

Classificação de sítio com base em propriedades físicas e químicas do solo para incremento radial de *Cedrela fissilis*Site classification based on the physical and chemical soil properties for *Cedrela fissilis* radial incrementLílian Daniel Pereira¹, Frederico Dimas Fleig², José Miguel Reichert³,
Miriam Fernanda Rodrigues¹, Thomas Schröder¹ e Evandro Alcir Meyer¹**Resumo**

Objetivou-se classificar sítios florestais com base em propriedades físicas e químicas do solo e, após a classificação, avaliar a influência das propriedades agrupadas em cada sítio sobre o incremento radial de cedro. O estudo foi realizado em três áreas de Floresta Estacional Decidual, sendo duas em Santa Maria-RS e uma em Silveira Martins-RS. Um total de 23 árvores foi selecionado, para as quais foi medido o diâmetro (tomado a 1,30 m de altura) e determinado o incremento periódico anual radial (IPA). Próximo de cada árvore foram coletadas amostras de solo para a determinação de nitrogênio e carbono totais, na camada de 0-10 cm, e granulometria, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, umidade volumétrica nas tensões de 1, 6, 10, 33, 100, 500, 1000 e 1500 kPa, água drenável, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível, na camada de 10-20 cm. A classificação de sítio foi realizada pela análise de agrupamento. Dentro de cada sítio, o incremento do cedro foi analisado pelo gráfico Box-plot, as propriedades físicas e químicas do solo pelo teste Wilcoxon e a relação entre as propriedades do solo e o incremento do cedro por correlação. Foram classificados três sítios distintos pelo método de agrupamento UPGMA. As propriedades físicas e químicas do solo tiveram correlação com o IPA somente no sítio com menor incremento. O maior incremento do cedro esteve mais relacionado com as propriedades do solo ligadas à retenção de água e à aeração do solo.

Palavras-chave: Sítio florestal, floresta nativa, cedro, fatores de crescimento vegetal.

Abstract

This study aimed to classify a forest site based on physical and chemical soil properties and assess the influence of soil properties at each site on the radial increment of *Cedrela fissilis*. The study was carried out in three Seasonal Deciduous Forests, two in Santa Maria and one in Silveira Martins, both in RS state, southern Brazil. Twenty-tree trees were selected, and their diameter (height at 1.30 m) and the radial periodic annual increment were measured. Next to each tree, in the 0-10 cm layer, stone percentage was determined, and soil samples were collected for determination of total nitrogen and carbon. In the 10-20 cm layer, soil samples were collected for determination of soil particle size; bulk density; total porosity; macro porosity; micro porosity; volumetric moisture at tensions of 1, 6, 10, 33, 100, 500, 1000 e 1500 kPa; drainable water; field capacity; permanent wilting point and available water. Classification of forest sites was done with cluster analysis. In each site the radial increment was assessed through the Box-plot graphic; physical and chemical soil properties were analyzed with the Wilcoxon test; and the relationship between physical and chemical soil properties and radial increment by correlation test. The UPGMA method classified three sites. Soil physical and chemical properties were correlated with IPA only in site with smaller increment, and the largest increment was more related with soil properties linked to water retention and soil aeration.

Keywords: Forest sites, native forest, cedro, plant growth factors.

¹Doutorando(a) em Engenharia Florestal. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima, 1000 – Cidade Universitária - Camobi - 97105-900 - Santa Maria, RS. E-mail: liliandapereira@yahoo.com.br; miriamf_rodrigues@yahoo.com.br; thomaschroder@gmail.com; eam.meyer@gmail.com

²Professor Adjunto. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria Av. Roraima, 1000 – Cidade Universitária - Camobi - 97105-900 - Santa Maria, RS. E-mail: dimasfleig@uol.com.br

³Professor Titular. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria - CCR - Departamento de Solos. Av. Roraima, 1000 – Cidade Universitária - Camobi - 97105-900 - Santa Maria, RS. E-mail: reichert@ufsm.br

INTRODUÇÃO

O crescimento de árvores é resultante de inúmeras e complexas interações entre diversos fatores ambientais. Portanto, a compreensão da influência desses fatores de forma isolada é extremamente difícil (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960).

