

Capítulo 3

Solos e classificação de terras para irrigação

Manoel Ricardo de Albuquerque Filho
Fernando Cezar Saraiva do Amaral
Derli Prudente Santana
Luiz Marcelo Aguiar Sans

Introdução

Os diferentes solos que cobrem a superfície terrestre integram um sistema aberto, em equilíbrio dinâmico com o meio onde se inserem, e desempenham um papel chave no funcionamento dos ecossistemas naturais ou agrícolas, seja como fonte de nutrientes, abrigo ou meio de sustentação e desenvolvimento.

O ambiente tropical apresenta uma grande diversidade de solos, onde cada unidade apresenta propriedades e características intrínsecas. Em conjunto, essas peculiaridades determinam as potencialidades e limitações ao uso do solo. A disponibilidade de água, nutrientes e ar nos solos varia bastante, condicionando, nos vários solos, uma produtividade diferente das culturas, quando outros fatores são considerados constantes. Além disso, algumas das características dos solos, como teor de matéria orgânica, fertilidade, estrutura, porosidade e disponibilidade de água, influenciam e são influenciadas pelo manejo empregado, tornando essencial conhecer os diferentes solos na propriedade para proporcionar o uso mais adequado à sua aptidão.

Com relação à água, o solo funciona tanto como filtro e regulador da qualidade, quanto como reservatório para o suprimento às culturas. A água no solo passa por vários processos físicos, químicos e biológicos, antes mesmo de interagir com a planta e, assim, solo, água e planta são fatores críticos e interdependentes

na prática da irrigação. O balanço adequado desse trio deverá propiciar sucesso naquela prática. Portanto, é relevante a compreensão das estruturas de formação e classificação de solo para o contexto da agricultura irrigada para a análise de disponibilidade de água, retenção e drenagem no solo, além da sistematização da classificação de terras para irrigação.

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos conceitos básicos para a caracterização e classificação de solos, com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018) e no Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para a Irrigação (Amaral, 2011), visando subsidiar o conhecimento dos diferentes solos em uma propriedade agrícola para o manejo mais adequado em sistemas de produção irrigados.

Gênese do solo

Estudos de solos em diversas partes do mundo têm mostrado que eles têm propriedades que representam o efeito integrado do clima e organismo no material de origem (rocha, sedimentos e material orgânico) em uma posição física na paisagem (relevo), durante um determinado período de tempo ($\text{Solo} = f(\text{clima}, \text{organismos}, \text{material de origem}, \text{relevo e tempo})$) (Jenny, 1941), e estudos mais recentes têm considerado o fator humano de formação do solo (h), evidenciando que o solo não é apenas fruto de processos naturais (Dudal et al., 2002). Esses fatores proporcionam uma evolução contínua do solo na paisagem, por meio de processos

físicos, químicos, biológicos, de manejo e ocupação, dos quais resultam os vários solos na superfície da crosta terrestre. A Figura 1 ilustra a interdependência entre os fatores e os processos de formação do solo (pedogênese), que determina as características e propriedades de cada solo. Como os fatores variam pronunciadamente na superfície terrestre, tem-se, necessariamente, uma variação das características dos solos nas diferentes porções das paisagens que eles ocupam.

Ao longo do tempo de evolução, o solo passa por processos de adição, em que são incorporados materiais minerais e orgânicos de fontes externas, processos de remoção, em que ocorrem perdas de material sólido e solúvel, principalmente pela erosão e lixiviação, além de processos de transformação, em que alterações físicas, químicas e biológicas ocorrem nos materiais minerais e orgânicos do solo. Assim, quanto mais evoluído é o solo, menor a sua relação com o material de origem e maior é a homogeneidade do perfil dele.

O perfil do solo é uma seção transversal composta por camadas ou horizontes resultantes dos processos pedogenéticos (Figura 2). As ca-

racterísticas e propriedades preponderantes dos perfis dos diferentes solos no mundo vêm sendo conceituadas e agrupadas de maneira a constituir uma coleção de critérios que permite classificar taxonomicamente e caracterizar esses solos na paisagem em que se encontram, sua diversidade, distribuição espacial e funcionalidades ecossistêmicas (FAO, 2014; Montanarella et al., 2015). Para fins de padronização acerca da qualidade dos solos, a norma ISO 11074 (International Organization for Standard, 2015) foi estabelecida com base no conhecimento global organizado e determina os conceitos gerais sobre descrição, caracterização, amostragem, classificação, mapeamento e manejo dos solos.

No Brasil, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et al., 2018) é o sistema taxonômico oficial, que está organizado em níveis categóricos que hierarquizam as classes de solos de acordo com propriedades que possam ser identificadas no campo ou inferidas com base no conhecimento de campo, da Ciência do Solo ou disciplinas correlatas. São seis níveis categóricos: ordens, subordens, grandes grupos, subgrupos, famílias e séries, em que preponderam, nos níveis mais elevados, as propriedades

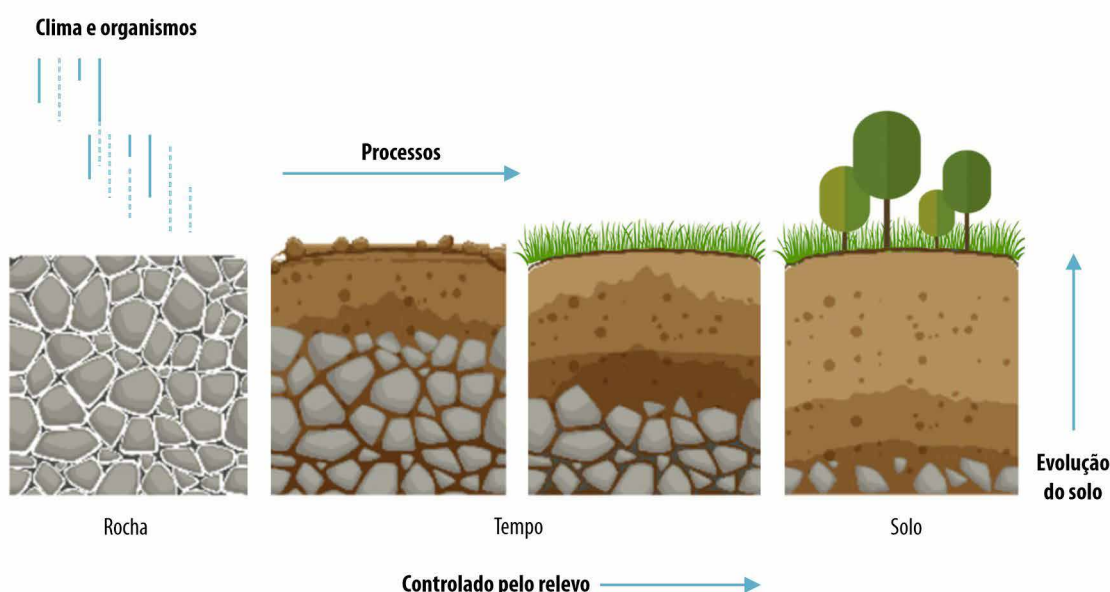


Figura 1. Fatores de formação do solo e pedogênese.

Ilustração: Jasiel Becker Brito Gomes.

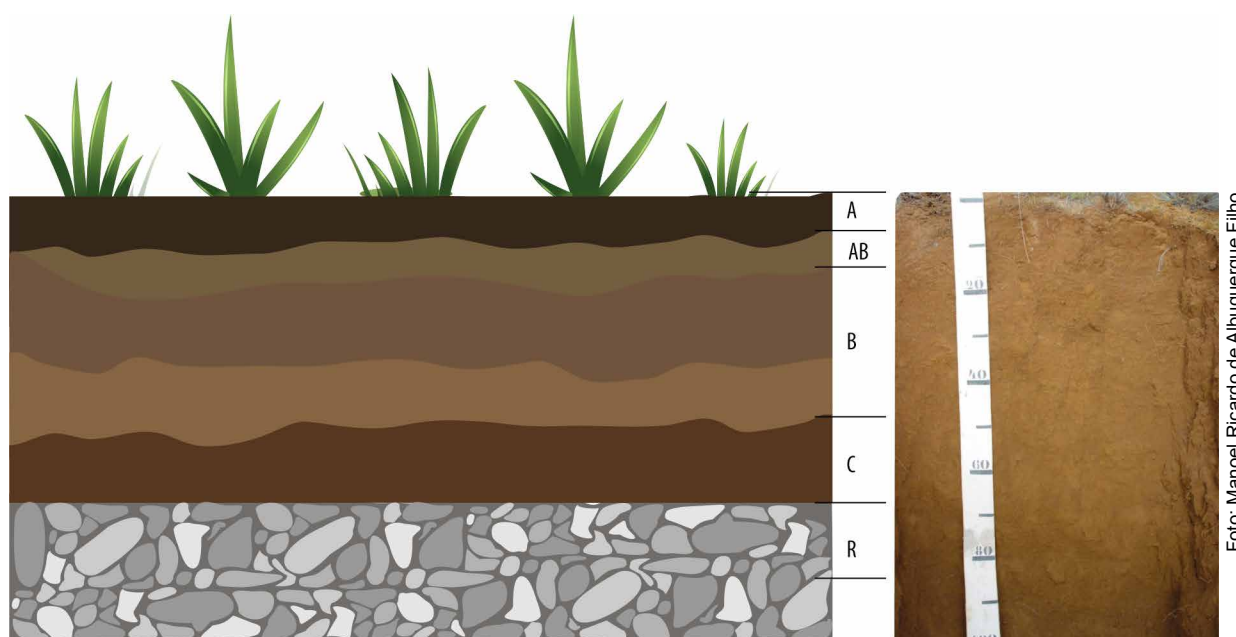


Figura 2. Perfil de solo profundo, homogêneo e sem distinção clara entre os horizontes (à direita). À esquerda, uma representação genérica da sequência de horizontes do solo, em que A é o horizonte superficial; AB é um horizonte de transição para o horizonte subsuperficial B; C representa um horizonte mineral pouco desenvolvido não diagnóstico; e R representa a rocha ou material de origem.

Ilustração: Paula Cristina Rodrigues Franco.

resultantes diretamente dos processos pedogenéticos (Santos et al., 2018). No primeiro nível (ordem), os solos brasileiros são agrupados em 13 classes: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos.

O SiBCS detalha e define as bases, os critérios e os métodos específicos para o enquadramento de determinado solo em cada uma dessas classes e seus subníveis categóricos, levando em conta a ocorrência e inter-relações dos horizontes diagnósticos do solo, dos atributos diagnósticos que são as características mais destacadas, resultantes dos processos pedogenéticos naquele solo, além de características remanescentes do material de origem no perfil do solo (Santos et al., 2018).

Horizontes diagnósticos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

Os horizontes do solo são seções de constituição mineral, orgânica ou intermediária, aproxi-

madamente paralelas à superfície do terreno, com espessura e propriedades variáveis, que compõem o perfil do solo desde a superfície até o contato com a rocha consolidada ou outras camadas subsuperficiais que apresentem pouca ou nenhuma atuação dos processos pedogenéticos (FAO, 2014). No SiBCS, os horizontes do solo estão organizados em Horizontes diagnósticos superficiais e Horizontes diagnósticos subsuperficiais, conceituados de maneira resumida a seguir.

