

## **Zoneamento Edafoclimático**

---

*Carlos Alberto Flores*  
*José Maria Filippini Alba*  
*Eliseu Weber*  
*Heinrich Hasenack*  
*Eliana Casco Sarmento*

### **Zoneamento Edáfico (Solos)**

#### **Características edáficas importantes na definição da escolha da área para implantação do canavial**

A cana-de-açúcar é uma gramínea semiperene, de sistema radicular fasciculado e muito dependente das condições físicas e químicas dos solos até a profundidade de 80-100 cm. Nos primeiros dois anos de cultivo, sua produtividade está mais relacionada às características químicas e físicas dos horizontes superficiais do solo e do manejo agrícola (calagem e adubações). Após o terceiro corte, as características dos horizontes subsuperficiais influenciam mais a produção e produtividade da cultura (maior exploração do solo – maior disponibilidade hídrica), a estabilidade da produção e a produtividade da cultura.

Portanto, a disponibilidade de água nos ambientes produtivos é um dos fatores que mais interferem no crescimento e desenvolvimento da cultura. Vasconcelos (2002) relata que em condições de déficit hídrico,

há redução do crescimento radicular. Nessa condição, a produtividade pode reduzir-se significativamente mesmo em solos com horizontes férteis abaixo da camada arável, se ocorrer forte limitação hídrica em estádios de desenvolvimento que requerem maior demanda da cultura por água.

Assim, três fatores são considerados na disponibilidade de água para a cana-de-açúcar: o solo, o clima e a planta. Portanto, a interação solo e clima em relação à disponibilidade hídrica para a cultura definem as diferenças de produtividade dos diferentes ambientes de produção. Ou seja, sendo a oferta hídrica pelo regime climático e/ou retenção de água no solo maior ou menor, respectivamente, será a produtividade da cultura. Quanto à planta, deve-se considerar seu ciclo vegetativo conjugado com a programação do plantio, ajustando-se os meses em que ocorrerá o período de maior demanda por água (fase de desenvolvimento vegetativo). A melhor estratégia é procurar fazer coincidir o mês de maior demanda hídrica com os períodos mais úmidos do ano, ou recorrer à irrigação suplementar, reservando-se os meses de déficit hídrico para a fase de maturação da cultura e a sua colheita.

Características intrínsecas e extrínsecas de cada classe de solo, tais como sequência de horizontes no perfil, tipo de horizontes superficial e subsuperficial, transição entre horizontes, profundidade efetiva, textura, estrutura, susceptibilidade à erosão, infiltração, permeabilidade, capacidade de armazenamento de água, drenagem e disponibilidade de nutrientes, devem ser levadas em conta juntamente com o relevo em que ocorrem e a presença de pedregosidade e/ou rochiosidade quando da avaliação do potencial desses para uso com a cultura da cana-de-açúcar. Essas características que lhes são próprias são herdadas em parte do material que lhes deu origem – “rocha-mãe” –, mas também do clima da região onde ocorre, condicionado pelo relevo com a interação com os organismos num determinado período de tempo.

### **Parâmetros edáficos**

Devem ser abordados vários aspectos relacionados aos solos ocorrentes na região a ser avaliada. Para tanto, julga-se conveniente agrupá-los por semelhanças (classe de solos, tipos de horizontes, drenagem, textura, condutividade hidráulica, suscetibilidade à erosão, saturação por bases e relevo), além de outras características acessórias, como: caráter abrupto, plíntico, planossólico, gleico, fase pedregosa, etc. Características essas de grande relevância quando da interpretação dos solos para uso principalmente na agricultura. Uma vez agrupados, os solos são analisados em relação às principais exigências de cada uma das culturas propostas, cana-de-açúcar no caso, através do uso de um quadro-guia.

De maneira resumida, os solos mais adequados para o cultivo de cana-de-açúcar são aqueles de moderadamente a fortemente drenados, isto é, solos com textura média em que a água é removida rapidamente do solo ou ainda aqueles argilosos com permeabilidade lenta no solum (horizontes superiores não consolidados), que permanecem umedecidos durante algum tempo e podem apresentar-se mosqueados na parte inferior do horizonte B. O mosqueado é representado pela ocorrência de manchas escuras imitando "moscas". A profundidade efetiva, que se refere ao conjunto de horizontes onde há circulação de água, deve ser superior a 50 cm, sendo que acima de 100 cm derivará em melhor produtividade. A ocorrência de sequência de horizontes A-B-C-(R), sendo A e B não consolidados, C com estrutura lembrando a rocha mãe ou presença de seixos (fragmentos de rocha superiores a 6 cm de diâmetro) e R a rocha de base (rocha compacta), que poderá ser ou não o material de procedência. A composição do solo pode variar de textura média a muito argilosa, mas neste último caso para argila 1:1, isto é argila de baixa atividade (pouca troca de cátions), também conhecida como argila caulínica. Solos argilosos 2:1, de alta atividade, siltosos ou arenosos não são recomendados. O relevo deverá ser de plano a moderadamente

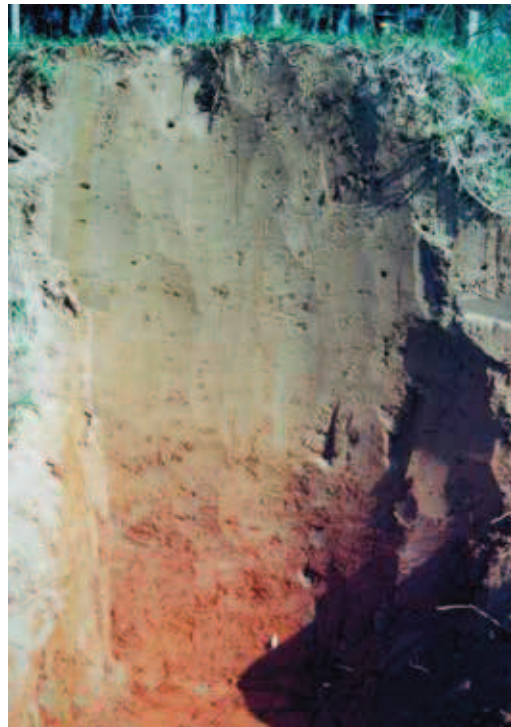
ondulado, o que significa variação de declividade de 0% a 13%, principalmente para agricultura mecanizada. Nunca acima de 45% por aspectos de proteção ambiental. A fertilidade poderá ser baixa, média ou alta, lembrando que, se for muito baixa como único parâmetro negativo, é possível a correção por via tecnológica, elevando a aptidão para “recomendável” depois da correção (classe identificada como PR rf). Finalmente, o percentual de pedras (seixos, blocos e calhaus) ou rochas (afloramentos) deverá ocupar menos de 3% da lavoura.

Maior detalhamento se apresenta no texto à continuação.

### **Sequência e mudança textural abrupta de horizontes**

A mudança textural abrupta é um dos atributos diagnósticos dos solos de maior relevância do ponto de vista agrônomo, pois indica a presença de horizontes com comportamento físico contrastante, especialmente o relacionado à dinâmica da água e enraizamento das plantas (Figura 1).

Em geral, os solos com esse atributo apresentam horizonte A de textura arenosa ou franco-arenosa e elevada condutividade hidráulica, em decorrência da grande quantidade de macroporos. O contrário ocorre no horizonte B, que lhe segue. Neste, há predominância de microporos sobre os macroporos, em geral, associada a uma redução da porosidade total, determinando uma condutividade hidráulica acentuadamente menor do que a do horizonte suprajacente (A).



