXVIII, n.º 2, abr./jun., 1966, Rio.
- CAMARGO, A. P. de — Zoneamento da aptidão climática para a cafeicultura de arábica e robusta no Brasil, *in Recursos Naturais, Meio Ambiente e Poluição* — Vol. 1 — p. 67-76 — SUPREN — IBGE — Rio, 1977.
- CAVEDON, Ari D. — Mapeamento do solo — Apostilas do curso de metodologia em recursos naturais, ministrado pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE) IBGE, 1977, Rio.
- CRITCHFIELD, Howard J. — *Climate and Agriculture in General Climatology*, 420 p. Prentice-Hall, INC, New Jersey.
- DEPARTAMENT of Agriculture — *Resources Agricultural Land* — United States, 107 p. 1953.
- FERREIRA, R. C. — Zoneamento Agrícola, *in revista A Lavoura* — mar./abr. 1970, Rio.
- DE FINA, A. R. e RAVELO, A. A. C. — *Climatología Y Fenología Agrícolas*, 281 p. Editorial Universitária de Buenos Aires, 1973, Buenos Aires.
- FUKUI, E. — Climate and Agricultural Land Use in Japan, p. 1-12 in *Japanese Progress in Climatology* — March 1969, Tokyo.
- GALEGO, Luci P. — *Climatologia in Recursos Naturais, Meio Ambiente e Poluição* — p. 59-66 — volume 1 — SUPREN, IBGE, 1977, Rio.
- GATES, E. S. — *Meteorology and Climatology* — 225 p. George G. Harrap — 3.ª edição 1965, Londres.
- Governo do Estado do Rio Grande do Sul — *Zoneamento Agrícola* — vol. 2 — 303 p. — 1975, Porto Alegre.
- Governo do Estado de São Paulo — *Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo*, 165 p. — 2 volume — 1974, São Paulo.

- GRIFFITHS, J. F. — *Applied Climatology — an Introduction* — 117 p. — Oxford University Press — 1966, Londres.
- HARGREAVES, G. H. — *Climatic Zoning for agricultural production in Northeast Brasil* — 6 p. — 1974 — Utah State University, Logan, Utah.
- *Precipitation dependability and potentials for agricultural production in Northeast Brazil*, 123 p. — 1974 — Utah State — University — Logan — Utah.
- *Water requirements manual for irrigated crops and rainfed agricultural* — 40 p. — 1975 — Utah State University — Logan Utah.
- HARRIS, D. R. — *The Ecology of Agricultural Systems in Trends in Geography. An Introductory Survey* — Pergamon Press, 1966.
- HEADY, Earl O. — *Economics of Agricultural Production and Resource Use*, Prentice-Hall. Englewood Cliffs, 1952, New York.
- HEWSON, E. W. e LONGLEY, R. W. — *Meteorology Theoretical and Applied Agriculture*, 468 p. — John Wiley e Sons Inc. 1951, New York.
- HOGG, W. H. — The Northern Limit of Agriculture in Western Canada, in *Climatic Resources* — p. 121-133 — editado por Jame A. Taylor David e Charles — Londres, 1974.
- IPEA — *Variações Climáticas e Flutuações da Oferta Agrícola no Centro-Sul do Brasil* — 2 volumes, 419 p. 1972, Brasília.
- IPEAN — Zonamento Agrícola da Amazônia — *Boletim Técnico*, p. 1-153 — n.º 54 — 1972, Belém.
- MAKAY, G. and others — The Agricultural climate of Saskatchewan — 18 p. Meteorology Branch, Department of Transport, 1967, Toronto.
- MARICATO, A. T. — Alguns fitoclimogramas tropicais — p. 3-18 — *Rev. Bras. Geog.* — ano XXVIII — n.º 1 — jan/mar — 1966, Rio.
- MAUNDER, W. J. — *Climatic Variations and Agricultural Production in New Zeland* — p. 55-69.
- MOTA, Fernando S. da — *Meteorologia Agrícola* — 376 p. — Gráfica Beneti Ltda — 1975, São Paulo.
- ; BERISDORF, M. I. C.; ACOSTA, M. Y.; MOTA, S. A. e WESTPHALEN, S. L. — *Zonamento Agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*, EMBRAPA — 1974, Pelotas.
- NIMER, Edmon — Os fatores meteoroclimáticos e os processos naturais do meio ambiente, in *Recursos Naturais, Meio Ambiente e Poluição* — p. 55-88 — vol. I — SUPREN — IBGE — 1977, Rio.
- PAIVA, R. M. SCHATAN, S. e FRU C. F. T. de — *Setor Agrícola do Brasil* — 442 p. — Editora Forense Universitária Ltda. — 1976, Rio.

- PAPADAKIS, Juan — *Agricultural Potencialities of World Climates*, 70 p. — editado pelo autor — 1977, Buenos Aires.
- PEACOCK, J. M. e SHEEHY, J. E. — The use of climatic information in the classification of agricultural and horticultural land in *Climatic Resources*, p. 109-120 — editado por James A. Taylor David e Charles — Londres, 1974.
- PRANDINI, F. L., GUIDIANI, G. e BREHS Sandor, A. — *Geologia Ambiental ou de Planejamento* — p. 31-57 — Seleção de Textos, A.G.B. 1977, São Paulo.
- Projeto RADAM — *Levantamento de Recursos Naturais — Zoneamento Agrícola*, vols. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 — Ministério das Minas e Energia, Rio.
- REIS, Antonio Carlos — *Zoneamentos climáticos das principais plantas cultivadas em Pernambuco* — Convênio SUDENE — SAIC — 36 p. — SUDENE — Recife, 1967.
- SAMPAIO Ferraz, J. de — *Meteorologia Brasileira* — 580 p. — Cia. Editora Nacional — 1934, São Paulo.
- SEITEC — *Zoneamento Agrícola e Pecuário do Brasil* — 140 p. 1966, Rio.
- SEKIGUTI, T. — Climatic estimation of potentially cultivable area for coco-palms in the world — *Japanese Progress in Climatology* — p. 1-8 — nov. 1969, Tokyo.
- SILVA, A. R. da, PINTO, M. M. e AZEVEDO, D. C. — Clima do sul de Mato Grosso e a cultura do trigo. *Pesquisa Meteorológica*, n.º 1 — Ministério da Agricultura — 1973, Brasil.
- SYMONS, L — *Agricultural Geography* — 283 p. — b. Bell e Sons Ltd — 1972, Londres.
- TAAFE, Edward J. — A visão espacial em conjunto — p. 5-27 — *Bol. Geográfico* — n.º 247 — IBGE — 1975, Rio.
- TOMASI, D. M. G. e outros — Aptidão agrícola dos solos do sul do Estado de Mato Grosso — 72 p. — *Bol. Técnico* — n.º 19 — Ministério da Agricultura — 1971, Rio.
- WALLEN, C. C. — Aridity definitions and their applicability. *Geografiska Annaler* — p. 367-384 — 49 A (1967) 2-4, Estocolmo.
- WEITZR e ROBACH, A. — *Desenvolvimento Agrícola* — 474 p. — APEC — Editora S.A. — 1970, Rio.