Horizontes diagnósticos superficiais

Horizonte hístico: é um tipo de horizonte constituído predominantemente de material orgânico derivado de acumulações de resíduos vegetais em graus variáveis de decomposição (Figura 3) e com teor de carbono igual ou superior a 80 g kg^{-1} , que pode ocorrer em superfície ou estar enterrado por material mineral, desde que atenda aos demais critérios definidos no SiBCS (Santos et al., 2018).



Figura 3. Horizonte hístico de ambiente altomontano da Ilha de Trindade, Atlântico Sul.

Horizonte A: os agentes de intemperismo atuam na rocha de cima para baixo. À medida que aumenta a intensidade de intemperismo, formam-se camadas mais ou menos paralelas à superfície, chamadas horizontes. O horizonte A é a primeira camada terrosa (constituída predominantemente por material mineral) que se forma a partir da superfície do solo e é mais rica em matéria orgânica, bem como é mais afetada por fatores externos.

Os principais tipos de horizonte A descritos no SiBCS (Santos et al., 2018) são: A húmico (Figura 4); A chernozêmico; A proeminente; A moderado; A fraco; e horizonte A antrópico. Esse último leva em conta as interferências decorrentes de atividades humanas que podem modificar desde a estrutura até os processos físico-químicos e biodinâmicos do solo, por meio de ações como a remoção da cobertura vegetal, o revolvimento mecânico (aração, gradagem, sistematização da superfície), a drenagem de áreas encharcadas, ou a incorporação de cor-



Figura 4. Horizonte A húmico em solo de várzea do Rio Javaés, Lagoa da Confusão, TO.

retivos e fertilizantes. O horizonte A antrópico corresponde ao horizonte superficial formado ou modificado pela ação do homem, como lugar de residência ou de cultivos prolongados, com adição de material orgânico, em mistura ou não com material mineral. Concentra fragmentos de cerâmica e/ou artefatos líticos e/ou restos de ossos e/ou conchas (Santos et al., 2018).

Horizontes diagnósticos subsuperficiais

A ação continuada do processo de intemperismo resulta na fragmentação e alteração da rocha matriz (material de origem); e, à medida que aqueles processos de adição, remoção e transformação vão ocorrendo em subsuperfície, o material terroso passa a predominar sobre o material que ainda guarda a estrutura da rocha. Ao se atingir esse ponto, nova camada adquire uma estrutura típica do solo; embora ainda possa apresentar algum vestígio de estrutura da rocha, dizemos que temos um novo horizonte subsuperficial. No SiBCS, os horizontes diagnósticos subsuperficiais conceituados são o horizonte B, horizonte E, horizonte plínti-

co, horizonte concrecionário, horizonte litoplín-tico, horizonte glei, horizonte cálcico, horizonte petrocálcico, horizonte sulfúrico, horizonte vér-tico, fragipã e duripã.

Horizonte B: horizonte mineral subsuperficial, com diferentes graus de desenvolvimento em espessura, estrutura, mineralogia e proprieda-des físicas e químicas. Os principais tipos de

horizontes B definidos no SiBCS (Santos et al., 2018) são: B incipiente, típico dos Cambissolos (Figura 5), é um horizonte em estágio inicial de desenvolvimento com 4% ou mais de mi-nerais primários alteráveis e espessura menor que 50 cm; B textural (Figura 6), horizonte de acumulação de argila em relação ao horizonte sobrejacente, cria um gradiente textural (resul-tado da divisão do teor de argila do horizonte B

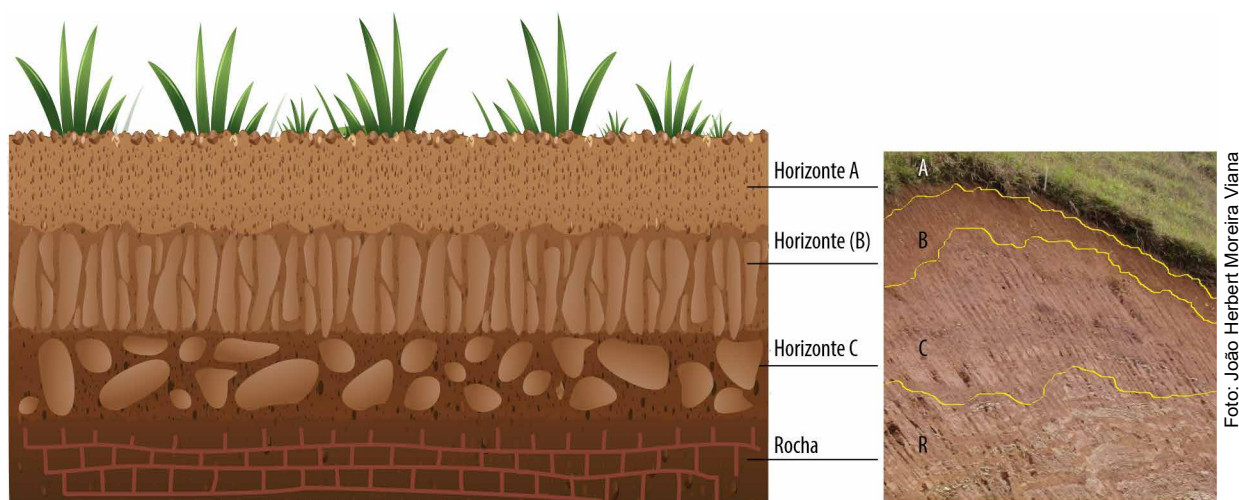


Figura 5. Cambissolo – solo com horizonte B incipiente.

Ilustração: Paula Cristina Rodrigues Franco.

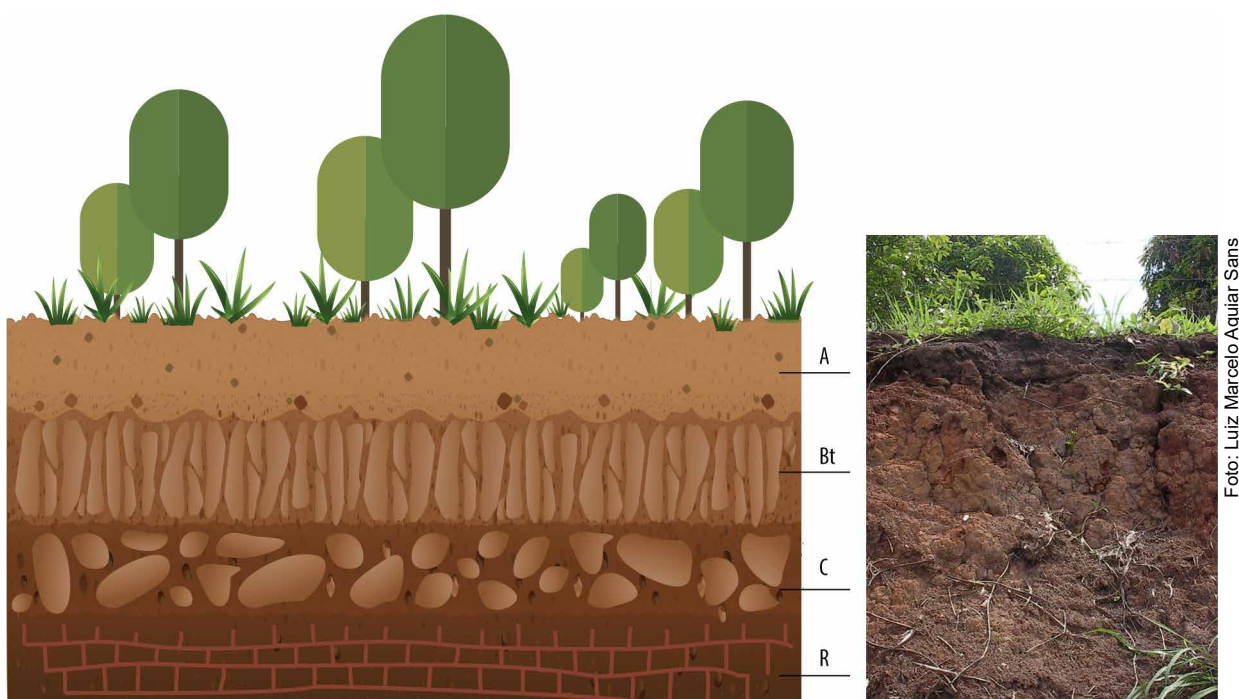


Figura 6. Solo com horizonte B textural (Bt).

Ilustração: Paula Cristina Rodrigues Franco.

pelo teor de argila do horizonte sobrejacente, superior a 1,5) que normalmente acarreta diminuição da permeabilidade. O horizonte B plânico é uma variação do B textural, afetado por elevação do lençol freático por causa de uma transição abrupta do teor de argila que resulta em maior adensamento da estrutura física e baixa permeabilidade subsuperficial, podendo apresentar estrutura maciça e elevado teor de sódio, entre outros fatores limitantes descritos no SiBCS. Horizonte B nítico é semelhante ao B textural, mas sem gradiente textural igual ou maior que 1,5 em relação ao horizonte sobrejacente. Horizonte B espódico se trata de um horizonte de acumulação iluvial de matéria orgânica, associada a complexos de sílica-alumínio-ferro. Além das características resumidas aqui, esses horizontes apresentam outras peculiaridades e critérios de classificação detalhados no SiBCS (Santos et al., 2018).

Dentre os horizontes diagnósticos subsuperficiais, o horizonte B latossólico caracteriza os solos mais amplamente conhecidos da paisagem brasileira, os Latossolos (Figura 7). Na maior parte dos casos, o B latossólico é espesso (espessura superior a 50 cm), friável e bem drenado, com estrutura bem desenvolvida, conferindo estabilidade ao solo. Por ser um ho-

rizonte mais intemperizado, apresenta maior concentração de óxidos em relação a minerais de argila mais intemperizáveis, definindo uma relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menor que 2,2, bem como uma capacidade de troca de cátions (CTC) menor que $17 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila, entre outros critérios detalhados no SiBCS (Santos et al., 2018).

Horizonte glei: é um horizonte mineral que, eventualmente, pode estar na superfície do solo, com espessura mínima de 15 cm, caracterizado por redução de ferro e prevalência do estado reduzido, em razão principalmente da água estagnada. Caracteriza os Gleissolos, solos típicos de várzeas, com drenagem deficiente e sujeitos a inundações temporárias, que são muito utilizados em cultivos de arroz de várzea (irrigação por inundação), feijão, melancia e produção de sementes de soja em sistema de subirrigação em várzeas sistematizadas do Tocantins.

Horizonte vértico: caracteriza-se pela expansão e contração das argilas em função da umidade do perfil, que resulta em fendilhamento da estrutura (superfície de fricção ou *slickensides*). Solos com horizonte vértico apresentam elevada capacidade de retenção de água, mas uma estreita faixa de disponibilidade hídrica para as culturas, bem como para o manejo do solo.