**Figura 1.** Exemplo de Argissolo Vermelho espessarênico.

A drástica redução da condutividade hidráulica saturada que ocorre no topo do horizonte B determina e caracteriza esses solos. A textura mais arenosa do horizonte A determina uma rápida infiltração e percolação da água da chuva até que o horizonte B seja atingido, quando a velocidade do fluxo descendente da água é drasticamente reduzida. A redução da infiltração provoca acúmulo da água que se acumula na superfície do solo, favorecendo a formação de enxurradas. Em consequência temos dois processos: a perda de coesão entre as partículas do solo e o fluxo lateral entre a base do horizonte superficial e o topo do horizonte B, criando aí um ambiente mais redutor. Dependendo da profundidade em que esse fenômeno ocorre – excesso de umidade – poderá haver efeitos nocivos ao

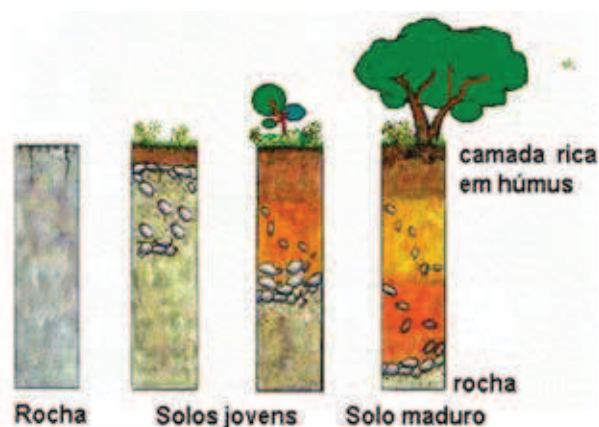
desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA, 2005). As classes conforme a sequência de horizontes consideradas se apresentam na Tabela 1.

**Tabela 1.** Classes conforme a sequência de horizontes.

Classe	Sequência de horizontes	Característica do solo
Preferencial	A – B – C	Sem gradiente textural
Recomendável	A – B – C – R	Pequeno gradiente textural
Pouco recomendável	A – C – R	Grande gradiente textural
Não recomendável	A – R	Contato lítico

Fonte: Oliveira (2005).

Na Figura 2 se ilustram as condições mencionadas acima, as duas colunas à esquerda do leitor representam condição Não ou Pouco Recomendável. Observe-se a maior produtividade das colunas à direita do leitor, devido à maior capacidade de armazenamento de água e nutrientes.

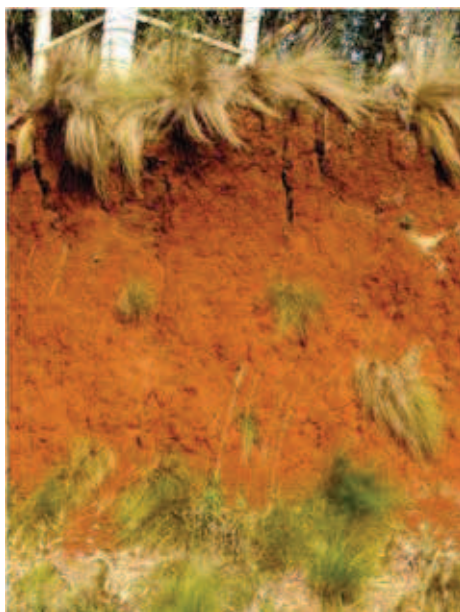


**Figura 2.** Sequências de horizontes: A-R, A-C-R, A-B-C-R e A-B-BC-C-R. Fonte: <https://marianaideiasforadacaixa.files.wordpress.com/2010/10/camadas-horizontes-do-solo.jpg>

**Porosidade (permeabilidade)**

O solo é constituído por partículas de vários tamanhos, desde muito pequenas, como as de argila (tamanho  $<0,02\text{mm}$ ), até as de tamanho dessimétrico, como os cascalhos, e as muito grandes, como os matacões. O volume de espaços vazios existentes entre as partículas individuais e agregados constitui a porosidade do solo, e esta é que determina a capacidade de armazenar e transmitir líquidos e gases. O volume e o diâmetro dos poros, as formas e a tortuosidade desses são de grande importância, pois afetam diretamente o fluxo interno dos gases e da água, bem como o armazenamento dessa pelo solo.

Os dados de granulometria dos horizontes, juntamente com a cor (Figura 3), possibilitam inferir, respectivamente, a porosidade do solo e sua permeabilidade respectivamente. Poros grandes e médios são importantes, respectivamente, na aeração e infiltração de água e na condução dessa através do solo; os de tamanho pequeno são importantes no armazenamento da água (IBGE, 1990). Considerando o material de origem, uma rocha compacta como o granito apresenta pequena porosidade, inferior a 1,5%; já uma rocha sedimentar como o arenito possui porosidade acima de 10%, sendo ela superior a 15% para sedimentos não consolidados (LEINZ; LEONARDOS, 1977).



**Figura 3.** Exemplo de Latossolo Vermelho.

Como a capacidade do solo de armazenar e transmitir líquidos está diretamente relacionada com a geometria do sistema poroso, considera-se que, quanto maior o diâmetro dos poros, maior a permeabilidade interna. Portanto, solos de textura arenosa apresentam boa permeabilidade interna, e pequena capacidade de retenção de água, por apresentarem predominância de poros com tamanhos médios e grandes. Solos argilosos intemperizados, ricos em óxidos de ferro e alumínio (Latosolos em geral), apresentam porosidade total em torno de 65%, o que também lhes confere boa permeabilidade. Por outro lado, solos argilosos, com altos conteúdos de argilas 2:1 (esmectitas) e pouca matéria orgânica, como os Vertissolos, quando úmidos apresentam baixíssima permeabilidade, pois nesse há predominância de microporos, além de baixa porosidade total. Vale destacar ainda a falsa ideia de que quando esses solos estão secos apresentam alta condutividade hidráulica. Tal



fato deve-se ao grande número de fendas que se formam neles nessas condições, mas apenas nesse caso.

Como exemplo, Oliveira (2005) menciona que, entre os Argissolos, pode-se encontrar solos com seção arenosa pouco espessa (20-30 cm de horizonte A+E de textura arenosa), apresentando permeabilidade alta, seguida de horizonte B (textura argilosa) de pouca permeabilidade, até solos que apresentam a mesma permeabilidade nessas duas seções, mas cujo horizonte B situa-se a 150 centímetros ou mais de profundidade. Considerando as mesmas condições de clima e de relevo, o comportamento hídrico desses dois tipos de Argissolos será completamente diferente, apesar de ambos terem sido identificados como de permeabilidade rápida no horizonte superficial e lenta na subsuperficial. Essas observações, entre muitas outras, tais como léptico, litoplântico, abruptico, plânico, sódico, fragipânico, ressaltam a necessidade de um acurado conhecimento do comportamento do solo como um todo, e deixam evidente a necessidade de considerar-se não apenas a camada superficial quando se trata de estabelecer critérios de manejo baseado em seu comportamento hídrico. É importante ainda considerar, nessas interpretações, os fatores climáticos regionais, assim como o fato de que o fluxo de água interna do solo se inicia pela entrada de água na superfície dele (infiltração), a qual está diretamente relacionada com a porosidade que o solo apresenta na superfície. Exemplo de classes de permeabilidade na Tabela 2.

**Tabela 2.** Classes de permeabilidade do solo adaptadas do sistema Brasileiro.

Classe	Fluxo (cm.h-1)	Características do solo
Muito lenta	< 0,15	Solos argilosos, pouco porosos: Gleissolos, Vertissolos, Planossolos Nátricos.