Em plantios homogêneos, as interações com o ambiente abiótico são quantificadas por meio da classificação de sítios (SKOVSGAARD; VANCLAY, 2008). Essas classificações são baseadas em parâmetros biométricos (SCHOENHOLTZ et al., 2000) e permitem determinar as classes de produção, as procedências e as espécies mais adequadas a serem cultivadas em cada local de plantio (OUZEN-NOU et al., 2008).

Em florestas naturais, a representação das interações com fatores ambientais, por meio da classificação de sítios, pode auxiliar na escolha de espécies para o enriquecimento da vegetação natural (SKOVSGAARD; VANCLAY, 2013). Pode também determinar a capacidade de produção de cada sítio florestal, desde que, além dos biométricos, também considere parâmetros responsáveis pelo crescimento, pois o crescimento das diversas espécies que formam uma floresta natural ocorre de forma distinta de acordo com as condições de clima, potencial genético e propriedades do solo (SCHNEIDER et al., 2014). Como as propriedades físicas do solo podem proporcionar condições estruturais restritivas e limitar a retenção e disponibilidade de água, as trocas gasosas, o crescimento de raízes e, por consequência, o crescimento e a produtividade das plantas, as mesmas devem ser consideradas na classificação de sítio.

Apesar de os modelos fisiológicos que incluem os fatores abióticos e suas interações não apresentarem sucesso para a predição da produção de madeira, esses modelos podem ser utilizados para identificar lacunas no conhecimento e indicar onde há maior necessidade de pesquisa (VANCLAY, 1994). Existem modelos que incluem matéria orgânica, nitrogênio e argila como influentes no incremento em diâmetro de árvores (SCHNEIDER et al., 2014). Entretanto, mesmo que as propriedades físicas do solo possam proporcionar condições limitantes ou restritivas ao crescimento de plantas, o efeito dessas propriedades é pouco conhecido e, geralmente, não considerado para a estimativa da produção florestal.

O cedro, *Cedrela fissilis* Vell., é uma das espécies arbóreas nativas do Brasil com maior valorização no mercado internacional, devido à qualidade estética da madeira, à resistência mecânica e à baixa suscetibilidade a cupins (GONÇALVES; OLIVEIRA, 2006) e a fungos (OLIVEIRA et al., 2005) e ao seu rápido crescimento (SELLE; VUADEN, 2010). Dentre os fatores abióticos detectados como atuantes no crescimento radial das árvores de cedro estão a precipitação e a temperatura do ar (DÜNISCH, 2005), e no crescimento inicial de mudas estão a radiação solar incidente (SANTOS et al., 2006), adição de elementos tóxicos (Cd, NiePb) e Zn em excesso em substrato (MARQUES et al., 2000; PAIVA et al., 2000; SOARES et al., 2001), doses de nitrogênio (FREIBERGER et al., 2013) e de potássio (SILVA et al., 1997) e a inoculação de fungos micorrízicos, no solo em vasos (TÓTOLA; BORGES, 2000).

Estudos que abordem a relação do crescimento do cedro em condições naturais de solo e ambiente são, portanto, inexistentes ou incipientes. Apesar da importância das propriedades físicas do solo no desenvolvimento das plantas (LETEY, 1985; SUZUKI et al., 2014), inexistem estudos avaliando essa relação para a espécie *C. fissilis*. Demonstra-se, assim, uma importante lacuna para o avanço no conhecimento sobre solos florestais, o qual é essencial para o uso sustentável dos recursos naturais (ROVEDDER et al., 2013).