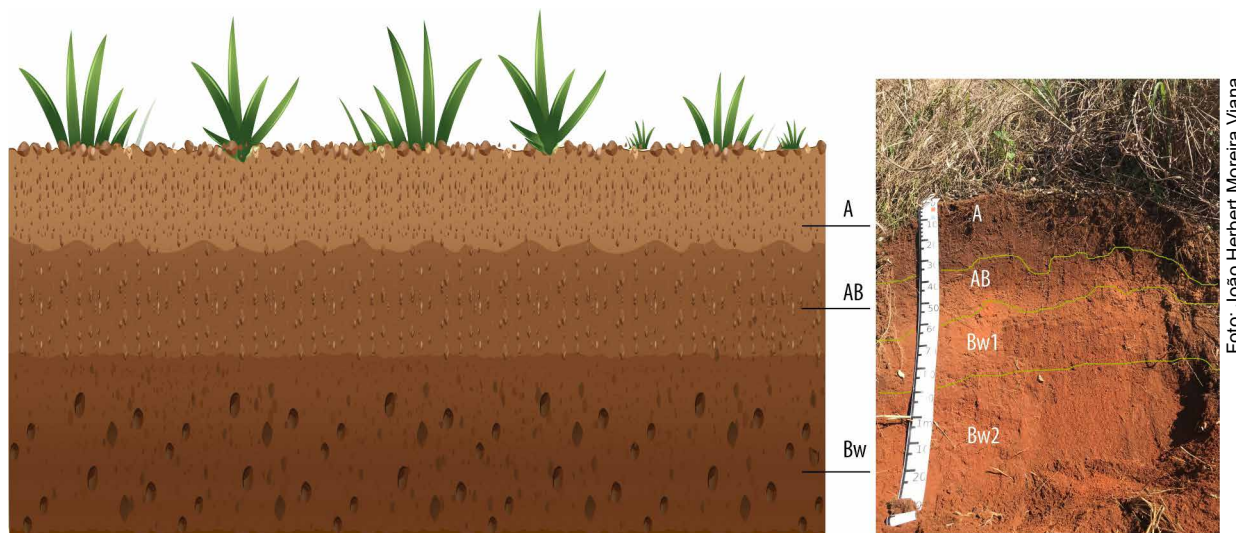


Figura 7. Latossolos e seus perfis muito profundos e transições difusas entre os sub-horizontes.

Ilustração: Paula Cristina Rodrigues Franco.

Foto: João Herbert Moreira Viana

Horizonte plíntico: horizonte com no mínimo 15 cm de espessura com presença de plintita, em quantidade igual ou superior a 15% (por volume), que se forma, geralmente, em terrenos com lençol freático alto ou em solos que apresentem restrição temporária à percolação de água. Predominam em regiões de clima quente e úmido, com relevo plano a suave, de áreas de baixadas sujeitas à flutuação do lençol freático em, ao menos, uma parte do ano.

Horizontes concrecionário e litoplíntico: com a sucessão de ciclos de umedecimento e secagem (redução e oxidação) no perfil do solo, a plintita tende a um endurecimento irreversível, originando concreções de ferro ou ferro e alumínio, denominadas petroplintita. Quando essas concreções e nódulos ferruginosos, com ou sem presença de outros materiais grosseiros, ocupam 50% ou mais do volume do horizonte, com espessura mínima de 30 cm, esse horizonte é classificado como concrecionário

(Figura 8). Nos casos em que a petroplintita forma um contínuo ou predomina em blocos com, no mínimo, 20 cm de tamanho, com espessura mínima de 10 cm, constitui-se então o horizonte litoplíntico (Figura 9). Quando esse horizonte ocorre em profundidades acima de 50 cm, confere ao solo uma camada de retenção da umidade que pode resultar em vantagem para o manejo da água para as culturas.

Outros horizontes subsuperficiais descritos no SiBCS, importantes para a classificação do solo, mas de ocorrência restrita, são o horizonte E al-bico, horizonte cálcico e petrocálcico, horizonte sulfúrico, fragipã e duripã, cujas pequenas dimensões espaciais não reduzem a importância do conhecimento dos solos onde ocorrem, principalmente para sistemas de produção irrigados, por causa da estreita relação de suas características preponderantes com a água do solo.

Horizonte C: não se trata de um horizonte diagnóstico, contudo, é característico da evolução dos



Foto: Manoel Ricardo de Albuquerque Filho

Figura 8. Superfície concrecionária de petroplintita, exumada a partir da erosão diferencial do horizonte superficial.

Foto: Manoel Ricardo de Albuquerque Filho



Figura 9. Solo com horizonte litoplântico em área de Projeto de Produção Irrigada de Frutas, no estado do Tocantins.

solos e dos estádios de intemperismo. É um horizonte mineral composto predominantemente de fragmentos de rochas e algum material terroso. Dá-se o nome de horizonte C a essa camada. Solos em que o horizonte A ocorre diretamente sobre a rocha (R) ou horizonte C são classificados como Neossolos Litólicos (Figura 10). O prefixo lito (= rocha) indica que o solo tem suas características diretamente herdadas da rocha matriz (material de origem). Caracterizam solos com reservatório de água limitado, em função da pequena espessura. A água é retida predominantemente no horizonte A, já que o horizonte C não apresenta estrutura desenvolvida.

Nos solos Neossolos Flúvicos, aqueles formados em depósitos aluviais recentes e caracterizados por uma sucessão de camadas estratificadas sem relação pedogenética entre si, é comum a presença de horizonte glei a maiores profundidades (Figura 11).

As definições e a caracterização desses horizontes e camadas dos solos possibilitam interpretações práticas, não apenas para a classificação taxonômica dos solos na paisagem, mas também para o seu uso e manejo agrícola. Da mesma forma, os demais atributos diagnósticos descritos no SiBCS devem ser considerados na implantação e no manejo de sistemas de produção, especialmente quando tratam de características do solo que afetam sistemas irrigados, como caráter coeso, concrecionário, retrátil, redóxico, sálico, salino, sódico, vértico, matérias sulfídricas e teor de óxidos de ferro, saturação por bases, textura do solo (granulometria) e atividade das argilas (Santos et al., 2018).

Atributos diagnósticos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

Os atributos diagnósticos do SiBCS (Tabela 1) são determinados por análises morfológicas e descrição do perfil do solo no campo (por exemplo: cor,

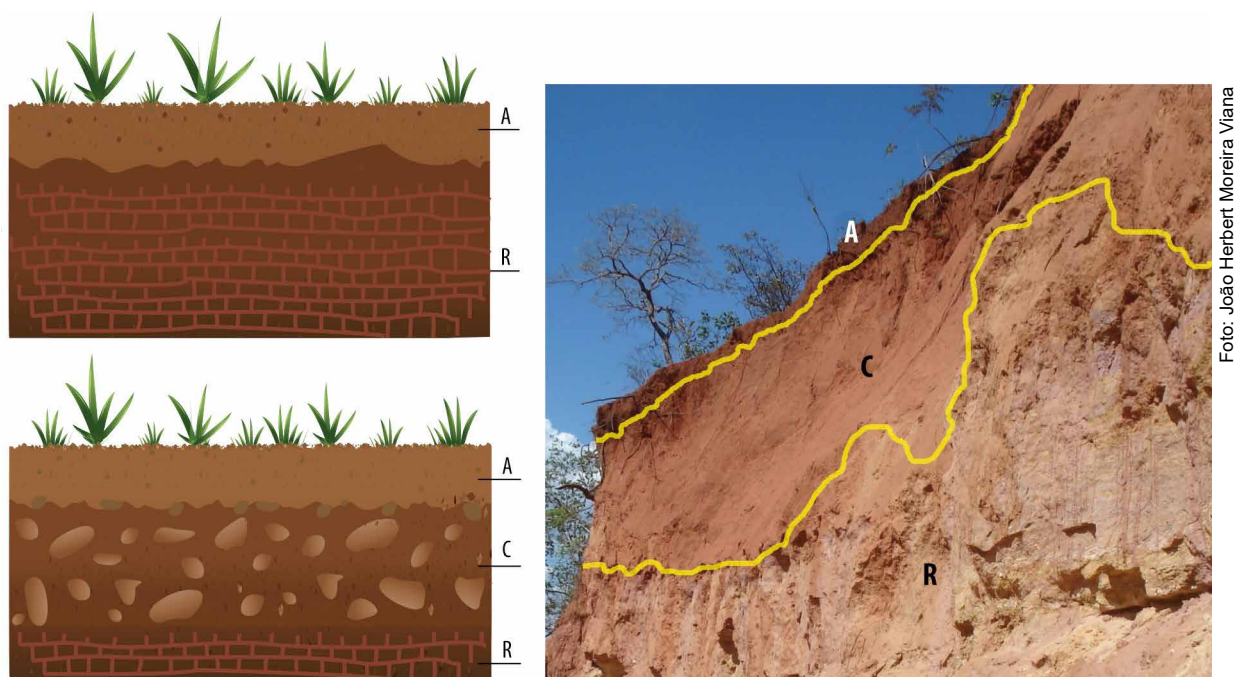


Figura 10. Sequência de horizontes tipo AR e ACR, típica de Neossolos Litólicos.

Ilustração: Paula Cristina Rodrigues Franco.

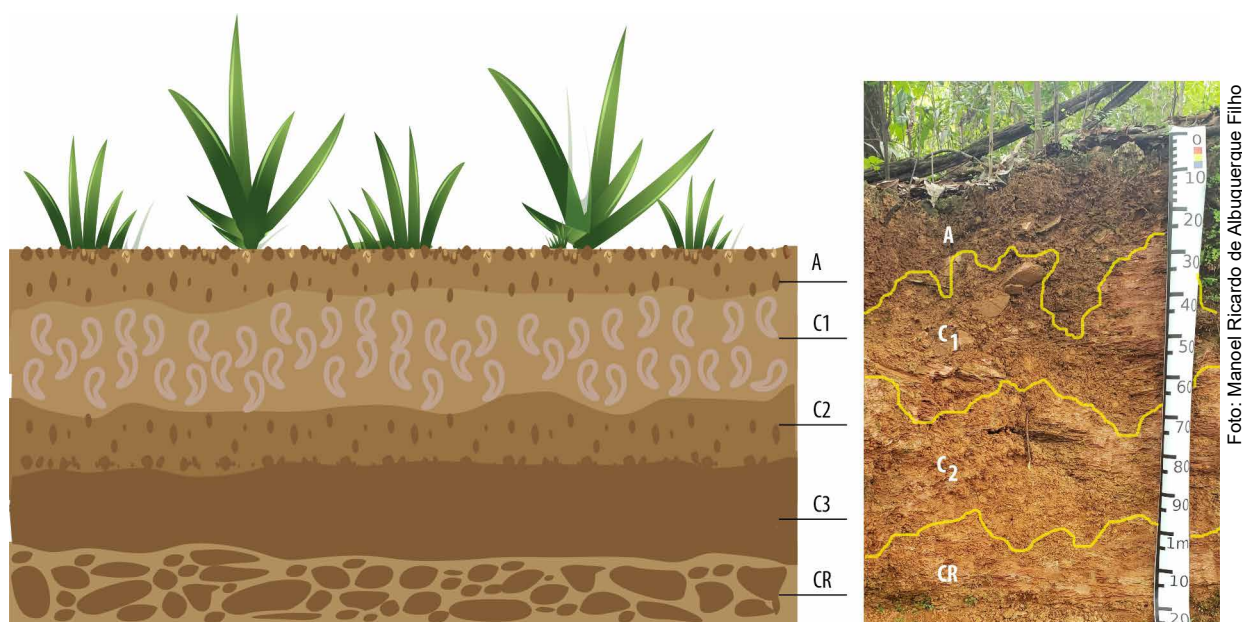


Figura 11. Sucessão de camadas sem relações pedogenéticas entre si em Neossolos Flúvicos (aluviais).