Classe	Fluxo (cm.h-1)	Características do solo
Lenta	0,15 – 0,50	Solos argilosos. CTC elevada: Planossolos
Moderadamente lenta	0,50 – 1,5	Solos argilosos. CTC elevada e média: caracteres vértico, planossólico, abruptico.
Moderada a Moderadamente rápida	1,5 – 15,0	Solos argilosos porosos e de textura média.
Rápida	15,0 – 50,0	Solos de textura média e arenosa.
Muito rápida	> 50,0	Solos muito arenosos e/ou cascalhentos.

Fonte: Serviço de Conservação de Solos, U.S.

\* A classe de drenagem de um solo é comandada pela permeabilidade de seu horizonte menos permeável.

### Profundidade efetiva

A profundidade efetiva refere-se à profundidade máxima na qual as raízes penetram no solo em número razoável, sem impedimento de qualquer natureza, proporcionando às plantas suporte físico e meio para absorção de água e nutrientes, além de ar às mesmas. Nem sempre a profundidade efetiva se limita à profundidade do solum (A + B), podendo ultrapassá-lo (Figura 4), principalmente quando o material de origem dos solos é mais facilmente intemperizável e/ou muito fraturado (basalto, arenito, etc).



**Figura 4.** Exemplo de Cambissolo Háplico.

Os fatores que determinam a livre penetração das raízes no solo podem ser de ordem física ou química. Entre os físicos temos o contato lítico, o horizonte litoplântico e o duripã. Também o fragipã, a compactação de horizontes subsuperficiais, a presença de horizontes adensados ou de cascalheiras espessas podem restringir o desenvolvimento das raízes. Tanto o fragipã como os horizontes compactados ou adensados têm sua penetrabilidade ao sistema radicular associado à condição de umedecimento do perfil.

Entre as barreiras químicas, a presença do alumínio ( $Al^{3+}$ ), manganês ( $Mn^{2+}$ ) e deficiências nutricionais, especialmente de fósforo (P) e cálcio ( $Ca^{2+}$ ), são muito citadas na bibliografia.

A Embrapa (SISTEMA, 1999) assinala, além do contato lítico, a presença de lençol freático permanente entre os critérios definidores de classes de profundidade do solo, a qual a rigor não constitui um impedimento físico ou químico, mas sim fisiológico.

No caso da profundidade efetiva, os Neossolos Litólicos (Figura 5), juntamente com os solos com caráter lítico, apresentam, portanto, sérias limitações para as plantas, especialmente as permanentes, devido ao pequeno volume do solo explorado por unidade de área.



**Figura 5.** Exemplo de Neossolo Litólico.

Quando as plantas não conseguem fazer penetrar seu sistema radicular em profundidade, tombam com facilidade pela falta de ancoragem. Mesmo em regiões relativamente úmidas, essa limitação pode se manifestar com relativa intensidade, porém sendo muito mais restritiva nas regiões secas. Muitos desses solos são classificados como eutróficos, mas a reserva de nutrientes por unidade de volume é baixa, além de serem muito susceptíveis à erosão. Os solos que apresentam o caráter léptico associado ao contato lítico apresentam

as mesmas limitações, embora com menor intensidade. As classes de profundidade efetiva utilizadas se apresentam na Tabela 3.

**Tabela 3.** Classes de profundidade efetiva do solo.

Classe	Profundidade (cm)
Muito profundo	> 200
Profundo	$100 \leq 200$
Pouco profundo	$> 50 \leq 100$
Raso	$\leq 50$

Fonte: SANTOS (2006).

### Textura

A textura, uma das mais importantes características físicas do solo, foi considerada por relacionar-se diretamente com a infiltração e capacidade de retenção de água, permeabilidade do solo, capacidade de retenção e troca de cátions, arabilidade do solo e suscetibilidade à erosão. As classes de textura aqui consideradas correspondem aos grupamentos texturais constantes em SANTOS (2006), com modificações, e são: arenosa, média argilosa (1:1), muito argilosa (1:1), argilosa (2:1), siltosa e orgânica. A expressão orgânica foi atribuída aos solos que apresentam constituição predominantemente orgânica.

### Relevo

Como mencionado, nas diretrizes do zoneamento, foi estabelecido que as áreas para expansão do cultivo de cana-de-açúcar deverão utilizar colheita mecânica. Atualmente, as colheitadeiras disponíveis no mercado são adaptadas apenas a terrenos com declividade máxima de 12%. Essa orientação implica a exclusão de terras de

maior declividade, independentemente de seu potencial produtivo relacionado a outras características de solos. No presente trabalho, optou-se pela declividade de 13%, em razão das fases de relevo em levantamentos mais detalhados de solos utilizarem essa como limite para relevo moderadamente ondulado.

Embora as cartas de solos informem o relevo das unidades taxonômicas, optou-se por utilizar um modelo de elevação do terreno para avaliar a sua declividade, como forma inclusive de melhorar a qualidade das informações pedológicas, ao excluir das unidades de mapeamento dos mapas pedológicos, as associações relacionadas ao relevo, em face de escala estratégica dos mapas utilizados.

Assim, os mapas de declividade foram gerados a partir da junção de DEMs em mosaicos de 5 x 5 graus da versão SRTM-3 (JARVIS et al., 2008). As imagens foram importadas para um programa específico, em que foram elaborados mapas de declividade em percentagem, sendo gerado um mapa contendo três classes de declividade abaixo de 13%: 0-3%, 3-8% e 8-13%. A partir dessa base foram gerados mapas para o Estado do Rio Grande do Sul.

Sua ação se reflete diretamente sobre o clima do solo e sobre a dinâmica da água, tanto a superficial como a que transita no interior do solo. A ação sobre o clima do solo se dá diretamente, através da incidência diferenciada da radiação solar, segundo a inclinação e a posição das vertentes (Figura 6), e do decréscimo da temperatura com o aumento da altitude, e indiretamente sobre os seres vivos, especialmente os tipos de vegetação natural, que são dependentes das condições climáticas locais.



**Figura 6.** Exemplo de relevo suave ondulado.

O relevo regula os movimentos da água ao longo da vertente, tanto na superfície como no interior do solo, agindo sobre seu regime hídrico e, conseqüentemente, sobre os fenômenos de percolação interna e ações correlatas – lixiviação de solutos, transporte de partículas coloidais em suspensão no meio líquido – e ainda naqueles fenômenos em que a presença da água é imprescindível – hidrólise, hidratação, dissolução.

Quanto mais íngreme for o terreno, menor a possibilidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, do fluxo interno dela, e maior a quantidade de água que escoar na superfície (enxurrada) e a energia cinética produzida, potencializando o processo erosivo. Solos situados em relevo íngreme geralmente são menos profundos e mais secos que aqueles situados em uma mesma situação climática, porém em declive menos acentuado.

A concavidade ou convexidade da vertente modifica o poder erosivo das enxurradas e influencia a direção do movimento da água no interior do solo. Em igualdade de condições climáticas e de cobertura vegetal, os solos nas posições côncavas, devido à convergência dos fluxos de água, são mais úmidos do que os das posições convexas.

Nas partes baixas de áreas com relevo mais suave, além da água de precipitação pluvial que incide sobre ela diretamente, há contribuição tanto da água proveniente das enxurradas das áreas mais altas, como da que se movimenta lateralmente e internamente no solo das vertentes contíguas a elas.

Na avaliação da maior ou menor facilidade de infiltração da água no solo de uma vertente, é necessário levar em conta, além da forma da vertente, seu comprimento, a rugosidade e a cobertura vegetal do terreno, além dos fatores intrínsecos do solo (Figura 7).