Objetivou-se classificar sítios florestais utilizando propriedades físicas e químicas do solo e, após a classificação, avaliar a influência das propriedades agrupadas em cada sítio sobre o incremento de *Cedrela fissilis*.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em três áreas com Floresta Estacional Decidual (IBGE, 2004), em 2009. As áreas 1 e 2 situam-se no município de Santa Maria-RS e têm como ponto central as coordenadas geográficas 29° 47'14»S e 53° 52'35»O; 29° 41'57»S e 53° 39'19»O, respectivamente. A área 3 situa-se no município de Silveira Martins-RS e tem como ponto central as coordenadas 29° 37'50»S e 53° 36'08»O.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo "Cfa", com temperatura média anual de 19 °C e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C, enquanto a do mês mais frio é superior a 3 °C; a precipitação média anual é de 1769 mm, sem estação seca definida (HELDWEIN et al., 2009; ALVARES et al., 2013). Os solos são pouco desenvolvidos, englobando Neossolos e Cambissolos.

Seleção de árvores e avaliação do incremento

O incremento radial do cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) foi avaliado em árvores do extrato superior da formação florestal com diâmetro à altura do peito (DAP; a 1,30 m do solo) superior ou igual a 10 cm. Assim, 23 árvores foram selecionadas para a amostragem, sendo nove da área 1, seis da área 2 e oito da área 3.

Para a análise do incremento radial, foram realizadas tradagens para a obtenção de baguetas, com um trado de Pressler a 0,30 cm acima da superfície do solo. Quando as árvores apresentaram deformidades ou irregularidades do tronco, as tradagens foram realizadas imediatamente acima ao local de amostragem. Cada árvore teve duas amostras retiradas perpendicularmente entre si.

As baguetas foram preparadas conforme Stokes e Smiley (1968). Os três últimos anéis de incrementos de cada bagueta foram medidos com precisão de 1/100mm pelo sistema "LINTAB" (*Linear Table*), utilizando o software TSAP (*Time Series Analysis Program*). O incremento periódico anual radial (IPA) foi calculado pela média dos três últimos incrementos medidos.

Posição no terreno e amostragens de solo

A posição das árvores no terreno foi classificada de acordo com a sua localização em platô, encosta e baixada. As coletas de solo foram realizadas na área que corresponde à projeção de copa, e o mais próximo possível do tronco da árvore. A distância média entre os locais de coleta de solo e o tronco das árvores foi de 30 a 40 cm. Uma amostra para cada árvore foi coletada.

As propriedades do solo analisadas foram nitrogênio e carbono totais, granulometria, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, umidade volumétrica nas tensões de 1, 6, 10, 33, 100, 500, 1000 e 1500 kPa, água drenável, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível.

O nível de pedregosidade na superfície do solo foi avaliado visualmente, adotando-se a seguinte escala classificatória: sem = 0, média = 1, muita = 2.

Amostras de solo com estrutura alterada foram coletadas na camada de 0,00-0,10m, para determinação dos teores totais de nitrogênio e carbono, e na camada de 0,10-0,20m, para determinação da retenção de água a altas tensões (≥ 500 kPa). Amostras com estrutura preservada foram coletadas na camada de 0,10-0,20 m para a determinação da densidade do solo, porosidade e retenção de água em baixas tensões (≤ 100 kPa). A coleta de amostras ocorreu nas camadas mais próximas da superfície do solo, haja vista que, apesar de as árvores buscarem nutrientes nas partes mais profundas do solo, as raízes acumulam os nutrientes nas partes superiores do solo para evitar perdas por lixiviação (JOBÁGY, JACKSON, 2001). Além disso, a maior concentração das raízes ocorre nas camadas superiores do solo (SCHENK, 2005).

Em laboratório, as amostras com estrutura alterada foram secas ao ar, destorroadas e tamisadas em peneira de 2 mm, para posterior análise. A distribuição granulométrica foi determinada pelo método da pipeta modificado (SUZUKI et al., 2015). A dispersão das amostras de solo foi realizada com uma solução dispersante composta de NaOH 6% e agitação horizontal a 120 rpm para dispersão mecânica. O nitrogênio e carbono totais foram determinados por combustão seca em auto analisador elementar CHN.