Ilustração: Paula Cristina Rodrigues Franco.

espessura dos horizontes e camadas, estrutura, profundidade, pedregosidade) e por análises laboratoriais complementares (por exemplo: pH, teor de matéria orgânica, saturação por bases, salinidade), além daqueles cuja determinação

é complementada por tabelas de comparação, como no caso da cor do solo, que usa a *Carta de cores de Munsell* (Munsell Color, 2015) como padrão. Esses atributos são determinantes tanto para a classificação taxonômica do solo, como

Tabela 1. Atributos diagnósticos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

Atributo	Definição ⁽¹⁾
Atividade da fração argila	Capacidade de troca de cátions (CTC) da fração argila no horizonte B (inclusive BA e BC) ou C, quando não existir o horizonte B. $CTC \times 1.000/\text{conteúdo de argila}$. Atividade alta (Ta) tem valor igual ou maior que $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e atividade baixa (Tb) tem valor menor que esse
Autogranulação	Agregados granulares ou soltos que se formam naturalmente em camadas superficiais de alguns solos argilosos, em razão de características inerentes ao próprio material
Caráter ácrico	Baixa CTC do solo (soma de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) mais Al^{3+} menor ou igual a $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila), associada a pH em KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ igual ou maior que 5,0 e/ou ΔpH positivo ou nulo ($\text{pH em KCl} - \text{pH H}_2\text{O} \geq 0$)
Caráter alítico	Solo com baixa saturação por bases e com alumínio trocável igual ou maior que $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo, associado à atividade de argila igual ou maior que $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila e saturação por alumínio igual ou maior que 50% e/ou saturação por bases menor que 50%
Caráter alumínico	Solo com teor de alumínio trocável no horizonte B igual ou maior que $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo, associado com baixa saturação por bases (menor que 50%) e saturação por alumínio igual ou maior que 50%
Caráter argilúvico	Concentração de argila no horizonte B que caracteriza um gradiente textural (B/A) igual ou maior que 1,4, mas que não é suficiente para identificar um horizonte B textural, plânico ou espódico
Caráter carbonático	Presença de carbonato de cálcio (CaCO_3) em quantidade igual ou maior que 150 g kg^{-1} de solo
Caráter coeso	Adensamento do horizonte subsuperficial de textura média a muito argilosa, mas com fraca organização estrutural e que se apresenta muito duro a extremamente duro quando seco, passando a friável quando úmido
Caráter concrecionário	Quantidade de petroplintita na forma de nódulos ou concreções igual ou superior a 5% do volume de solo em um ou mais horizontes subsuperficiais, mas em quantidade insuficiente para caracterizar um horizonte concrecionário
Caráter crômico	Cor bem desenvolvida, que se expressa nitidamente no perfil do solo, podendo ser mais avermelhada ou mais amarelada, de acordo com critérios definidos no SiBCS (Santos et al., 2018)
Caráter dúrico	Endurecimento, causado por cimentação forte em um ou mais horizontes do solo, incluindo duripã, ortstein, plácico e outros horizontes com cimentação forte que não se enquadrem como horizontes litoplíntico, concrecionário e petrocálcico
Caráter ebânico	Dominância de cores escuras, quase pretas, na maior parte do horizonte diagnóstico subsuperficial, com predominância de cores conforme definidas no SiBCS (Santos et al., 2018)
Caráter espódico	Acúmulo de compostos organometálicos (provenientes de reações de ácidos orgânicos com argila, minerais e óxidos no solo). O acúmulo ocorre em subsuperfície, a partir do material que migra de horizontes subjacentes (iluviação)
Caráter êutrico	Característica de solos arenosos com ligeiro enriquecimento em bases, mas que não apresenta fertilidade natural acentuada. Solos com pH em água igual ou maior que 5,7 e soma de bases igual ou maior que $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$
Caráter flúvico	Camadas estratificadas ou deposição irregular (errática) de material mineral e/ou orgânico, aluvionar ou colúvio-aluvionar, evidenciando clara influência fluvial
Caráter hipocarbonático	Presença de carbonato de cálcio (CaCO_3) em quantidade maior que 50 g kg^{-1} de solo e menor que 150 g kg^{-1} de solo
Caráter litoplíntico	Distribuição de petroplintita de forma contínua e consolidada em um ou mais horizontes, mas com espessura insuficiente para caracterizar um horizonte litoplíntico

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Atributo	Definição ⁽¹⁾
Caráter plânico	Horizonte adensado, com baixa permeabilidade, cores acinzentadas, escurecidas ou neutras, com ou sem mosqueados, semelhante ao horizonte plânico, mas que não satisfaz todos os critérios deste. Horizonte intermediário a horizonte plânico
Caráter plíntico	Acumulação de plintita mínima de 5% por volume, mas insuficiente para caracterizar o horizonte plíntico, seja pela quantidade ou pela espessura da camada ou horizonte
Caráter redóxico	Camada ou horizonte de coloração variegada ou de mosqueados, típica de ambiente redutor (com saturação temporária com água). Decorre de processo de oxirredução, mas não é suficiente para caracterizar horizonte plíntico ou glei
Caráter retrátil	Retração acentuada da massa de solo quando exposta a secamento por algumas semanas, resultando em fendilhamento vertical pronunciado, mas friável e facilmente desagregado por pressão. É usado para as classes Latossolo e Nitossolo, mas com possível presença de minerais 2:1
Caráter rúbico	Avermelhamento do perfil do solo em profundidade, observado nos Latossolos Brunos e Nitossolos Brunos, com definição de cor segundo os critérios do SiBCS (Santos et al., 2018)
Caráter sálico	Presença de sais mais solúveis em água fria que o gesso, em quantidade tóxica à maioria das culturas. Determinada no extrato de saturação, por condutividade elétrica igual ou maior que 7 dS m ⁻¹ (a 25 °C), em alguma época do ano
Caráter salino	Semelhante ao caráter sálico, mas com menor condutividade elétrica no extrato de saturação (igual ou maior que 4 dS m ⁻¹ e menor que 7 dS m ⁻¹ (a 25 °C), em alguma época do ano
Caráter sódico	Horizonte ou camada que apresenta saturação por sódio igual ou maior que 15%
Caráter solódico	Horizonte ou camada que apresenta saturação por sódio variando de 6% a 15%
Caráter sômbrico	Acumulação subsuperficial de húmus, de cor escura e com espessura maior que 10 cm, mas que não atende à definição de horizonte espódico, não caracteriza um horizonte A enterrado, levando-se ainda em consideração outros critérios descritos no SiBCS (Santos et al., 2018)
Caráter vértico	Horizonte com superfície de fricção, com fendas ou estruturas cuneiformes e/ou paralelepípedicas em quantidade e expressão insuficiente para caracterizar o horizonte vértico
Cerosidade	Concentração de argilas e outros materiais inorgânicos na forma de preenchimento de poros, revestindo unidades estruturais ou de partículas das frações grosseiras e conferindo a essas, um aspecto lustroso e brilho graxo, similar a cera derretida e escorrida
Constituição esquelética do solo	Volume de material mineral maior que 2 cm em proporção entre 35% e 90% do volume total da massa do solo
Contato lítico	Presença de material rochoso muito fracamente alterado (pouco intemperizado) subjacente ao solo que impede ou limita o livre crescimento de raízes e a circulação de água
Contato lítico fragmentário	Contato lítico que apresenta fragmentação natural que permite a penetração de raízes e circulação de água
Distribuição de cascalhos no perfil	É a proporção de cascalho (material inorgânico com tamanho entre 2 mm e 2 cm) em relação à fração terra fina (menor que 2 mm) e que pode determinar mudança no grupamento textural, conforme os critérios do SiBCS (Santos et al., 2018)
Gilgai	Saliências convexas ou alternância de pequenas depressões e elevações em áreas quase planas, caracterizando um microrrelevo típico de solos argilosos que têm alto coeficiente de expansão com aumento da umidade

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Atributo	Definição ⁽¹⁾
Grau de decomposição do material orgânico	Utilizado apenas na classe dos Organossolos, refere-se ao estágio de decomposição predominante do material orgânico do solo em estudo. Compreende os estágios fíbrico, hémico e sáprico de decomposição, de acordo com critérios descritos no SiBCS (Santos et al., 2018)
Grupamento textural	É a reunião de uma ou mais classe de textura, agrupadas em textura arenosa, média, argilosa, muito argilosa e siltosa, conforme os critérios do SiBCS (Santos et al., 2018)
Material mineral	Formado predominantemente por compostos inorgânicos, em vários estágios de intemperismo
Material orgânico	Resíduos vegetais em diferentes estágios de decomposição, inclusive carvão e biomassa no solo, decorrente de processos naturais, em quantidade igual ou maior que 80 g kg ⁻¹ na fração terra fina seca ao ar (TFSA)
Material sulfídrico	Materiais que contêm compostos de enxofre oxidáveis, que ocorrem em solos minerais ou orgânicos, em locais permanentemente encharcados, geralmente de áreas com água salobra
Minerais alteráveis	São minerais instáveis, mais facilmente intemperisáveis que o quartzo e argilas do grupo das caulinitas, principalmente em clima úmido, tais como feldspatos, anfibólios e outros descritos no SiBCS (Santos et al., 2018)
Mudança textural abrupta	Aumento do teor de argila em pequena distância de transição entre o horizonte A ou E e o subjacente B
Petroplintita	Material endurecido, normalmente proveniente da consolidação da plintita após sucessivos ciclos de umedecimento e secagem. Com o tempo e a aglomeração de mais material, originam nódulos e concreções ferruginosas (cangas lateríticas)
Plintita	Matéria de forma laminar, cilíndrica, esferoidal ou irregular constituída de mistura de argila e ferro, ou ferro e alumínio, que ocorre como mosqueado na matriz do solo. É formada em ambiente úmido, onde permanece macia e facilmente cortada
Relação silte/argila	É o quociente obtido pela divisão do teor de silte pelo de argila, determinados pela análise granulométrica da fração terra fina seca ao ar do solo (TFSA). É utilizada para o horizonte B e serve de indicativo para o grau de intemperismo dos solos, segundo critérios descritos no SiBCS (Santos et al., 2018)
Saturação por bases	É a taxa percentual (V%) de cátions básicos em relação à CTC (V% = 100 x soma de bases/CTC total) e caracteriza solos eutróficos quando igual ou maior que 50%, ou distróficos quando menor que esse valor
Superfície de compressão	Superfícies alisadas, virtualmente sem estriamentos, provenientes de compressão na massa do solo em decorrência da expansão do material por ação de hidratação. São comuns em solos argilosos ou muito argilosos, podendo ser brilhantes ou foscas
Superfície de fricção (<i>slickensides</i>)	Superfícies alisadas e lustrosas observadas na matriz do solo, resultantes da expansão e contração do material argiloso por causa da variação da umidade no solo
Teor de óxido de ferro	Teor de Fe ₂ O ₃ obtido por extração com ataque sulfúrico, utilizado para separar as classes de solos com baixo, médio, alto e muito alto teor de óxidos de ferro, de acordo com os critérios do SiBCS (Santos et al., 2018)

⁽¹⁾ Definição resumida ou adaptada do SiBCS (Santos et al., 2018).

para interpretações acerca do seu funcionamento no meio natural ou sob um determinado manejo em sistemas de produção, notadamente os atributos relacionados à fertilidade do solo (CTC, pH, textura, matéria orgânica, etc.), rotineiramente utilizados para a recomendação de aplicação de corretivos e fertilizantes nos solos.