Buol et al. (1973) relacionam à influência do relevo os seguintes atributos do solo: 1) profundidade das camadas de solo; 2) espessura e conteúdo de matéria orgânica do horizonte superficial; 3) umidade relativa do perfil; 4) cor do perfil; 5) grau de diferenciação dos horizontes; 6) reação do solo; 7) conteúdo de sais solúveis; 8) espécie e grau de desenvolvimento de horizontes adensados ("pan"); 9) temperatura; 10) caráter do material inicial. Na Tabela 4 se apresentam as classes de relevo consideradas.





**Figura 7.** Exemplo de relevo forte ondulado.

**Tabela 4.** Adaptação das classes de relevo (%).

Plano	0 – 3
Suave ondulado	3 – 8
Moderadamente ondulado	8 – 13
Ondulado	13 – 20
Forte ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	> 75

Fonte: SANTOS (2006).

### **Drenagem**

O principal problema com relação à drenagem dos solos versus desenvolvimento e produção vegetal não é propriamente o excesso de água, mas sim a aeração inadequada, o que aumenta a resistência da difusão dos gases do solo para a atmosfera e vice-versa. O oxigênio necessário na respiração metabólica é rapidamente consumido

pelos microrganismos e plantas, inibindo o crescimento do sistema radicular. Isso acarreta a diminuição da absorção de água, podendo em casos extremos ocorrer o murchamento de plantas (WILLEY, 1970), em vista do aumento da resistência das raízes para extrair água do solo (KRAMER, 1969) e do aumento da resistência dos estômatos para transpirar água (SOJKA; STOLZY, 1980), o que por sua vez acarreta diminuição da fotossíntese. Quando a falta de oxigênio é muito acentuada, pode-se acumular compostos como etanol, etileno e metano, os quais são tóxicos quando presentes em teores elevados. O ferro e o manganês, uma vez reduzidos para as formas bivalentes, apresentam também toxicidade para as plantas. Esse somatório de fenômenos limita bastante o uso de solos com horizonte glei (Gleissolos) e/ou caracteres tais como: gleico, plíntico, abruptico, lítico, litoplíntico, sendo tanto mais limitantes quanto mais superficial for sua posição no perfil.

Desses, o horizonte glei definidor da classe dos Gleissolos (Figura 2.8) é formado em ambiente palustre. Nessa condição, o solo se mantém em condições de umidade excessiva por período suficientemente prolongado e sem renovação da água, de modo que a atividade microbiana possa reduzir significativamente a taxa de oxigênio livre nela dissolvido. Os nitratos e depois os compostos de manganês são os primeiros a serem reduzidos; porém, como eles geralmente não são abundantes, rapidamente esgotam seu papel de receptores de elétrons. O ferro (Fe), portanto, muito mais abundante, constitui a maior reserva de receptores de elétrons nas reações de oxirredução. Neste ambiente, o íon férrico ( $Fe^{3+}$ ) passa a íon ferroso ( $Fe^{2+}$ ), adquirindo grande mobilidade, sendo removido e causando, conseqüentemente, despigmentação do solo, o qual adquire cores acinzentadas, oliváceas ou azuladas.



**Figura 8.** Exemplo de Gleissolo Háptico.

A condição de redução não é necessariamente produzida apenas nas camadas saturadas pela presença do lençol freático. É necessário considerar a franja capilar, a qual é tanto mais elevada acima do lençol freático quanto mais argiloso é o solo.

A maior parte das propriedades morfométricas que são relacionadas com ambiente redutor (mosqueado e croma baixo) pode mudar com o tempo, devido à atividade biológica (homogeneização) e ao intemperismo. No entanto, essas mudanças são muito lentas e, em solos argilosos de regiões temperadas, a cor acinzentada permanece por vários séculos. Porém, em solos de textura grosseira, aquelas características morfométricas podem desaparecer em poucas décadas após drenagem, estabelecendo então uma melhor relação com as atuais condições de drenagem.

Por outro lado, é necessário assinalar que as cores acinzentadas, típicas de ambiente redutor, em certas condições, ainda que o solo

esteja saturado por longos períodos do ano, não se manifestam. Isso está relacionado a certas condições da paisagem em que há constante flutuação do lençol de água, permitindo um contínuo fornecimento de oxigênio (O<sub>2</sub>) e, conseqüentemente, impedindo os fenômenos de oxirredução.

Esses fatos demonstram que apesar de a morfologia dos solos poder, em geral, ser usada para inferir sobre as condições de pedogênese (ambiente redutor versus ambiente oxidante) ou classes de drenagem, uma correlação consistente entre as feições morfológicas e o grau e a duração do umedecimento do solo não pode ser generalizada. Tais inferências são válidas quando feitas localmente, usando dados suplementares como observações sobre o conteúdo da água do solo e suas flutuações sazonais aliadas à avaliação da quantidade, intensidade e distribuição da precipitação pluviométrica, escoamento superficial e determinações de evapotranspiração.

As classes de drenagem referem-se à quantidade e rapidez com que a água recebida pelo solo escoar, afetando as condições hídricas do solo, isto é, duração do período em que permanece umido ou encharcado (Tabela 5).

**Tabela 5.** Classes de drenagem para levantamentos de solos relacionados ao zoneamento de culturas. Fonte: Santos (2006).

Classe de drenagem	Descrição
Excessivamente a fortemente drenado	A água é removida do solo rapidamente. Solos muito porosos, de textura média a arenosa e bem permeáveis.
Acentuadamente drenado	A água é removida rapidamente do solo. Solos de textura média ou argilosa, porém com atividades baixas (Tb), muito porosos e bem permeáveis.

Classe de drenagem	Descrição
Bem drenado	<p>A água é removida com facilidade do solo, porém não rapidamente. Os solos geralmente apresentam textura argilosa ou média, sem mosqueados ou, se presentes, localizam-se a mais de 150 cm de profundidade e também a mais de 30 cm do topo do horizonte B ou do horizonte C, se não existir B.</p>
Moderadamente drenado	<p>A água é removida um tanto lentamente do solo, de modo que o perfil permanece molhado por uma pequena porém significativa parte do tempo. Os solos geralmente apresentam camada de permeabilidade lenta no solum ou imediatamente abaixo dele. O lençol freático acha-se imediatamente abaixo do solum ou afetando a parte inferior do horizonte B por adição de água através de translocação lateral interna ou alguma combinação dessas condições. Algum mosqueado de redução na parte inferior do horizonte B ou no topo dele associado à diferença textural acentuada entre o horizonte A ou E e o horizonte B.</p>
Imperfeitamente drenado	<p>A água é removida lentamente do solo, de modo que esse permanece molhado por período significativo, mas não durante a maior parte do ano. Os solos apresentam geralmente camada de permeabilidade lenta no <i>solum</i>, lençol freático alto, adição de água através de translocação lateral interna ou alguma combinação dessas condições e algum mosqueado de redução no perfil, notando-se na parte baixa indícios de gleização.</p>
Mal drenado a muito mal drenado	<p>A água é removida do solo tão lentamente que o lençol freático permanece na superfície ou próximo dela durante a maior parte do ano. Os solos ocupam áreas planas ou depressões onde há, frequentemente, estagnação de água. Solos com gleização e comumente com horizonte hístico.</p>

Fonte: Santos (2006).

### **Fertilidade**

A fertilidade natural do solo é uma variável bastante complexa, que está relacionada com fatores extrínsecos às propriedades físicas e químicas do solo e à existência de determinados elementos nutritivos, o que, em última análise, depende fundamentalmente do material que deu origem a determinado solo. Neste trabalho de zoneamento edáfico, foi empregado como parâmetro de fertilidade dos solos a saturação por bases (V%), a qual é variável para cada cultura analisada.