As amostras com estrutura preservada para a determinação da retenção de água/umidade volumétrica, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo foram coletadas em anéis metálicos (5,5 cm de diâmetro e 3,0 cm de altura). Essas amostras foram saturadas por capilaridade e submetidas às tensões de 1 e 6 kPa em mesa de tensão (GUBIANI et al. 2009), para determinar a macroporosidade e a microporosidade. Posteriormente, as amostras foram submetidas às tensões de 10, 33 e 100 kPa em câmara de Richards (KLUTE, 1986), para determinar a água retida na capacidade de campo (tensão de 10 kPa) e nas outras duas tensões. Ao final do ensaio, as amostras foram mantidas em estufa a 105 °C até atingirem massa constante, para determinação da densidade do solo.

As amostras de solo com estrutura alterada foram utilizadas para a determinação da umidade gravimétrica nas tensões de 500, 1000 e 1500 kPa, em um psicrômetro (WP4 Dewpoint Potential Meter) (GUBIANI et al., 2013; KLEIN et al., 2013). A umidade volumétrica foi obtida do produto entre a umidade gravimétrica e a densidade do solo correspondente à camada amostrada.

A diferença entre a umidade do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente foi considerada como a água armazenada no solo disponível às plantas.

Análise estatística

Para a classificação de sítio foi realizada a análise de agrupamento, pelo método de agrupamento pelas médias aritméticas não ponderadas, com os dados de propriedades físicas e químicas do solo e da posição do terreno transformados para todas as árvores amostradas nas diferentes áreas. Assim, as árvores classificadas dentro de um determinado sítio podem não corresponder àquelas distribuídas de acordo com as áreas de coleta.

O número ótimo de grupos foi determinado com a estatística de Mantel, cada grupo estabelecido determinou um sítio. As árvores enquadradas em cada sítio foram visualizadas pelo gráfico da silhueta de partição final (BORCARD et al., 2011).

A diferença entre o incremento de cedro de cada sítio foi analisada pelo gráfico Box-plot. Dentro de cada sítio, foi realizada a caracterização das propriedades físicas e químicas do solo e ambientais, por meio do teste não-paramétrico de Wilcoxon, a 1% de significância. A análise de correlação foi realizada entre as propriedades físicas e químicas do solo e o incremento de cedro para cada sítio. Todas as análises foram realizadas com o software R (R CORE TEAM, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número ótimo de grupos obtido pela estatística de Mantel, utilizando o método UPGMA, indicou a existência de três sítios distintos, denominados S_I , S_{II} e S_{III} . O S_I e o S_{II} foram formados por 11 árvores em cada sítio, enquanto o S_{III} foi formado somente por uma árvore, sendo este sítio desconsiderado nas análises entre solo e incremento (Figura 1).

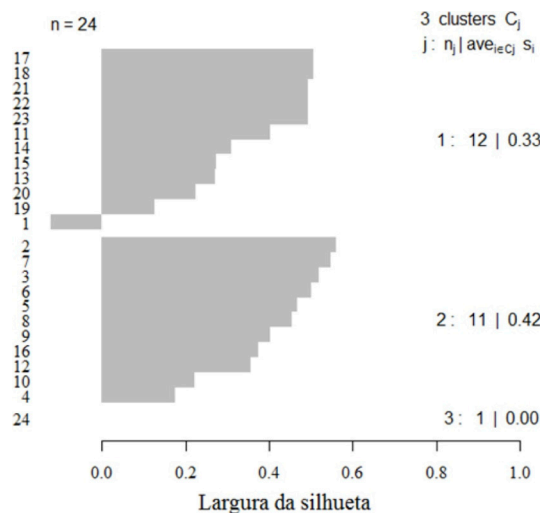


Figura 1. Larguras das silhuetas com as árvores que compuseram os sítios S_I , S_{II} e S_{III} .
Figure 1. Silhouette widths with trees that composed the sites S_I , S_{II} and S_{III} .

A classificação de sítio não coincidiu com a divisão das áreas amostradas. O S_I agrupou pelas características do solo a maioria dos indivíduos da área 1 e um da área 3; o S_{II} englobou indivíduos das três áreas amostradas; e o S_{III} incluiu somente um indivíduo da área 3. O resultado dessa classificação indica que áreas geograficamente próximas, podem ter sítios com produtividade distinta, e áreas distantes sítios com produtividade semelhante.