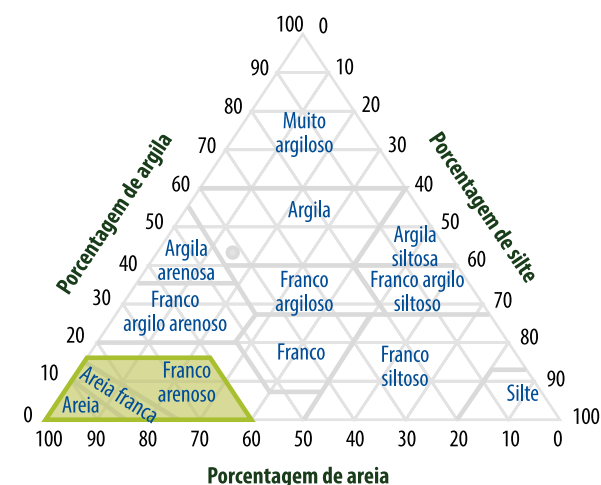
Classes de solo e disponibilidade de água

Assim que termina a chuva e/ou irrigação, se a água que tenha ficado na superfície desaparecer, dizem que o processo de infiltração ter-

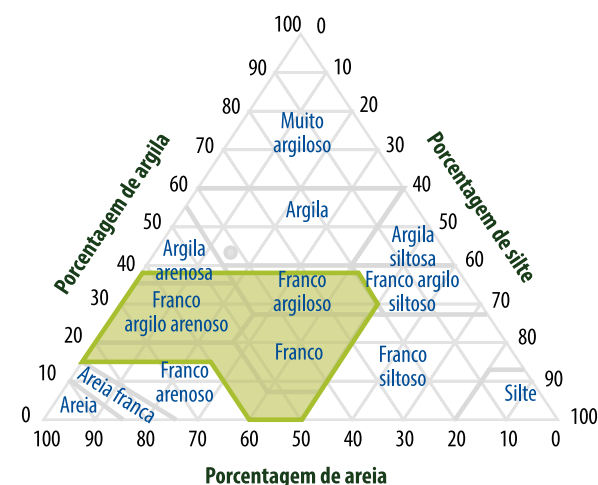
minou. Na realidade, o processo de infiltração não para bruscamente como se tivesse fechado uma torneira. Num solo saturado, a água tem diferentes caminhos. Parte se move para baixo, ou seja, para camadas mais profundas do solo sob a ação do potencial gravitacional, outra parte se move segundo outros potenciais, os que denominamos de redistribuição.

A infiltração é uma das características físicas que diferenciam os solos, que apresentam diferenças na condutividade hidráulica, permeabilidade e capacidade de retenção dependentes

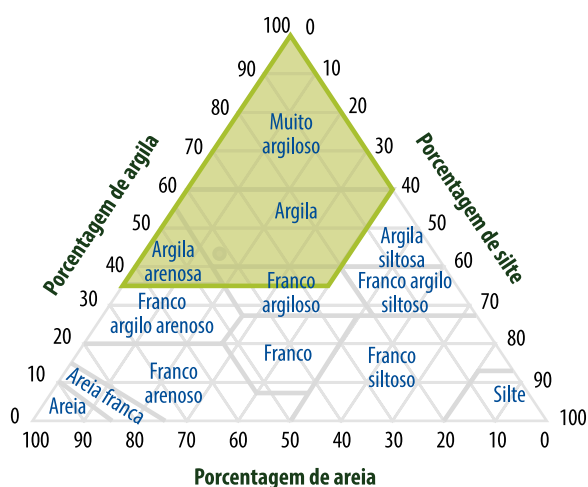
de fatores como estrutura, grupamento textural, macro e microporosidade, profundidade e declividade. Utilizando-se curvas características de umidade provenientes de estudos de solos brasileiros desenvolvidos em diferentes locais definiram-se funções que podem ser utilizadas para estimar a disponibilidade de água no solo. Sans et al. (2001) estabeleceram funções que permitiram agrupar as classes de solos segundo as disponibilidades de água para a cultura do milho, sugerindo a seguinte classificação (Figura 12).



Tipo 1 - Solo de baixa retenção de água: solos com menos de 5% de água disponível (representado por solos com mais de 60% de areia e teores de argila menores do que 15%).



Tipo 2 - Solo de média retenção de água: solos entre 5% e 15% de água disponível (teores de argila entre 15% e 35%).



Tipo 3 - Solo de alta retenção de água: solos com mais de 15% de água disponível (teores de argila maiores do que 35%).

Figura 12. Classes de solos segundo as disponibilidades de água para a cultura do milho.

Fonte: Sans et al. (2001).



Em sistemas de produção irrigados, ao contrário do que sugere o modelo de Sans et al. (2001), Katerji e Mastrorilli (2009) mostraram que, quando apenas a textura foi considerada, a eficiência no uso da água pela cultura reduziu-se significativamente com o aumento da textura, resultando em decréscimo de 22% a 25% na produtividade de milho, batata e girassol.

Os autores, portanto, consideraram apenas três grupos, quando a textura é a única característica considerada, ou seja, baixa, média e alta retenção de água, segundo o armazenamento de água na zona radicular (40 cm de profundidade) (Tabela 2). Nesse modelo simplificado, solos que armazenam até 20 mm de água apresentam baixa retenção de água e são normalmente arenosos. Solos que armazenam até 40 mm têm média retenção e textura média, enquanto aqueles que retêm 60 mm ou mais são solos de alta retenção de água, normalmente de textura argilosa ou mais fina. Contudo, conforme já destacado, outras características necessitam ser levadas em conta, mesmo quando se trata de textura, conforme destacado por Reichert et al. (2009, 2011), que demonstraram haver maior disponibilidade de água em solos com maior teor de silte e menor teor de areia e sugeriram uma grande amplitude de água disponível para cada classe textural.

Características de algumas classes de solo e irrigação

Solos profundos e bem drenados

São solos que ocorrem tipicamente em relevo nos chapadões, em relevo plano, embora também predominem nos mares de morros da Zona da Mata mineira e nos Tabuleiros Costeiros do Nordeste. Normalmente, apresentam baixa fertilidade natural e excelentes condições para mecanização. Mesmo quando muito argilosos, podem apresentar uma grande permeabilidade, em razão da estrutura granular muito pequena e muito bem expressa.

Embora muitos solos possam se enquadrar nesse grupo, os Latossolos compreendem a principal classe, apresentando boa conformação mesmo sob relevo um pouco mais ondulado. A boa estruturação, profundidade e permeabilidade desses solos lhes conferem uma elevada taxa de infiltração e capacidade de armazenamento de água, fazendo com que a água das chuvas ou de irrigação percole sob a forma de uma lâmina uniforme não localizada, o que é de grande importância para a disponibilidade de água às culturas e resistência à erosão. Tal fato explica o aproveitamento de água pelas raízes e grande profundidade, proporcionan-

Tabela 2. Referência prática para a capacidade de retenção de água para as principais classes de solos agricultáveis do Brasil.

Capacidade de retenção de água	Classes de solo
Baixa a média	Latossolos Ácricos, Acriférricos, Aluminoférricos e Distroférricos, psamíticos (arenosos) ou de textura média (franco-arenosa), Argissolos Vermelhos, Vermelho-Amarelos ou Acinzentados Distróficos, espessarênicos, arênicos e latossólicos, Cambissolos Distróficos ou Eutróficos latossólicos, Neossolos, Plintossolos Pétricos litoplínticos e concrecionários
Média	Latossolos Distróficos e Eutróficos, Argissólicos, de textura argilosa/média, Argissolos Distróficos, Eutróficos, Latossólicos, de textura argilosa/média, Luvisolos, Cambissolos Argissólicos, Nitossolos Vermelhos e Háplicos, Aluminoférricos e Distroférricos, Planossolos de textura arenosa/média, Plintossolos textura média, Gleissolos textura média
Alta	Latossolos textura argilosa/muito argilosa, Argissolos e Luvisolos textura argilosa/muito argilosa, Nitossolos textura argilosa, Planossolos, Gleissolos, Vertissolos

Fonte: Sans et al. (2001).

do-lhe umidade suficiente durante praticamente todo ano.

O tipo especial no arranjo das partículas de argila nos Latossolos pode também influir na disponibilidade de água. Isto é, quando se trata de Latossolos, não há muita diferença de disponibilidade de água entre os solos quando se varia a textura, desde que a areia seja predominantemente mais fina (Assad et al., 2001). Isso ocorre porque o grau de desenvolvimento da estrutura dos Latossolos determina alta porosidade e uma boa relação entre os macroporos, mais associados à drenagem e aeração do perfil, e os microporos, responsáveis pela retenção da água no perfil e disponibilização às plantas, por capilaridade. Em alguns Latossolos mais argilosos, há um aumento no teor de argila e silte em profundidade, aumentando a sua capacidade de retenção de umidade.

Nos Latossolos de textura franco-arenosa, assim como nos Neossolos Quartzarênicos, a predominância da fração areia implica um sistema extremamente aberto, e a capacidade de retenção de água é muito reduzida, mesmo sob umidade elevada.

Solos com horizonte B textural

Nos solos com B textural, a mudança na textura entre o horizonte superficial e o subsuperficial origina uma descontinuidade no perfil e uma diferença no sistema de poros entre os horizontes. Isso quase sempre significa uma mudança (diminuição) na permeabilidade com a profundidade, principalmente nos Argissolos, que são os solos com horizonte B textural mais comuns no Brasil.

Nos Planossolos, a influência do horizonte B plânico na deficiência da drenagem se mostra ainda mais evidente, formando, por vezes, um lençol d'água suspenso no período chuvoso. Os Planossolos Háplicos, não sálicos, podem ser utilizados sem restrição em sistemas de irrigação, principalmente por inundação para cultivo de arroz, enquanto os Planossolos Nátricos apresentam sério risco de toxicidade para a

maioria dos cultivos, por causa da elevada saturação por sódio trocável.

Foi registrado no levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul, representando aproximadamente 5% da área mapeada, o Brunizem Hidromórfico (Brasil, 1973), atualmente agrupado na classe dos Chernossolos (Santos et al., 2018) e que apresenta horizonte B textural ou B incipiente. Esse solo apresenta o manejo difícil, em razão da estreita faixa de umidade para o preparo, bem como de disponibilidade de águas à cultura, pela presença de argilo-minerais expansíveis, mas o arroz irrigado apresenta alta produtividade quando cultivado nesses solos (Klamt et al., 1985).

Solos hidromórficos¹

Ocupam, geralmente, as partes de depressão da paisagem. Em condições de lençol freático elevado (Figura 13), a irrigação por superfície deve ser preferida (Scaloppi, 1986). Segundo Finkel e Nir (1959), somente quando houver um sistema de drenagem subterrânea efetivo e um controle rigoroso do volume de água aplicada é que se justificaria a irrigação superficial. Há, no entanto, a presença de solos hidromórficos de surgente (formados nas cabeceiras das



Foto: Manoel Ricardo de Albuquerque Filho

Figura 13. Solo hidromórfico (Gleissolo) da várzea do Rio Tocantins, Palmas, TO.

¹ Solos que apresentam excesso de água no perfil, ainda que esporadicamente.

veredas-várzeas ou clareiras de vegetação rasteira, com palmáceas), que apresenta inclusive declives acentuados.

Os solos hidromórficos gleizados, de coloração cinza e esbranquiçada, possuem permeabilidade muito baixa. Ao longo dos canais de drenagem, é comum a ocorrência de desbarrancamento, o qual é criado pelo desnível entre o fundo do canal e a superfície do terreno.