Ainda, no contexto deste livro, foi incorporada a classe “pouco recomendável (rf)”, que agrupa solos com aptidão recomendável para todas as variáveis, com a exceção da fertilidade, restrição edáfica por fertilidade (rf), pois trata-se de uma restrição fácil de ser corrigida devido ao potencial tecnológico da cultura. Assim, essa classe foi tratada separadamente, mas representa aptidão praticamente “recomendável”.

### **Pedregosidade e/ou rochosidade**

Refere-se à proporção de calhaus, matacões e/ou exposição de rochas do embasamento, quer sejam afloramentos de rochas, lajes de rochas, camadas delgadas de solos sobre rochas e/ou predominância de “boulders” com mais de 100 cm de diâmetro, presentes na superfície e/ou massa do solo (Figura 9), que interferem diretamente na utilização de implementos e máquinas agrícolas, que são discriminados em classes (Tabela 6).



**Figura 9.** Exemplos de pedregosidade (esquerda) e rochosidade (direita) abundantes.

**Tabela 6.** Classes de pedregosidade ou rochosidade usadas na avaliação da aptidão edáfica do Eucalipto, na região do Corede Sul, RS.

Classes	Pedras ou rochas (g/Kg)	Tipo de restrição
Ausente	0 a 1	Sem restrições
Pouca	1 a 30	Ligeira a moderada
Moderada	30 a 150	Forte
Abundante	Maior que 150	Muito forte

Fonte: Flores; Filippini-Alba; Wrege (2009).

### **Avaliação da aptidão edáfica para a cultura da cana-de-açúcar**

Nos levantamentos detalhados (escala > 1:50.000), as classes de solos componentes das unidades de mapeamento a serem avaliadas tenderão a fornecer mais subsídios à interpretação. Com isso, o enquadramento das unidades de mapeamento em uma determinada classe de aptidão edáfica apresentará maior discriminação e precisão; como exemplo: gleico, abrúptico, plíntico, lítico, léptico, etc.

Entretanto, quando as informações estão contidas em mapas de solos com escala menor (escala < 1:50.000), as unidades de mapeamento apresentam composições mais heterogêneas, tornando-se necessário o agrupamento das unidades de mapeamento em categorias, definindo, em cada uma, classes distintas de utilização, como solos com horizonte B latossólico, relevo suave ondulado, tipo de argila, saturação por bases, etc.

Numa categoria superior, se definem classes em função das características de profundidade efetiva, fertilidade, drenagem interna, relevo, grupamento textural, e pedregosidade/rochosidade dos solos, entre outras características analisadas. O procedimento utilizado para a avaliação da aptidão edáfica para a cana-de-açúcar considera a avaliação isolada de atributos como textura, profundidade, permeabilidade, etc. (Tabela 7). Tal metodologia não trata de atributos interpretados conjuntamente em termos de qualidade do ambiente (disponibilidade de nutrientes, água e oxigênio e susceptibilidade à erosão e impedimento à mecanização), mas das necessidades básicas da cultura. Neste caso, como o alvo é uma cultura específica, procurou-se, tentativamente, dentro de cada fator limitante, analisar e dar pesos diferentes a atributos do solo que a afeta.

**Tabela 7.** Critérios de avaliação da aptidão edáfica da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul.

Parâmetros edáficos	Classes de aptidão edáfica			
	Preferencial	Recomendável	Pouco recomendável	Não recomendável
Drenagem	Fortemente, acentuadamente ou bem drenado	Moderadamente drenado	Imperfeitamente ou excessivamente drenado	Mal ou muito mal drenado
Profundidade efetiva	Muito profundo ou profundo	Pouco profundo	Raso	Muito raso



Parâmetros edáficos	Classes de aptidão edáfica			
	Preferencial	Recomendável	Pouco recomendável	Não recomendável
Grupamento textural	Média ou argilosa (1:1)	Muito argilosa (1:1)	Argilosa (2:1), arenosa ou siltosa	Orgânica
Relevo	Plano ou Suave	Moderadamente Ondulado	Ondulado ou Forte	Montanhoso ou escarpado
Fertilidade	Ondulado	Baixa	Muito baixa	Presença de sais
Pedregosidade/ Rochosidade	Alta e média	Moderada	Acentuada	Abundante
	Ausente ou pouca			

Fonte: Flores, Garrastazú; Filippini-Alba (2009).

### Classes de aptidão edáfica para a cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul

As classes de aptidão edáfica expressam a adequação das terras para a cultura da cana-de-açúcar, em relação ao nível de manejo tecnificado e o grau de intensidade das limitações que afetam as terras. A variável com classe de aptidão mínima define a condição.

**Preferencial:** Terras sem limitações significativas para a produção sustentada da cultura, observando as condições de manejo considerado. Há um mínimo de restrições que não reduz a produtividade ou benefícios expressivamente, e não aumenta os insumos acima de um nível aceitável.

**Recomendável:** Terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada da cultura, observando as condições do manejo considerado. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, elevando a necessidade de insumos de forma a aumentar

as vantagens globais a serem obtidas do uso. Leves desvantagens em relação à classe “preferencial”.

**Pouco recomendável**<sup>1</sup>: Terras que apresentam limitações fortes para a produção sustentada da cultura da cana-de-açúcar, observando as condições do manejo considerado. Essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, ou então aumentam os insumos necessários de tal maneira que os custos só seriam justificados restritamente.

**Não recomendável**: Terras não adequadas para a produção sustentada da cana-de-açúcar, por existir pelo menos um parâmetro edáfico na classe “Não recomendável”. Isto é, solos mal ou muito mal drenados, profundidade efetiva muito rasa, textura orgânica, relevo montanhoso ou escarpado, presença de sais ou pedregosidade/rochosidade abundante.

## Áreas indicadas para produção de cana no RS

O RS caracteriza-se por uma grande diversidade de tipos de solo, tendo em vista as mais variadas combinações dos fatores de formação que ali ocorrem. Sendo o solo um produto da interação dos seus fatores, ele pode ser considerado como o produto de uma combinação complexa de clima, material de origem, relevo, organismos e tempo de formação. Assim, toda vez que um ou mais fatores forem alterados, teremos solos diferentes. Portanto, em razão das características que cada indivíduo (solo) apresentar, deverá ser considerado um tratamento diferenciado (manejo) da maneira a

---

<sup>1</sup>Transforma-se na classe “Pouco recomendável (rf)” quando a única limitação é a fertilidade (todos os restantes parâmetros edáficos pertencem à classe “Recomendável”).

expressar toda a potencialidade do solo sem comprometer o meio ambiente.

O zoneamento edáfico da cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul foi realizado considerando o levantamento de solos do Projeto RADAM Brasil (FILIPPINI-ALBA; FLORES, 2013), sendo estruturado em ambiente de sistema de informação geográfica na escala 1:250.000.

A composição de planos de informação necessários à geração do zoneamento pedológico foi executada com o auxílio de operações de análise espacial em SIG, sendo considerados classes de solos, profundidade efetiva, textura, fertilidade, drenagem, relevo e impedimento à mecanização.

O mapa do zoneamento edáfico foi elaborado através do cruzamento entre as características dos solos e as exigências da cultura da cana-de-açúcar quanto a solos, utilizando operações de análise espacial em ambiente de sistema de informação geográfica.