A largura de silhueta da árvore 1 foi negativa, o que indica que essa árvore não foi adequadamente enquadrada no agrupamento do S_I (Figura 1), pois valores negativos significam que as propriedades divergem dentro de um dado agrupamento. Isso condicionou a retirada dessa árvore da análise dos dados.

As propriedades físicas e químicas do solo que diferiram estatisticamente entre o S_I e o S_{II} foram os teores de silte e de argila, a microporosidade, a umidade volumétrica nas tensões de 1, 33, 100, 500, 1000 e 1500 kPa e a capacidade de campo, os quais apresentaram valores mais elevados no S_{II} , e o teor de areia que foi superior no S_I (Tabela 1). As posições de terreno do S_{II} foram de encosta e baixada, posições que favorecem a disponibilidade de água, enquanto o S_I abrangeu todas as posições de terreno (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do solo e posição do terreno para os dois sítios classificados, S_I e S_{II} .
Table 1. Physical and chemical soil properties and landscape positions for the two classified sites, S_I and S_{II} .

Propriedade do solo	SI			SII		
	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx
Areia (%)	66,36	73,88*	79,63	34,48	42,59*	65,52
Argila(%)	2,92	5,95*	13,69	7,10	12,60*	20,43
Silte(%)	13,18	20,17*	28,47	24,11	44,82*	51,15
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,21	1,47	1,76	1,27	1,34	1,64
Porosidade total (%)	0,32	0,43	0,53	0,38	0,47	0,53
Microporosidade(%)	0,19	0,28*	0,39	0,32	0,38*	0,40
Macroporosidade(%)	0,07	0,16	0,34	0,06	0,09	0,13
Posição no terreno**	1,00	2,09	3,00	2,00	2,73	3,00
Capacidade de campo (cm ³ cm ⁻³)	0,156	0,238*	0,371	0,312	0,361*	0,387
Água disponível(cm ³ cm ⁻³)	0,122	0,184	0,306	0,168	0,203	0,339
Água drenável(cm ³ cm ⁻³)	0,081	0,194	0,372	0,070	0,112	0,160
θ_{1kPa} (cm ³ cm ⁻³)	0,293	0,383*	0,440	0,356	0,442*	0,488
θ_{33kPa} (cm ³ cm ⁻³)	0,110	0,162*	0,237	0,280	0,306*	0,342
θ_{100kPa} (cm ³ cm ⁻³)	0,090	0,140*	0,203	0,255	0,286*	0,324
θ_{500kPa} (cm ³ cm ⁻³)	0,080	0,114*	0,168	0,187	0,253*	0,303
$\theta_{1000kPa}$ (cm ³ cm ⁻³)	0,054	0,091*	0,151	0,140	0,225*	0,282
$\theta_{1500kPa}$ (cm ³ cm ⁻³)	0,043	0,067*	0,122	0,118	0,171*	0,216
N	0,074	0,208	0,429	0,064	0,304	0,454
C	0,966	2,318	4,533	0,684	3,267	4,926

*Mín: mínimo; Méd: médio; Máx: máximo; θ : umidade volumétrica; N: nitrogênio; C: carbono; S_I : sítio I; S_{II} : sítio II.

**Platô=1, encosta=2 e baixada=3.

*: médias que diferiram estatisticamente pelo teste de Wilcoxon.

O incremento periódico anual radial (IPA) foi menor para o S_I em relação ao S_{II} . Contudo, é importante salientar que o aumento do incremento do S_I ao S_{II} pode ter ocorrido não somente devido às características do solo, mas também devido à correlação negativa entre o IPA e o diâmetro (-0,65, $p < 0,001$). Nesse caso, a classificação de sítio, mesmo sem a inclusão das variáveis diâmetro e incremento coincidiu com a classificação das dimensões médias das árvores. O diâmetro é um dos principais fatores que influencia o incremento radial das árvores (VANCLAY, 1994), o que torna relevante a sua análise (Figura 2).