Os Gleissolos são solos minerais, hidromórficos, que apresentam horizonte glei dentro de 50 cm a partir da superfície ou a profundidades entre 50 cm e 150 cm, desde que imediatamente abaixo de horizonte A ou E ou horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos e atendendo, ainda, às demais exigências descritas no SiBCS (Santos et al., 2018).

São solos aptos para cultivo com arroz irrigado ou sistemas de subirrigação, uma vez que se encontram permanentemente ou periodicamente saturados por água. Se drenados, podem ser utilizados para pastagem, para hortaliças, para milho, para feijão, para cana-de-açúcar, etc. Como sugestões básicas de manejo, tem-se a drenagem artificial das partes mais alagadas e a correção da fertilidade por meio de calagens e adubações, conforme as recomendações baseadas na análise de solo, observados os demais aspectos econômicos.

O Gleissolo Tiomórfico apresenta compostos de enxofre e mosqueados (comumente alaranjados) de sulfatos e sulfetos, cuja oxidação após a drenagem artificial desses solos resulta em pH bastante ácido ($\text{pH em H}_2\text{O (1:1)} < 3,5$), o que torna a área inapta a qualquer uso agrícola.

Já nos Plintossolos, a presença do horizonte plíntico (Santos et al., 2018) é o principal indicativo de restrições temporárias à percolação da água ou oscilação do lençol freático. Contudo, quando o horizonte se apresenta abaixo de 40 cm de profundidade, em relevo plano, a restrição à drenagem pode representar economia no uso de água, em sistemas irrigados.

Deve ser utilizado preferivelmente com arroz irrigado ou pastagens, em razão da possibilidade de endurecimento irreversível da plintita quando esse solo sofre ressecamento no horizonte B, o que vai limitar a profundidade efetiva desses solos com relação ao desenvolvimento do sistema radicular, ao longo do tempo (Klamt et al., 1985).

Solos halomórficos²

Encontram-se em depressões onde pode ocorrer acumulação e excesso de sais solúveis, que são carregados pela enxurrada ou pelo lençol freático, podendo ainda ter uma origem local (autóctone), como resultado da formação do solo em áreas de influência marinha pretérita. Além disso, esses solos podem ser salinizados pelo manejo incorreto do sistema de produção, como a drenagem incompleta da água de irrigação, o uso de água com alto teor de sais solúveis, excesso de fertilizantes e outros insumos salinos.

A remoção dos sais solúveis, através de lixiviação utilizando-se água não salina, favorece a germinação de sementes e o desenvolvimento radicular. A tolerância da cultura ao excesso de sais é também um fator crítico. Geralmente, as culturas de feijoeiro, de rabanete, de rosáceas, de citros, de morango e de abacateiro são enquadradas como culturas sensíveis; a maioria dos cereais e das culturas olerícolas, como feigueira, videira, melão, etc., como tolerantes; e cevada, beterraba açucareira, algodão, capim-rhodes, capim-bermuda, aspargo, espinafre, etc., como plantas muito tolerantes.

Classes de drenagem dos solos

Nos levantamentos de solos, o arejamento é inferido a partir da classe de drenagem do solo, que é determinada por um critério de avaliação comparativa entre cada solo e um conjunto de

² Solos com salinidade acentuada.

oito padrões referenciais. A descrição sumária desses padrões (Tabela 3) tende, na prática, a ser substituída por alguns referenciais (os exemplos), aferidos por um processo de comparação, principalmente visual. Esse processo é chamado de correlação, nas geociências.

Uma vez que as trocas gasosas e as interações do ar do solo com a fase líquida (incluindo ácidos orgânicos e exsudatos radiculares) são de difícil determinação, os critérios de correlação mencionados são muito baseados na cor, em particular nas cores gleizadas, isto é, a cor cinza é indicadora, por esse critério, de deficiência de oxigênio (estagnação de água, ainda que temporária), enquanto cores mais avermelhadas e/ou amareladas evidenciam solos bem drenados.

Mesmo considerando esse aspecto, é facilmente constatado na paisagem brasileira que os solos ricos em ferro dificilmente têm cores

cinzentas, isto é, suas cores são mais vivas do que aquelas dos mais pobres em ferro, quando situados nas mesmas condições em termos de lençol freático. Assim, os solos dos terraços da Zona da Mata de Minas Gerais, de cores vivas e até um pouco avermelhadas, pelos relativamente altos teores de ferro que possuem, apresentam considerável deficiência de oxigênio na época chuvosa, prejudicando algumas culturas, como o feijoeiro, sendo até mesmo um ambiente não muito favorável às culturas mais sensíveis, como o abacateiro.

Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação

No SiBCS, embora as informações permitam, além da classificação, sua caracterização para uso e manejo em todo o território nacional, a

Tabela 3. Descrição das classes de drenagem e exemplos.

Renovação	Classe	Exemplo
Muito rápida, por excessiva permeabilidade, declives muito íngremes ou ambos	Excessivamente drenado	Solos muito arenosos e Latossolos gibbsíticos ("pó de café")
Rápida, em perfis permeáveis com pequena diferenciação	Fortemente drenado	Latossolos de textura média
Rápida em perfis permeáveis com pequena diferenciação	Acentuadamente drenado	Latossolos de textura argilosa a média
Fácil, mas não rapidamente, tem mosqueado de redução, exceto a grandes profundidades	Bem drenado	Nitossolos, Argissolos, e Latossolos com baixos teores de ferro e caulíníticos
Lenta, perfil permanece molhado por pequena parte do tempo, camada de permeabilidade lenta e lençol freático no horizonte B, ou logo abaixo, e/ou remoção da lateral interna	Moderadamente drenado	Argissolos e Cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas
Lenta, perfil molhado por muito tempo, indício de gleização nas partes baixas	Imperfeitamente drenado	Vertissolos, Planossolos
Lençol freático na superfície ou próximo a ela em boa parte do ano	Mal drenado	Gleissolos
Lençol freático na superfície ou próximo a ela na maior parte do ano; estagnação de água	Muito mal drenado	Orgânicos, Glei Húmico (alguns), Glei Tiomórfico

Fonte: Resende (1986).

maneira complexa como os conceitos são apresentados dificulta a compreensão das pessoas menos relacionadas à pedologia. Desse modo, frequentemente essas informações não são consideradas, ou são avaliadas superficialmente ou, ainda, são interpretadas erroneamente, afetando o uso e o manejo sustentável do solo nos sistemas de produção agrícola.

Além disso, nesses sistemas de produção, é necessário levar em conta variáveis sobre características das culturas, das tecnologias e até mesmo do perfil do produtor, que não são objeto do SiBCS. Dessa forma, os manuais de interpretações técnicas complementam o SiBCS e proporcionam a interpretação mais prática das suas informações.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (SiBCTI), com enfoque no Semiárido brasileiro (Amaral, 2011), é uma metodologia que define a potencialidade do ambiente para desenvolver determinada cultura vegetal sob determinado tipo de irrigação. Procura classificar as terras segundo a interação de vários planos de informação: solo e edafológicas, água e especificidades da planta; de modo que o ambiente seja avaliado de forma integrada, maximizando o manejo da agricultura irrigada, conforme ilustrado na Figura 14.

O objetivo do SiBCTI é, a partir de informações sistematizadas, classificar a aptidão agrícola do solo em uma propriedade para a implantação de sistemas irrigados de produção, proporcionando ao usuário um leque de alternativas para a tomada de decisão a respeito de culturas e sistemas de irrigação a serem implantados. A metodologia SiBCTI³ disponibiliza em seu sítio diversas informações, além de um software de apoio em ambiente web, que objetiva agilizar e evitar erros na classificação. Ainda como apoio, disponibilizou-se no endereço⁴ diversos ambientes didati-

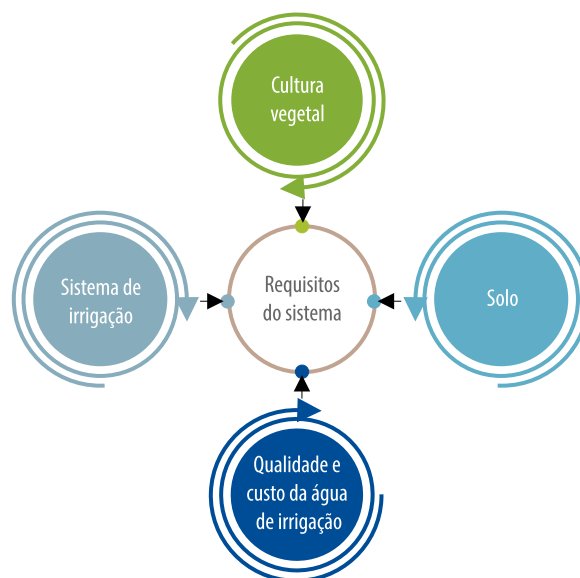


Figura 14. Planos de informação que fornecem os requisitos do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (SiBCTI).

Fonte: Amaral (2011).

camente classificados e comentados, utilizando a metodologia SiBCTI (Amaral; Botelho, 2015).

A base conceitual do SiBCTI é a metodologia do Bureau of Reclamation (Burec) (Estados Unidos, 1953), em que a classe de solo para irrigação é determinada por uma relação complexa de parâmetros relativos a diferentes níveis de deficiência do solo quanto à drenagem e permeabilidade, à topografia e necessidade de sistematização, à aptidão agrícola, ao uso e manejo do solo e à condutividade hidráulica, principalmente. Contudo, a experiência acumulada, no Brasil, destacadamente no manejo dos solos e sistemas de irrigação da região semiárida, possibilitou o aperfeiçoamento do método Burec, com eliminação de informações desnecessárias, ponderação de parâmetros considerados redundantes e estabelecimento de novos enfoques para a relação custo-benefício potencial da área analisada. Desse modo, o SiBCTI sintetiza as classes de terras para irrigação conforme o parâmetro mais limitante ligado ao solo ou à qualidade e ao custo de captação da água de irrigação para cada classe (Tabela 4).

³ Disponível em: <http://sibcti.cnps.embrapa.br>.

⁴ Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1039482/curso-sobre-o-sibcti-embasamento-teorico-e-pratico-com-enfoque-na-regiao-semiarida>.

Tabela 4. Simbologia referente aos parâmetros relacionados ao solo e à qualidade e ao custo de captação da água para irrigação no Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (SiBCTI).

Parâmetros ligados ao solo	
Simbologia	Parâmetro
<i>Z</i>	Profundidade (cm)
<i>V</i>	Textura (g dag ⁻¹)
<i>C</i>	Capacidade de água disponível (mm)
<i>Y</i>	Ca + Mg (cmol _c dm ⁻³)
<i>T</i>	CTC Total (cmol _c dm ⁻³)
<i>M</i>	Alumínio trocável (cmol _c dm ⁻³)
<i>H</i>	pH em água
<i>S</i>	Saturação por sódio trocável (%)
<i>E</i>	Condutividade elétrica no extrato saturado (dS m ⁻¹)
<i>K</i>	Condutividade elétrica (cm h ⁻¹)
<i>I</i>	Velocidade de infiltração básica (cm h ⁻¹)
<i>W</i>	Profundidade da zona de redução (cm)
<i>A</i>	Mineralogia da argila
<i>D</i>	Espaçamento entre drenos (m)
<i>G</i>	Declividade do terreno (%)
<i>P</i>	Pedregosidade
<i>R</i>	Rochosidade
<i>B</i>	Posição na paisagem, zona abaciada.
Parâmetros ligados à qualidade e custo de captação da água de irrigação	
Simbologia	Parâmetro
<i>e</i>	Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)
<i>s</i>	Relação de absorção de sódio, RAS (mmol _c L ⁻¹)
<i>c</i>	Concentração de cloreto (mg L ⁻¹)
<i>f</i>	Concentração de ferro (mg L ⁻¹)
<i>b</i>	Concentração de boro (mg L ⁻¹)
<i>d</i>	Distância de captação da água (km)
<i>h</i>	Diferença de cota da captação

Fonte: Amaral (2011).