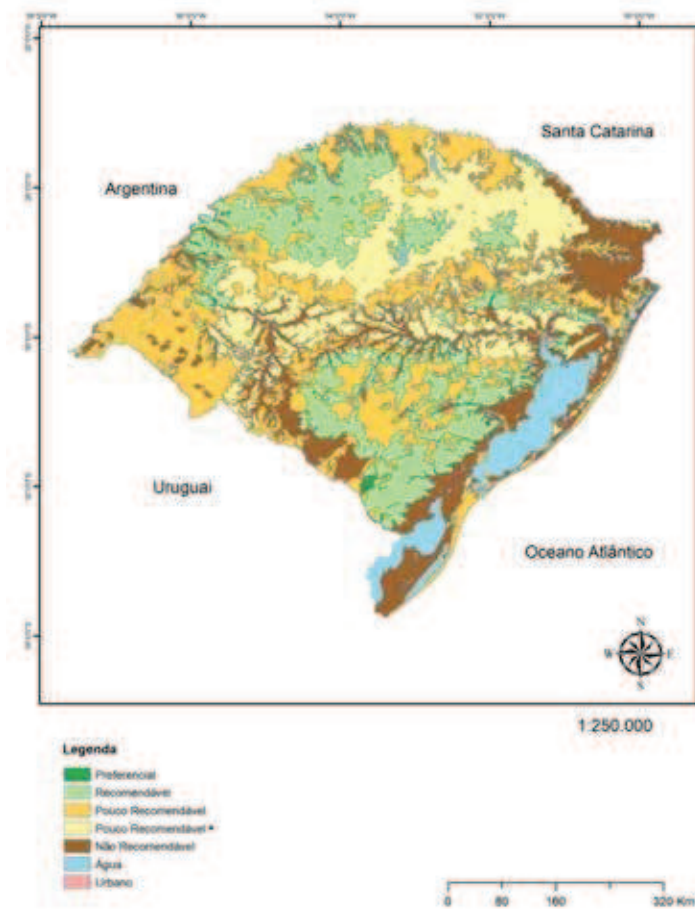
Cabe ressaltar que esse zoneamento destaca as potencialidades e restrições ambientais de grandes áreas, em um elevado nível de generalização. O caráter regional deste trabalho se deve à base de interpretação dos solos e às informações sobre uso da terra. Nesses estudos em geral agrupam-se três ou quatro classes de solos diferentes, delimitados por polígonos com área em geral superior a 0,5 km<sup>2</sup>.

Portanto, para se conhecer mais detalhadamente as condições locais de solo, são necessários estudos adicionais, típicos das análises de viabilidade e projeto executivo para novos empreendimentos industriais. Para o caso dos solos, sugere-se uma observação direta para cada 20 hectares, através de um levantamento semidetalhado em escala 1:50.000 ou menor.

O mapa de distribuição das classes de aptidão edáfica sugere uma forte influência do relevo (Figura 10), em que áreas com altitude inferior a 100 m e acima de 900 m podem ser descartadas. Em parte, isso se deve ao limiar de 13% para avaliação da declividade, dando ênfase a uma agricultura empresarial (diferentemente da geralmente praticada na área). No entanto, existem outros fatores que afetam a aptidão edáfica para a cana-de-açúcar, como a capacidade de armazenamento de água (região Noroeste, Fronteira Oeste) ou a influência da drenagem ou salinidade (Litoral).

A pequena área com classe de aptidão edáfica “Preferencial” se concentra na zona Sul, quando todos os parâmetros do solo atingem condição máxima. No entanto, ocorrem extensas áreas nas classes “Recomendável” e “Pouco recomendável com restrição por fertilidade” ou “Pouco recomendável (rf)”, cobrindo uma área relativa de 46,3% para todo o estado e área absoluta acima de 13 milhões de hectares (Tabela 8). A última classe depende do grau de técnicação da lavoura para se transformar em “Recomendável”. Porém, além da restrição por outras ocupações agrícolas, deve-se destacar a restrição climática, em função do regime de geadas que afeta principalmente o extremo sul e as áreas de maior altitude do estado.

Assim, existe um grande número de municípios com pelo menos 40% de área recomendável para o cultivo de cana-de-açúcar (Tabela 9), sendo que, em ocasiões, essa área aumenta, inclusive sendo complementada pela classe antes mencionada, “Pouco Recomendável (rf)” ou PR rf. O primeiro grupo, 40% a 60% R, deve ser considerado com extremo cuidado no momento de implantar uma área produtiva, principalmente na metade sul do estado, pois há grande alternância com áreas não recomendáveis.



**Figura 10.** Mapa de aptidão edáfica de cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: IBGE/UFRGS/Embrapa

**Tabela 8.** Área das classes de aptidão edáfica para cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul.

Classe de aptidão edáfica	Área absoluta (ha)	Área relativa (%)
Preferencial	32.167	0,1
Recomendável	6.105.440	21,6
Pouco Recomendável	8.777.780	31,1
Pouco Recomendável (rf)	6.984.120	24,7
Não Recomendável	4.468.020	15,8
Água	1.784.640	6,3
Urbano	88.928	0,3
Total	28.241.096	99,9

Fonte: IBGE/UFRGS/Embrapa.

**Tabela 9.** Classificação dos municípios do Rio Grande do Sul conforme sua aptidão edáfica para o cultivo de cana-de-açúcar. Os municípios não mencionados têm pouca área recomendável para o cultivo (abaixo de 40%).

Condição	Municípios
40% a 60% R	Arroio do Padre, Barracão, Bagé, Bom Retiro do Sul, Bossoroca, Bozano, Caçapava do Sul, Cachoeira, Candiota, Canguçu, Cerrito, Catuipé, Condor, Coronel Bicaço, Cruzeiro do Sul, Dom Feliciano, Dom Pedrito, Encruzilhada do Sul, Fazenda Vilanova, Guaporé, Ibirubá, Independência, Jaguarão, Garruchos, Lavras do Sul, Machadinho, Marata, Panambi, Paverama, Pedras Altas, Pelotas, Pinheiro Machado, Piratini, Santa Rosa, Santana da Boa Vista, Santo Antônio das Missões, São Gabriel, São Borja, São Lourenço do Sul, São Nicolau, Sapiranga, São Sepé, Seberi, Tenente Portela, Três de Maio, União da Serra, Vila Nova do Sul.
90% a 100% PR rf	Alpestre, Casca, Cacequi, Capão Bonito do Sul, Capão do Cipó, Caseiros, Constantina, Coxilha, Gentil, Ibiaça, Ibirapuitã, Ipê, Ipiranga do Sul, Iraí, Júlio de Castilho, Lagoa Vermelha, Liberato Salzano, Marau, Muitos Capões, Rio dos Índios, Rio Pardo, Rodeio Bonito, Santa Cecília do Sul, São José das Missões, São Vicente do Sul, Soledade, Vicente Dutra

Condição	Municípios
80 % a 100% R ou 100% na soma de (R + PR rf)	Boa Vista do Cadeado, Bom Progresso, Chiapetta, Chувиска, Colorado, Coronel Barros, Cruz Alta, Dilermando de Aguiar, Dois Irmãos, Dois Irmãos das Missões, Entre Ijuis, Estrela, Eugênio de Castro, Fortaleza dos Valos, Giruá, Herval, Ibiraiaras, Ijuí, Itapuca, Mata Leitão, Morro Redondo, Nova Alvorada, Nova Araçá, Nova Bossano, Parai, Parobé, Pejuçara, Santa Bárbara do Sul, Santo Augusto, São Domingos do Sul, São Francisco de Assis, São Jorge, São Luiz Gonzaga, São Valério do Sul, Serafina Correa, Taquara, Tenente Portela, Teutônia, Tupanciretã, Varrini.

## Zoneamento Climático

### Exigências climáticas

A cana-de-açúcar é umas das plantas mais antigas cultivadas pela humanidade. Com diversos centros de origem, a região equatorial do sudeste da Ásia apresenta-se como a mais provável para surgimento da espécie *Saccharum officinarum* (L). A partir de sua difusão e adaptação pelo mundo, atualmente tem sua produção concentrada nas regiões tropicais e subtropicais, com destaque para países como Brasil, Índia, China e Tailândia. Em regiões subtropicais, a temperatura aparece como o principal elemento meteorológico que oferece restrições ao desenvolvimento econômico do cultivo da cana-de-açúcar. No entanto, em regiões produtoras de países como Uruguai, Argentina, África do Sul, Austrália e Estados Unidos são desenvolvidas estratégias que viabilizam a produção de etanol e açúcar em níveis competitivos.