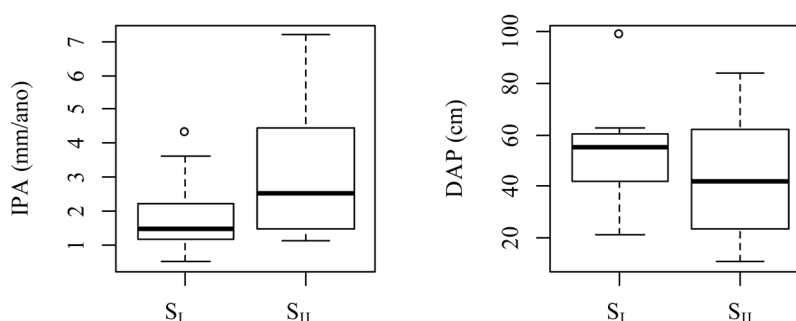


Figura 2. Incremento periódico anual radial (IPA) e diâmetro (DAP) em cada sítio (S_I e S_{II}).

Figure 2. Radial (PAI) and diameter (DBH) periodic annual increment in each site (S_I and S_{II}).

No S_I , o incremento radial das árvores não teve correlação significativa com o diâmetro (-0,32, $p=0,34$), enquanto no S_{II} a correlação foi negativamente significativa (-0,72, $p=0,01$). O incremento das árvores do S_I apresentou correlação marginalmente significativa com o ponto de murcha

permanente (1500 kPa) (-0,58, $p=0,064$), a macroporosidade (0,66, $p=0,026$), a água drenável (0,62, $p=0,042$) e o teor de areia (0,56, $p=0,071$). Por outro lado, as árvores do S_{II} não tiveram o seu incremento radial correlacionado significativamente com as propriedades físicas e químicas do solo.

O menor incremento periódico anual radial do S_I pode indicar que os menores valores de microporosidade, capacidade de campo, umidade volumétrica nas tensões de 1 a 1500 kPa e teores de silte e de argila e a maior porcentagem de areia são propriedades do solo não adequadas para o objetivo de produção de cedro.

A correlação não significativa entre o incremento e o diâmetro das árvores no S_I parece indicar que as árvores do dossel, independentemente do seu diâmetro, utilizam de forma similar os recursos ambientais disponíveis no solo com menor qualidade química e física. Esse comportamento indica uma menor influência do diâmetro das árvores em seu crescimento e maior chance de sobrevivência das árvores menores (PRETZSCH; DIELER, 2011).

A correlação das propriedades físicas do solo com o incremento das árvores classificadas no S_I fortalece a teoria dos fatores limitantes, a qual estabelece que um organismo biológico crescerá de acordo com o recurso disponível em menor quantidade, com os fatores físicos críticos e com os limites de tolerância do organismo aos componentes ambientais (ODUM, 2008).

No presente estudo, as propriedades físicas do solo compõem um dos fatores físicos críticos ao crescimento das plantas, indicado pela correlação positiva entre as propriedades físicas e o incremento periódico anual radial. A dificuldade em estabelecer limites das propriedades físicas do solo para a produção vegetal (REINERT et al., 2008; REICHERT et al., 2009b; GUBIANI et al., 2014) deve-se à inter-relação dos quatro fatores de crescimento de plantas que possuem natureza física (água, ar, temperatura e resistência mecânica) e apenas um de natureza química (elementos químicos de acordo com a demanda da espécie) (LETEY, 1985).

Assim, o baixo incremento das árvores de cedro do S_I pode ser resultante das inadequadas condições físicas do solo para o crescimento e desenvolvimento do cedro.

A macroporosidade teve a maior correlação positiva com o incremento das árvores no S_I . Essa propriedade exerce influência sobre o crescimento das raízes e a absorção de água e nutrientes. Contudo, a excessiva porosidade pode levar a uma redução na absorção de água e nutrientes, devido ao menor contato solo/raiz (BEUTLER; CENTURION, 2003).