Parâmetros do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação relacionados ao solo

Profundidade do solo (*Z*): é a espessura que o perfil apresenta sem impedimento à livre

penetração do sistema radicular, ou seja, sem barreira física como rocha consolidada, duripã, fragipã, horizontes litoplântico, plântico, plântico ou elevado lençol freático. É determinada em cm e considera duas situações: profundidade até a camada semipermeável (permeabilidade limitada, mas existente) e profundidade até a camada impermeável (rocha consolidada, por exemplo). Esse parâmetro influencia tanto na propensão da terra à salinização pela altura do lençol freático, quanto no manejo mecanizado do solo, como instalação de drenagem entubada, quando a camada permeável se encontra a menos de 100 cm de profundidade.

Textura (*V*): diz respeito ao grupamento textural, conforme descrito no SiBCS. Considerando-se apenas esse parâmetro, solos com textura médio-arenosa ou mais grosseira (franco-arenosa e arenosa) são considerados de melhor resposta econômica em sistemas irrigados que aqueles de textura mais fina e com mineralogia de argilas 2:1, como os Vertissolos.

Capacidade de água disponível (*C*): é o teor de água do solo compreendido entre a capacidade de campo (*CC*) e o ponto de murcha permanente (*PMP*). É o conteúdo de água que o solo pode reter em seu perfil depois de cessada a drenagem natural e que está disponível às plantas.

$$Cz = (CC - PMP)DZ/100 \quad (1)$$

em que *C* é a camada ou capacidade ou lâmina de água disponível para a camada *Z*; *CC* é o teor de água na capacidade de campo ou umidade equivalente, dependendo da textura do solo (%); *PMP* é o teor de água no ponto de murcha permanente (%); *D* é a densidade do solo; e *Z* é a camada considerada (20 cm, 60 cm ou 120 cm).

Ca + Mg (*Y*): embora sejam macronutrientes muito importantes e requeridos em grandes quantidades pelas culturas, as tecnologias modernas de correção e fertilização do solo reduzem o peso desse parâmetro no sistema, mas

as informações ainda são requeridas, para as camadas 0–20 cm, 20 cm–60 cm e 60 cm–120 cm.

Valor T (*T*): refere-se à capacidade de troca de cátions, conforme descrita no SiBCS e também perdeu importância relativa no sistema em função do avanço tecnológico e consequente facilidade de correção por meio da fertilização do solo.

Alumínio trocável (*M*): parâmetro descrito conforme SiBCS, considerado pouco restritivo em função da fácil correção por calagem e gessagem.

pH do solo medido em água (*H*): caracteriza a acidez ou alcalinidade do solo, sendo considerado ideal para a maioria das culturas quando se encontra na faixa de 5,0 a 7,0. Sua correção é fácil e considerada de baixo custo apenas quando está na faixa de acidez moderada a neutra. Em solos com problema de alcalinidade ou excesso de sódio, o problema é de difícil solução, comprometendo tanto a qualidade do solo quanto a produtividade da cultura.

Saturação por sódio trocável (*S*): expressa em porcentagem de sódio trocável (100 Na T^{-1}), indica a presença de solos salino-sódicos ou sódicos e tem elevado custo de recuperação, podendo tornar a terra inapta ao uso agrícola em função da severidade do problema, frente às tecnologias atuais de manejo. As culturas apresentam sensibilidade variável à concentração do sódio na solução do solo, sendo consideradas sensíveis aquelas com intolerância a teores menores de 15%, como o milho e o feijão, e semitolerantes aquelas que suportam teores de 15% a 40%, como a cana-de-açúcar.

Condutividade elétrica (*E*): é uma medida indireta da salinidade do meio, relacionada aos constituintes iônicos totais na solução. Complementada pela saturação por sódio trocável e o pH do solo, fornece informação sobre a salinidade ou sodicidade, bem como situações transicionais. A salinidade é considerada negligenciável a valores de E entre 0 e $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ (a 25°C), enquanto somente poucas culturas,

muito tolerantes, produzem satisfatoriamente em solos com E maior que 16 dS m^{-1} (a 25°C). A maioria das culturas agrícolas tem sua produtividade afetada em algum nível com valores de E entre $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ e $8,0 \text{ dS m}^{-1}$ (a 25°C).

Condutividade hidráulica (*K*): é o volume de água que atravessa por unidade de tempo uma determinada área do solo, impulsionada por uma diferença de potencial. Dá ideia da facilidade com que a água é transportada no perfil do solo. É função de propriedades como distribuição, tamanho e forma dos constituintes sólidos do solo, tortuosidade, tamanho e distribuição dos poros. É definida como muito lenta quando menor que $0,4 \text{ cm h}^{-1}$, lenta (entre $0,4 \text{ cm h}^{-1}$ e $2,0 \text{ cm h}^{-1}$), moderada (entre $2,0 \text{ cm h}^{-1}$ e $8,0 \text{ cm h}^{-1}$), rápida (entre $8,0 \text{ cm h}^{-1}$ e 12 cm h^{-1}) ou muito rápida, quando maior que 12 cm h^{-1} .

Velocidade de infiltração (*I*): é uma determinação complementar à condutividade hidráulica, constituindo na aferição da velocidade de entrada da água no solo, sendo fundamental para a escolha do método de irrigação a ser empregado, principalmente o sistema por superfície, em que subsidia os cálculos de comprimento de sulco. Para sistemas irrigados por aspersão, por exemplo, os valores menos limitantes de velocidade básica de infiltração (VIB) na classe 01 do SiBCTI ficaram entre $1,2 \text{ cm h}^{-1}$ e 20 cm h^{-1} para as culturas da cebola e do melão (Amaral, 2011).

Profundidade da zona radicular de redução (*W*): compreende a superfície superior de uma zona de saturação, ou seja, representa a variação da altura do lençol freático e tem grande efeito sobre o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas. Assim, quanto mais próxima à superfície do solo, mais prejudicial ao sistema de produção.

Mineralogia da argila (*A*): fornece informações para o entendimento do comportamento físico do solo e, consequentemente, sobre a condutividade hidráulica, drenagem, adaptação a dife-

rentes tipos de sistemas de irrigação, manejo da fertilidade e desenvolvimento das culturas.

Espaçamento entre drenos (D): é relacionado à necessidade de implementação de obras de drenagem subterrânea e afeta diretamente a economicidade da implantação e manutenção da irrigação eficiente do sistema. Quanto menor a condutividade hidráulica de um solo, menor o espaçamento entre drenos e maior o custo do sistema.

Declividade (G): relacionada ao gradiente de inclinação do terreno, esse parâmetro influencia, principalmente, os sistemas de irrigação por superfície, podendo tanto afetar a distribuição da lâmina d'água aplicada quanto provocar a erosão do solo. Incide diretamente sobre os custos do sistema e pode tornar inviável o uso da terra para a produção irrigada.

Pedregosidade (P): afeta tanto o volume útil explorado pelo sistema radicular das culturas, quanto a uniformidade da lâmina d'água, podendo ainda tornar inviável o preparo do terreno. Contudo, é contornável, dependendo da intensidade e profundidade da ocorrência no solo.

Rochosidade (R): é um parâmetro de efeitos mais severos que a pedregosidade, que interfere fortemente no uso de implementos agrícolas e irrigação por superfície.

Posição na paisagem (B): refere-se, principalmente, às restrições de terrenos em áreas abaciais e depressões, onde não existe a possibilidade de drenagem natural para eliminação do excesso de sais. Essas áreas apresentam elevado risco de salinização em sistemas irrigados, sendo esse um parâmetro restritivo para enquadramento em outras classes do sistema, que não a classe 6 (apresentada no item Classes de Irrigação do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (SiBCTI) deste capítulo).

Em suma, a classificação das terras para irrigação proposta no SiBCTI não prescinde do SiBCS. Ao contrário, a precisão do método é tanto maior quanto mais aprofundada for a caracterização do solo e das unidades de ma-

peamento nos níveis categóricos do SiBCS. É desejável, assim, utilizar informações de levantamentos pedológicos detalhados ou ultra-detalhados (de alta intensidade e com escala grande), a fim de determinar os parâmetros de solos exigidos no SiBCTI. O sistema foi formulado de maneira similar à classificação por árvore de decisão, com regras e parâmetros pré-estabelecidos por critérios especialistas para cada classe de terra, ou seja, regras construídas pelo conhecimento relativo à terra (solo e ambiente) e à água, que permite a entrada ou seleção de dados para cada atributo do sistema. Em suma, o sistema define, para cada situação específica (solo x sistema de irrigação x cultura vegetal e qualidade e custo da água), um intervalo de produtividade esperada, baseado em informações de campo, complementado ou não com bibliografia (Amaral, 2011).

Da mesma forma dos parâmetros relacionados ao solo, descritos acima, o SiBCTI (Amaral, 2011) apresenta, detalhadamente, os parâmetros do sistema relacionados à qualidade e ao custo de captação da água para irrigação, resumidos na Tabela 4.

Parâmetros do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação relacionados à água de irrigação

Não só as variáveis de solo devem ser consideradas em um sistema de classificação de terras para irrigação, mas também aquelas referentes ao principal insumo, que é a água, bem como a interação entre elas, uma vez que de nada adianta a existência de solos de boa aptidão se a água não apresenta a mesma qualidade ou apresenta alto custo de captação. Portanto, o sistema de classificação de terras deve ser entendido como um ente único, em que as características da água fazem parte do todo.

Condutividade elétrica (e): a determinação da condutividade elétrica é uma maneira indireta de inferir a quantidade de sais presentes em uma solução. Quanto maior a condutividade, maior a concentração. A adequação da água para fins de irrigação não depende

apenas do teor total dos sais dissolvidos, mas também dos tipos presentes. À medida que o conteúdo total dos sais aumenta, os problemas no solo e nas plantas se agravam, o que requer o uso de práticas especiais de manejo, com o objetivo de manter a produtividade das culturas em níveis aceitáveis. As águas de alta salinidade requerem lixiviação contínua, a fim de que não ocorra risco de nível freático alto, o que torna praticamente impossível manter por longo prazo a agricultura irrigada, sem a instalação de adequado sistema de drenagem. Se a drenagem for suficiente, o controle da salinidade exigirá apenas bom manejo para assegurar a água necessária às culturas e à lixiviação dos sais dentro dos limites de tolerância das plantas.

Relação ou razão de adsorção de sódio (*s*):

esta variável expressa o risco que o alto teor de sódio na água de irrigação poderá trazer não só ao solo (sodificação) como, nesse caso, também às plantas cultivadas, principalmente se o sistema de irrigação considerado for o de aspersão, bem como poderá trazer danos ao próprio sistema de irrigação.

Teores relativamente altos de sódio em relação aos de cálcio e magnésio na água de irrigação, normalmente superiores a 3:1, ou mesmo baixos valores absolutos de cálcio no solo, tendem a prejudicar suas propriedades físico-químicas, desequilibrando-o estruturalmente e por fim reduzindo sua permeabilidade. Esse impacto geralmente ocorre de forma mais intensa nas camadas superficiais.