É importante salientar que ao se considerar as exigências climáticas de uma cultura, as limitações ou condições preferenciais de desenvolvimento serão diferentes em cada fase de crescimento,

podendo haver uma grande escala de comparação sobre qualquer elemento meteorológico. Portanto, a análise do potencial de cada ambiente agrícola para introdução de uma espécie cultivada deve coincidir com as dimensões temporais compatíveis com as atividades agrícolas e com a fenologia das plantas, ou seja, as necessidades das plantas em cada fase de desenvolvimento devem ser atendidas com a melhor condição que o ambiente e seus recursos podem oferecer.

### **Temperatura**

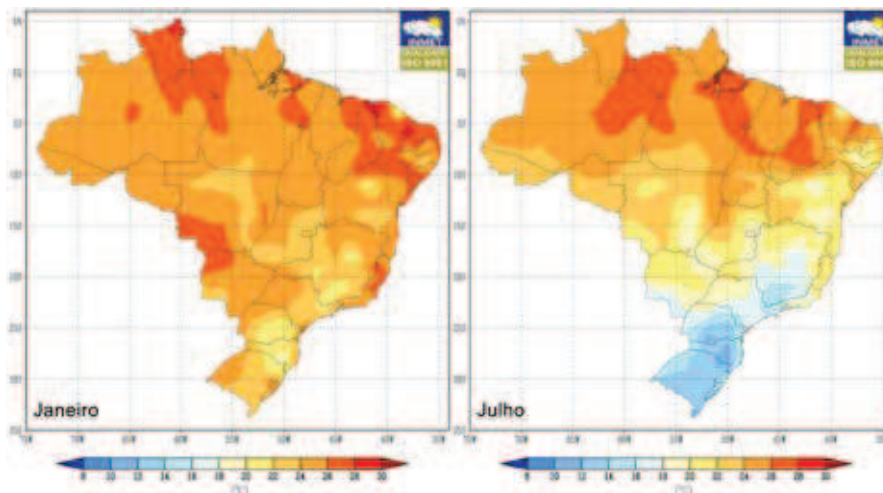
O Estado do Rio Grande do Sul (RS) é o que apresenta maior amplitude térmica durante o ano quando comparado a outros estados do Brasil. Nos meses mais frios, julho e agosto, a temperatura média pode variar de 12 °C a 16 °C na maior parte de seu território (Figura 1), enquanto nos meses mais quentes, dezembro a fevereiro, a temperatura média se situa entre 22 °C e 26 °C, assemelhando-se às demais regiões do país.

Na brotação da cana-de-açúcar ocorre o estímulo ao crescimento das raízes primordiais e o crescimento e perfilhamento da gema que estão localizados nos nós dos colmos. Nesse processo, a velocidade da brotação pode ser favorecida (entre outros fatores como a maturidade dos colmos e características varietais) pela umidade do solo e por temperatura superior a 12 °C, sendo que a temperatura ideal para uma brotação uniforme e rápida (30 a 35 dias) deve variar entre 25 °C e 32 °C. Plantios realizados no outono e inverno apresentam um adiamento/prolongamento desse processo, mantendo as mudas em crescimento lento, porém o crescimento das raízes se mostra mais estável devido à menor variação da temperatura do solo do que a temperatura do ar. Desse modo, com um sistema radicular mais desenvolvido, a partir da primavera, as mudas de primeiro ano de plantio podem apresentar um desenvolvimento mais rápido. Essa é uma condição peculiar do RS, visto que nesse período os solos



mantêm um nível de umidade que não atinge deficiência hídrica e não desidrata as mudas, ao contrário de regiões onde o inverno é seco.

A temperatura do ar tem forte correlação com a velocidade do desenvolvimento vegetativo, sendo a faixa ideal para o perfilhamento e crescimento a compreendida por temperaturas entre 28 °C e 34 °C. Ocorrências de temperatura superior a 38 °C diminuem a taxa de crescimento devido à redução da taxa fotossintética e pelo aumento da respiração, enquanto temperatura inferior a 16 °C reduz o crescimento pela desaceleração do metabolismo. Porém, em fase final de pleno desenvolvimento quando diminui a emissão de novos perfilhos e o dossel promove um autossombreamento (aproximadamente após oito meses), há um efeito positivo na redução da temperatura para indução da maturação.



**Figura 1.** Temperatura média compensada (°C).

**Fonte:** INMET - Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990.

Enquanto na maioria das regiões produtoras, no Brasil e no mundo, o ciclo da cultura da cana-de-açúcar seja manejado para que a maturação ocorra aproveitando-se condições de deficiência hídrica (fator vantajoso para operações de colheita), no Rio Grande do Sul, na província de Artigas no Uruguai e no Estado da Flórida nos Estados Unidos, regiões onde não há um período característico de diminuição do número de dias com chuva e dos totais pluviométricos, a maturação é atingida pela redução da temperatura durante o outono e inverno (e possivelmente também pelo menor fotoperíodo).

### **Geadas**

O fator mais negativo associado a baixas temperaturas para a cana-de-açúcar é a ocorrência de geadas. Esse fenômeno meteorológico e suas consequências são mais complexas do que apenas a determinação do valor de temperatura mínima para sua ocorrência ou para formação de gelo sobre partes das plantas causando injúrias e morte de tecidos, pois um conjunto combinado de variáveis são necessárias para que ocorram danos aos canaviais.

Entre essas variáveis a intensidade, a duração e a frequência das condições de frio são os fatores mais diretos que permitem quantificar níveis de perda por geadas. A intensidade dada pelo registro de temperatura, em geral abaixo de 3 °C até temperaturas negativas de -6 °C, combinada com a duração do tempo de exposição das plantas sob tal condição térmica, permite atribuir diversos graus de severidade às geadas. Conforme a frequência ou o número de vezes que ocorre e o nível de dano nos tecidos das plantas, provocado por queimadura pelo frio, as geadas podem ser classificadas desde suaves, quando as folhas sofrem queimaduras sem afetar o meristema apical e permite que a planta continue a emitir novas folhas, até muito severa, quando além das folhas, outros tecidos mais sensíveis como o meristema apical e as gemas laterais nos colmos também são atingidos.

Outras variáveis podem contribuir para o grau de severidade ser mais ou menos intenso dependendo do estágio de desenvolvimento. A localização dos talhões em áreas que não acumulem ar frio e o conhecimento do histórico da região quanto à ocorrência e à frequência de geadas, são estratégias de planejamento que permitem a convivência com fatores adversos. A adoção de cultivares precoces ou mais tolerantes ao frio é uma alternativa para locais de maior risco e frequência de ocorrência de geadas. As cultivares tardias, por serem menos sensíveis a baixas temperaturas, devem ser manejadas para que se tenha o ponto de colheita em pleno inverno e início de primavera.

Para um empreendimento agroindustrial e, de acordo com seu porte de processamento, essas considerações devem ser mais bem planejadas, visando, além do escalonamento de colheita dos talhões e maior período de utilização industrial, também à possibilidade de rápido ajuste de logística na colheita e transporte da cana em áreas mais atingidas pelas geadas para que se mantenha o rendimento. Essa medida ainda pode ser amenizada com o uso de cultivares que apresentam tolerância à deterioração, devido à lenta degradação da sacarose, dependendo do grau de impacto da geada e das condições climáticas posteriores à sua ocorrência.