A correlação positiva entre incremento e água drenável no S_I pode indicar que a aeração do solo é um aspecto crucial para o crescimento e desenvolvimento do cedro. Como solos arenosos possuem, naturalmente, baixa capacidade de retenção de água, a relação entre o incremento diamétrico e a macroporosidade do solo pode ser devido à maior capacidade de drenagem dos poros maiores, enquanto a retenção e a disponibilidade de água no solo em quantidades adequadas devem-se a poros menores associados à matéria orgânica.

O cedro, possivelmente, não foi submetido nem a estresse hídrico nem a gasoso. Além disso, o solo do S_I apresenta teor de carbono orgânico e, por consequência, de matéria orgânica similar ao S_{II} . Vários autores discutem o papel da matéria orgânica no aumento da capacidade do solo em reter e disponibilizar água às plantas (SAXTON; RAWLS, 2006; REICHERT et al., 2009a; REICHERT et al., 2011; BASH et al., 2012). Além disso, os maiores teores de carbono e nitrogênio são característicos de solos com maior teor de matéria orgânica e essas propriedades são sugeridas como indicadores de qualidade de solo (SCHOENHOLTZ et al., 2000). Os solos com elevados teores de matéria orgânica são geralmente mais férteis por possuírem uma maior capacidade de troca catiônica e por possuírem maior teor de nitrogênio, o que promove maior crescimento das plântulas de cedro (FREIBERGER et al., 2013).

CONCLUSÕES

Os sítios de produção florestal para o cultivo de espécies nativas, como o cedro, podem ser classificados por meio da utilização de propriedades químicas e físicas do solo.

As características físicas do solo se mostraram influentes no incremento radial do cedro, em floresta natural, somente no pior sítio.

O maior incremento do cedro é obtido em solo com maior água drenável, água disponível e teores de carbono (matéria orgânica) e nitrogênio, o que evidencia a exigência nutricional e a demanda por condições estruturais adequadas para permitir os fluxos de água, gases e nutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013.
- BASH, G.; KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; SANTOS, F. L.; GUBIANI, P. I.; CALEGARI, A.; REICHERT, J. M.; SANTOS, D. R. Sustainable soil water management systems. In: LAL, R.; STEWART, B. A. *Advances in Soil Science*, New York: CRC Press, 2012. p. 229-288.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n. 7, p. 849-856, jul. 2003.
- BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. *Numerical ecology with R*. New York: Springer-Verlag, 2011. 319 p.
- DÜNISCH, O. Influence of the El-niño southern oscillation on cambial growth of *Cedrela fissilis* Vell. in tropical and subtropical Brazil. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, Göttingen, v. 79, n. 1, p. 5-11, 2005.
- FREIBERGER, M.; GUERRINI, I.; GALETTI, G. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 385-392, mai./jun. 2013.
- GONÇALVES, F.; OLIVEIRA, J. S. Resistência ao ataque de cupim-de-madeira seca (*Cryptotermes brevis*) de seis espécies florestais. *Cerne*, Lavras, v. 12, n. 1, p. 80-83, jan./mar. 2006.
- GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Valores críticos de densidade do solo avaliados por condições de contorno. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 994-1000, jun. 2014.
- GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; CAMPBELL, C.; REINERT, D. J.; GELAIN, N. S. Assessing errors and accuracy in dew-point potentiometer and pressure plate extractor measurements. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 76, n. 1, p. 19-24, jan. 2013.
- GUBIANI, P. I.; Albuquerque, J. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Tensão e extração de água em mesa de tensão e coluna de areia, em dois solos com elevada densidade. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2535-2538, nov. 2009.
- HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, n. 38, p. 43-58, jun. 2009.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Mapa de Vegetação do Brasil*. Brasília, 2004. Disponível em:. Acesso em: 24/09/2014.
- JOBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry*, Netherland, v. 53, p. 51-77, 2001.
- KLEIN, V. A.; MADALOSSO, T.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; VEIGA, M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Metodologias de controle de qualidade de análises granulométricas do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 850-853, mai. 2013.
- KLUTE, A. *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, 1986. 1358 p.
- KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. *Physiology of trees*. New York: McGraw-Hill, 1960. 642 p.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop reduction. In: STEWARD, B. A. *Advances in Soil Science*, New York: CRC Press, 1985. p. 277-294.