Cloreto (*c*): variável importante por originar a toxicidade mais frequente em água de irrigação. É um elemento tóxico para boa parte das plantas cultivadas quando presente em grande quantidade, principalmente se o sistema de irrigação considerado for o de aspersão.

Ferro (*f*): variável que tem sua importância relacionada mais à distribuição de água no sistema de irrigação do que pela sua fitotoxicidade propriamente dita. Ainda assim, seu maior impacto está restrito ao sistema de irrigação do tipo localizado, porque pode obstruir os emissores

e formar incrustações nas tubulações por causa da baixa velocidade do fluxo de água nesse sistema, não tendo praticamente influência nos sistemas convencionais.

A qualidade da água de irrigação, com relação a essa variável, é influenciada pela natureza dos solos das áreas de captação, naturalmente ricos em ferro, destacando-se os Latossolos e Espodossolos Ferrocárbicos, compondo a bacia hidrográfica ou mesmo, se a água de irrigação é proveniente de represas e açudes com muita matéria orgânica em decomposição, oriunda de capins, taboa (*Typha latifolia*), junco (*Cyperus giganteus* ou *Papyrus radiatus*) e aguapés (*Eicchornia crassipes*) principalmente, normalmente ricos em ferro.

Boro (*b*): o boro é um elemento essencial para a nutrição vegetal, embora seja requerido em quantidades diminutas (0,03 mg L⁻¹ a 0,04 mg L⁻¹). Porém, em concentrações um pouco maiores, pode ser muito fitotóxico. Logicamente, o nível de concentração que o torna tóxico varia de acordo com a espécie vegetal.

Dependendo da quantidade, pode afetar as culturas quando presente no solo nos três sistemas de irrigação contemplados no sistema, e não apenas no de aspersão, como salientado para as variáveis anteriores.

Diferença de cota (*h*) e Distância da captação

d'água (*d*): variáveis importantes não só pelo aspecto da sustentabilidade do sistema solo x planta x qualidade da água x sistema de irrigação, mas também por questão de economicidade. Dessa forma, de nada adianta haver um solo de elevado potencial agrícola ou mesmo água para irrigação de boa qualidade, se o custo de captação for elevado. É uma variável difícil de se ponderar, pois, com o barateamento do maquinário e da energia, tarifas diferenciadas por horário e agricultor, a economicidade da captação torna-se extremamente dinâmica, variando de acordo com o tempo e com a região considerada.

Classes de irrigação do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação

De acordo com a intensidade e interação de cada parâmetro do solo, da água de irrigação e do sistema de irrigação afeitos à especificidade de cada cultura vegetal componente de seu banco de dados, o SiBCTI classifica essa situação, esse ambiente, esse cenário em seis classes de irrigação. Cada classe é definida de acordo com o desvio, com a perda de produtividade sustentável proporcionada por cada parâmetro citado, em relação a uma classe sem limitações ou poucas limitações produtivas ou ambientais (Figura 15).

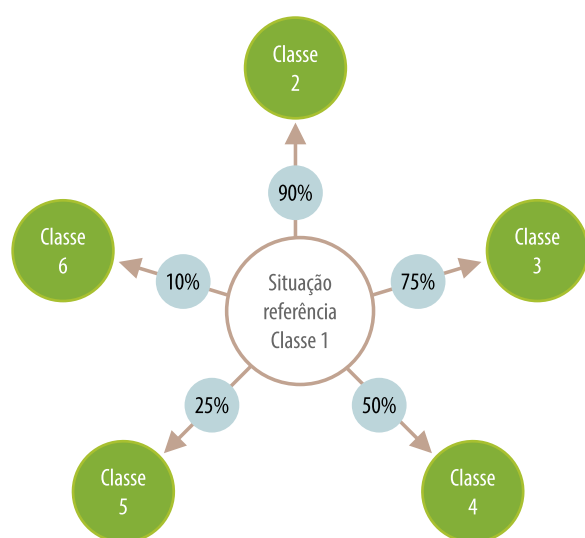


Figura 15. Conceituação das classes de irrigação do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (SiBCTI).

Fonte: Amaral (2011).

Classe 1: terra que, explorada em alto nível tecnológico, para determinada cultura, em determinado sistema de irrigação, apresenta a mais alta produtividade sustentável e baixo custo de produção. Situação referência.

Classe 2: terra que, explorada em alto nível tecnológico, para determinada cultura, em determinado sistema de irrigação, apresenta um ou mais fatores que afetam os custos de desenvolvimento e/ou produção sustentável, de tal modo que a

produtividade média corresponda aproximadamente a 90% da situação de referência.

Classe 3: terra que, explorada em alto nível tecnológico, para determinada cultura, em determinado sistema de irrigação, apresenta um ou mais fatores que afetam os custos de desenvolvimento e/ou produção sustentável, de tal modo que a produtividade média corresponda aproximadamente a 75% da situação de referência.

Classe 4: terra que, explorada em alto nível tecnológico, para determinada cultura, em determinado sistema de irrigação, apresenta um ou mais fatores que afetam os custos de desenvolvimento e/ou produção sustentável, de tal modo que a produtividade média corresponda aproximadamente a 50% da situação de referência.

Classe 5: terra que, explorada em alto nível tecnológico, para determinada cultura, em determinado sistema de irrigação, apresenta um ou mais fatores que afetam os custos de desenvolvimento e/ou produção sustentável, de tal modo que a produtividade média corresponda aproximadamente a 25% da situação de referência. São terras que requerem estudos complementares para avaliação de seu aproveitamento sustentável sob irrigação.

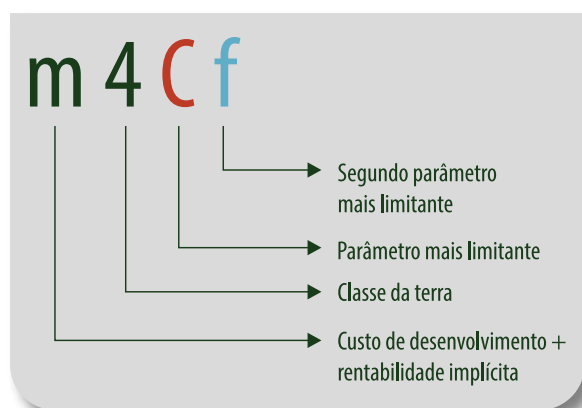
Classe 6: terra que, mesmo explorada em alto nível tecnológico, para determinada cultura, em determinado sistema de irrigação, apresenta um ou mais fatores que implicam uma produção não sustentável e/ou gravosa, correspondendo a uma produtividade média equivalente a 10% da situação de referência.

Categorização do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação

Após o usuário preencher todos os campos das variáveis de solo e água, ele tem à sua escolha um conjunto de culturas vegetais e diferentes sistemas de irrigação. Caso o usuário não queira uma avaliação específica, ele ainda pode optar por uma classificação generalizada, que funcio-

na aproximadamente como a classificação proposta pelo Burec.

Feita a solicitação da classificação do ambiente para irrigação, o programa fará uma crítica das informações fornecidas pelo usuário. Estando sem pendências e sem valores anormais, o programa cruzará todos os dados relacionados aos diferentes planos de informação: solo x cultura vegetal x qualidade e custo da água x sistema de irrigação e apresentará a classificação do ambiente com uma fórmula do tipo (Amaral, 2011):



em que m é o subscrito antes da classe, dá ideia da ordem de grandeza da possível rentabilidade esperada com base no cruzamento de dois temas: rentabilidade clássica de dois grupos de culturas em que foram divididas todas as culturas componentes da base de dados do SiBCTI; e custo da captação da água, representada pela distância e diferença de cota; 4 é a classe, representa a produção relativa do ambiente avaliado em relação a uma situação de referência; C é o primeiro subscrito após a classe, representa o parâmetro com maior grau de limitação, portanto, aquele com maior importância na definição da classe. Pode ser parâmetro ligado ao solo (letra maiúscula) ou a água de irrigação (letra minúscula); e f é o segundo subscrito após a classe, representa o segundo parâmetro com maior grau de limitação, portanto, aquele com importância superada apenas pelo parâmetro principal na definição da classe. Pode ser parâmetro ligado ao solo (letra maiúscula) ou a água de irrigação (letra minúscula).

Referências

- AMARAL, F. C. S. do (ed.). **Sistema brasileiro de classificação de terras para a irrigação**: enfoque na região semiárida. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 164 p.
- AMARAL, F. C. S. do; BOTELHO, F. P. (org.). **Curso sobre o SiBCTI**: embasamento teórico e prático com enfoque na região Semiárida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 73 p. (Embrapa Solos. Documentos, 190).
- ASSAD, M. L. L.; SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; ZULLO JÚNIOR, J. Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 588-596, 2001. Número especial.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 1973. 431 p. (Boletim técnico, 30).
- DUDAL, R.; NACHTERGAELE, F. O.; PURNELL, M. F. The human factor of soil formation. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002, Bangkok, Thailand. **Abstracts**. Bangkok: Soil Science Society, 2002. v. 2, p. 93. (Symposium, 18).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).
- ESTADOS UNIDOS. Department of the Interior. **Reclamation manual**: irrigated land use: land classification. Denver, 1953. v. 5, pt. 2, 54 p.
- FAO. **World reference base for soil resources**. Rome, 2014. 120 p. (FAO. World Soil Resources Report, 106).
- FINKEL, H. J.; NIR, D. Gravity vs. Sprinkling methods of irrigation a comparative study. **Soil Science**, v. 87, p. 16-24, July 1959.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11074**: soil quality: vocabulary. Geneva, 2015. 5 p.
- JENNY, H. **Factors of soil formation**: a system of quantitative pedology. New York: McGraw-Hill, 1941. 191 p.
- KLAMT, E.; KAMPF, N.; SCHNEIDER, P. **Solos de várzeas no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1985. 42 p. (Boletim técnico, 4).
- MONTANARELLA, L.; BADRAOUI, M.; CHUDE, V.; COSTA, I. dos S. B.; MAMO, T.; YEMEFACK, M.; AULANG, M. S.; YAGI, K.; HONG, S. Y.; VIJARNSORN, P.; ZHANG, G. L.; ARROUAYS, D.; BLACK, H.; KRASILNIKOV, P.; SOBOCA, J.; ALEGRE, J.; HENRIQUEZ, C. R.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L.; TABOADA, M.; VICTORIA, D. E.; ALSHANKITI, A.; PANAH, S. K. A.; EL MUSTAFA EL SHEIKH, E. A.; HEMPEL, J.; PENNOCK, D.; CAMPS ARBESTAIN, M.; MCKENZIE, N. (ed.). **Status of the world's soil resources**: main report. Rome: FAO, 2015. 648 p.

MUNSELL COLOR. **Munsell soil color charts**. Grand Rapids, 2015. Disponível em: <<http://jmnvvs.dik61.ru/imge?key=munsell+soil+color+chart+download>>. Acesso em: 20 out. 2017.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I.; KAISER, D. R.; MINELLA, J. P. G.; REINERT, D. J. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 1-54, 2011.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1547-1560, Nov./Dec. 2009. DOI: [10.1590/S0100-06832009000600004](https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600004).

RESENDE, M. Clima do solo: suas relações com o ambiente agrícola. **Informe Agropecuário**, v. 12, p. 43-59, 1986.

SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; GUIMARÃES, D. P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 527-535, 2001. Número especial.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181234/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

SCALOPPI, E. J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, v. 12, p. 54-63, 1986.