O padrão habitual para ocorrência de geadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil está associado às passagens de frentes frias que provocam chuvas no avanço da borda de deslocamento da frente fria e, posteriormente, ocorre a invasão da massa de ar polar que pode ter uma incursão mais pelo interior do continente (em geral, o frio é mais intenso) ou mais próxima à zona litorânea. Sob um mesmo evento atmosférico desse tipo, impactos diferentes podem ser produzidos dependendo das condições de aclimação sazonal de cada região. No Rio Grande do Sul, onde as estações climáticas do ano apresentam um padrão mais característico, o declínio da temperatura é gradual a partir de março e é pouco frequente a ocorrência de períodos

quentes durante o inverno, ou grande amplitude térmica diurna mais expressiva.

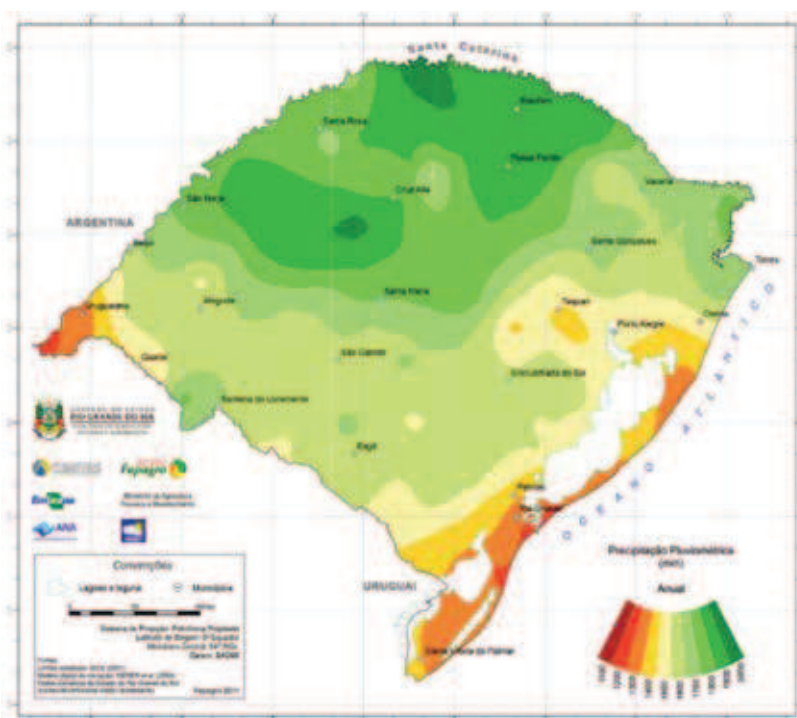
Na região Sudeste a característica do inverno é Tropical, representada por deficiência hídrica e temperatura amena, mas com amplitude térmica mais alta, especialmente nesses eventos, quando ocorre em sequência um aquecimento pré-frontal, eventualmente chuvas, resfriamento intenso e o retorno de temperatura amena ou novo aquecimento, enquanto no Sul há uma estabilidade maior entre as temperaturas máximas e mínimas absolutas. Por essas razões se verifica um impacto negativo maior de geadas sobre a cultura da cana-de-açúcar na região Sudeste do que no Rio Grande do Sul, mesmo que a temperatura apresente registros abaixo de zero, pois a aclimação gradual promovida na transição das estações confere um nível superior de tolerância para estresses por frio, pois também não ocorrem simultaneamente outros estresses por calor e deficiência hídrica.

### **Precipitação pluviométrica**

Como uma cultura de ciclo semiperene, a cana-de-açúcar é colhida com sucessivos cortes anuais até que o rendimento industrial se mostre economicamente viável. Sob condição não irrigada a disponibilidade hídrica fica condicionada ao padrão e desvios da distribuição da precipitação pluviométrica da região de cultivo.

Em geral, é desejável que a oferta de água pelas chuvas seja distribuída em quantidade, de modo uniforme ao longo do tempo de desenvolvimento e crescimento da cana-de-açúcar conforme as exigências para cada fase: da brotação à emergência, do perfilhamento ao fechamento do dossel e entrelinhas, até o alongamento dos colmos e maturação. No entanto, em condição de sequeiro, essa é uma situação que não ocorre com frequência.

Cultivos de cana-de-açúcar podem requerer uma disponibilidade hídrica de 700 mm a 2.000 mm por safra. Na maior parte do Estado do Rio Grande do Sul essa demanda é atendida (Figura 2), pois na maior parte de seu território a precipitação pluviométrica se situa entre 1.100 mm a 2.000 mm. A evapotranspiração anual pode variar entre 700 mm a 1.000 mm, para regiões de temperaturas mais amenas, como na serra, e regiões mais quentes, como a Fronteira Oeste, respectivamente. Desse modo, em anos com ocorrência de desvios negativos da precipitação, especialmente entre os meses de dezembro a março, período que coincide com o máximo desenvolvimento da cana-de-açúcar, o crescimento da cultura pode ser prejudicado.



**Figura 2.** Precipitação pluviométrica anual no estado do Rio Grande do Sul.

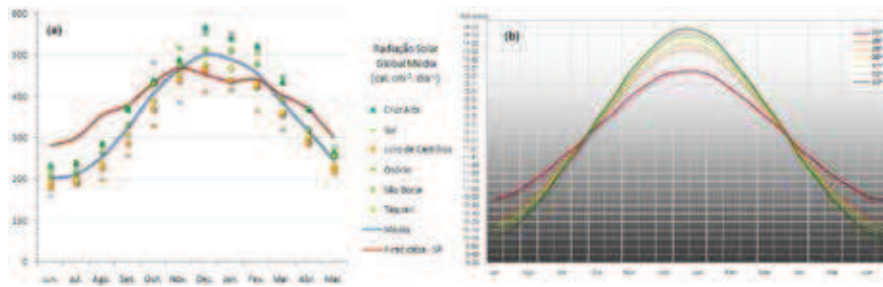
**Fonte:** Atlas Climático: Rio Grande do Sul (CEMETRS)

### **Radiação solar e fotoperíodo**

A radiação solar é a base para todo desenvolvimento da cana-de-açúcar por influenciar a atividade fotossintética e, conseqüentemente a acumulação de matéria seca, além dos efeitos que tem sobre a temperatura e a evapotranspiração. O Rio Grande do Sul, por ser o estado mais ao sul do País, é o que apresenta a maior disponibilidade de horas de brilho solar durante a primavera e verão (Figura 3b), ou seja, o fotoperíodo, que é uma condição astronômica da posição da Terra em relação ao sol e da latitude mais ao sul no hemisfério. Isso atribui ao estado uma posição vantajosa em relação a essas variáveis de ambiente.

Somada a essa condição, e neste mesmo período, a nebulosidade é um fator menos aparente sobre o estado, visto que está em menor grau sob a influência de outras dinâmicas da atmosfera que promovem um aumento da fração de cobertura de nuvens que ocorrem no Centro-Sul do Brasil durante a primavera e verão (Figura 3a).

Desse modo, mesmo que o fotoperíodo seja menor entre março a setembro, essa variável não tem efeito negativo, porque coincide com as fases em que ocorrem a intensificação da maturação e das operações de colheita, e a máxima disponibilidade de radiação que se concentra entre os meses de novembro a fevereiro, superior a outras regiões do País, é um diferencial bem aproveitado pela cultura, que é considerada uma das mais eficientes na conversão de radiação fotossinteticamente ativa em biomassa.



**Figura 3.** Distribuição da radiação global média (cal. cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) (a), e duração do fotoperíodo (horas e minutos) (b) sob latitudes que cobrem os estados de São Paulo e Rio Grande do Sul.