MARQUES, T. C. L. L. S. E. M.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 121-132, jan. 2000.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 901 p.

OLIVEIRA, J. T. S.; SOUZA, L. C.; DELLA LUCIA, R. M.; SOUZA JR., W. P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 819-826, set./out. 2005.

OUZENNOU, H.; POTHIER, D.; RAULIER, F. Adjustment of the age-height relationship for uneven-aged black spruce stands. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 38, n. 7, p. 2003-2012, jul. 2008.

PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G.; SIQUEIRA, J. O. Effect of Cd, Ni, Pb and Zn on seedlings of *Cedrela fissilis* Vell. And *Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley in nutrient solution. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 369-378, out./dez. 2000.

PRETZSCH, H.; DIELER, J. The dependency of the size-growth relationship of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.]) in forest stands on long-term site conditions, drought events, and ozone stress. **Trees**, Berlin, v. 25, n. 3, p. 355-369, jun. 2011.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. 3551 p

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. In: FILHO, O. K.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2011. v. 7, p. 1-54.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability for Rio Grande do Sul soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1547-1560, nov./dez. 2009a.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, mar. 2009b.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, set./out. 2008.

ROVEDDER, A. P. M.; SUZUKI, L. E. A.; DALMOLIN, R. S. D.; REICHERT, J. M.; SCHENATO, R. B. Compreensão e aplicabilidade do conceito de solo florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 517-528, jul./set. 2013.

SANTOS, D. L.; RAKOCEVIC, M.; TAKAKI, M.; RIBASKI, J. Morphological and physiological responses of *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae) seedlings to light. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 49, n. 1, p. 171-182, jan. 2006.

SAXTON, K. E.; RAWLS, W. J. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 1569-1578, set. 2006.

SCHENK, H. J. Vertical Vegetation Structure Below Ground: Scaling from Root to Globe. **Progress in Botany**, v. 66, p. 341-373, 2005.

- SCHNEIDER, T.; ASHTON, M. S.; MONTAGNINI, F.; MILAN, P. P. Growth performance of sixty tree species in smallholder reforestation trials on Leyte, Philippines. *New Forests*, Dordrecht, v. 45, n. 1, p. 83-96, jan. 2014.
- SCHOENHOLTZ, S.; MIEGROET, H. V.; BURGER, J. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 138, n. 1-3, p. 335-356, nov. 2000.
- SELLE, G. L.; VUADEN, E. Crescimento de seis espécies nativas na região central do estado do Rio Grande do Sul. *Ambiência*, Guarapuava, v. 6, n. 1, p. 169-191, 2010.
- SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; VALE, F. R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 2, p. 205-212, fev. 1997.
- SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry*, Oxford, v. 81, n. 1, p. 13-31, fev. 2008.
- SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Forest site productivity: a review of spatial and temporal variability in natural site conditions. *Forestry*, Oxford, v. 86, n. 3, p. 305-315, abr. 2013.
- SOARES, C. R. F. S.; ACCIOLY, A. M. A. A.; MARQUES, T. C. L. L. S. E. M.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Lavras, v. 13, n. 3, p. 302-315, 2001.
- STOKES, M. A.; SMILEY, T. L. *An introduction to tree-ring dating*, London: University of Chicago Press, 1968. 73 p.
- SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. N. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 133-146, jan./fev. 2014.
- SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; KAISER, D. R. Dispersion and flocculation of vertisols, Alfisols and Oxisols in Southern Brazil. *Geoderma Regional*, v. 5, p. 64-70, 2015.
- TÓTOLA, M. R.; BORGES, A. C. Growth and nutritional status of Brazilian wood species *Cedrela fissilis* and *Anadenanthera peregrina* in bauxite spoil in response to arbuscular mycorrhizal inoculation and substrate amendment. *Brazilian Journal of Microbiology*, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 257-265, out./dez. 2000.
- VANCLAY, J. *Modelling forest growth and yield*. Wallingford: CAB International, 1994. 329 p.

Recebido em 17/11/2014

Aceito para publicação em 20/05/2015