



Florestas

**Aptidão das terras para o cultivo do eucalipto nos
municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina**

**Colombo, PR
2019**



EQUIPE TÉCNICA

João B. V. Gomes - pesquisador Embrapa Florestas

Marcos da S. Wrege – pesquisador Embrapa Florestas

Itamar A. Bognola – pesquisador Embrapa Florestas

Wilson Holler – Analista Embrapa Florestas

Antonio F. J. Bellote – pesquisador Embrapa Florestas

Paulo E. T. Santos – pesquisador Embrapa Florestas

Guilherme de C. Andrade – pesquisador Embrapa Florestas

Márcia T. S. Soares – pesquisador Embrapa Florestas

Shizuo Maeda – pesquisador Embrapa Florestas

Edilson B Oliveira – pesquisador Embrapa Florestas

Sumário

1. INTRODUÇÃO	4
2. METODOLOGIA.....	5
2.1. Área de estudo.....	5
2.2. Levantamento de solos.....	7
2.2. Sistema de manejo para o cultivo de eucalipto na região	7
2.3. Metodologia de aptidão para o cultivo de eucalipto das terras da BP3 e arredores.....	9
2.3.1. Graus de limitação exclusivamente pedológicos	9
2.3.2. Graus de limitação sob influência de atributos climáticos.....	12
2.3.2.1. Base de dados e procedimentos de mapeamento climáticos.....	12
2.3.2.2. Risco de ocorrência de geada (ΔG).....	12
2.3.2.3. Deficiência de água (ΔH).....	13
2.4. Viabilidade de melhoramento dos graus de limitação	15
2.5. Classes e subclasses de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto	17
3. RESULTADOS DAS UNIDADES DE MANEJO.....	17
3.1. Classe Apta Superior de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto (AS)	24
3.2. Classe Apta Inferior de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto (AI).....	24
3.3. Classe Regular Superior de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto (RS).....	26
3.4. Classe Regular Inferior de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto (RI)	27
3.5. Classe Marginal de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto (MA).....	28
3.6. Classe Inapta de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto (IN).....	31
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
5. REFERÊNCIAS.....	35

Aptidão das terras para o cultivo do eucalipto nos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina

1. INTRODUÇÃO

Os municípios formadores da Bacia do Paraná 3 (BP3), mais o município de Palotina, totalizam uma extensão de 14.696,85 km² e correspondem à região de atuação do projeto Bioeste Florestas, uma parceria Embrapa - Itaipu Binacional - CIBiogás que tem como foco principal a cadeia produtiva de biomassa florestal (eucalipto) nessa região. Algumas ações envolvendo ensaios de práticas silviculturais extrapolam os limites físicos desses municípios, com parcelas experimentais instaladas em terras limítrofes a esse perímetro, no esforço de realizar testes em condições ambientais de solos e clima que abranjam a diversidade regional.

Predominam na região terras de ótimo potencial para o cultivo de grãos (Zanão J. & Medeiros, 2015), aspecto que é conhecido e aproveitado por empresas agrícolas, cooperativas e produtores locais. Entretanto, a própria cadeia produtiva de grãos e as cadeias associadas (produção de suínos e aves e diversos tipos de agroindústrias), necessitam, em diferentes momentos, da energia advinda da biomassa florestal. Secagem de grãos e aquecimento de caldeiras e granjas são demandas constantes, sendo as cooperativas, seus cooperados e as agroindústrias da região os grandes consumidores dessa biomassa.

A cadeia produtiva de biomassa florestal na região, embora importante, sofre os reveses da ausência de planejamento. Períodos de excesso e carência da oferta dessa biomassa se mesclam ao longo do tempo, gerando insegurança para todos os atores do processo (produtores e consumidores), lembrando que os custos de frete rodoviário tendem a inviabilizar o transporte de cavaco para produção de energia à medida que a distância aumenta entre os locais de produção e de consumo. Espacializar o potencial das terras da região para o cultivo do eucalipto é um dos pré-requisitos para se alcançar um estudo de logística geoespacial da cadeia produtiva de biomassa florestal na região.

Interpretações de mapeamentos de solos que procuram definir o potencial de uso agrícola das terras de determinada área, sempre complementados por informações climáticas, são muito comuns. Essas metodologias se utilizam de classificações técnicas tradicionais, ou por vezes criam seus próprios parâmetros. A classificação mais utilizada no Brasil é o sistema conhecido como FAO/Brasileiro de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, cujos critérios metodológicos foram estabelecidos por Bennema & Camargo (1964), sendo posteriormente atualizados (Ramalho F. & Beek, 1995). Para estudos mais detalhados e áreas mais pontuais também é bastante utilizado o Sistema de Capacidade de Uso das Terras (Lepsch et al., 1991).

O número de trabalhos com metodologias de aptidão das terras específicas para o cultivo florestal vem aumentando ao longo do tempo (Gomes & Curi, 2001; Curi & Ker, 2004; Gomes et al., 2005; Costa et al., 2009; Carvalho et al., 2013; Gomes et al., 2016) e são reflexo da valorização que o uso das informações de solos e clima apresenta nas ações de planejamento de plantio e no operacional da silvicultura. O potencial de uso das terras quando realizado para um tipo de cultivo específico, no caso o eucalipto, deve levar em consideração exigências ecofisiológicas da espécie e, ou, cultivares e clones, que necessariamente trazem para os polígonos do mapa de solos qualificações advindas de um zoneamento climático. Isso é mais importante quanto maior a área de abrangência do estudo, tornando mais comuns variações climáticas entre polígonos de solos mais distantes.

Plantios florestais, de forma geral, suportam terras com restrições bem mais fortes que aquelas requeridas para o plantio de grãos e outros cultivos de espécies anuais. Os solos florestais podem ser, até certo ponto, declivosos, ácidos, rochosos, esqueléticos e até mesmo de difícil acesso (Miller & Donahue, 1992). O relativamente baixo número de intervenções ao longo do ciclo, o tamanho do ciclo (aproximadamente 7 anos) e a flexibilidade do momento de colheita, entre outros aspectos, ajudam a explicar porque uma interpretação para fins de cultivo florestal, mais do que desqualificar, deve informar através de suas classes de aptidão o gradiente de risco que um polígono de terras representa para a atividade.

O objetivo deste trabalho foi o de desenvolver uma metodologia de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto considerando particularidades de oferta ambiental e de sistemas de produção regionais e, utilizando essa metodologia para interpretar informações básicas de solos e clima já existentes (Bognola et al., 2018; Wrege et al., 2018), gerar o mapa de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios da BP3 e Palotina. A escala de trabalho utilizada, 1:250.000, e por conseguinte a precisão da distinção ambiental, é coerente com o planejamento regional.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

Os municípios da BP3 e Palotina estão situados na mesorregião Oeste do Paraná. O perímetro da área de estudo compreende 29 municípios, os 28 municípios da BP3 (Cascavel, Céu Azul, Diamante do Oeste, Entre Rios do Oeste, Foz do Iguaçu, Guaíra, Itaipulândia, Marechal Cândido Rondon, Maripá, Matelândia, Medianeira, Mercedes, Missal, Nova Santa Rosa, Ouro Verde do Oeste, Pato Bragado, Quatro Pontes, Ramilândia, Santa Helena, Santa Teresa do Oeste, Santa Teresinha de Itaipu, São José das Palmeiras, São Miguel do Iguaçu, São Pedro do Iguaçu, Terra Roxa, Toledo, Tupãssi e Vera Cruz do Oeste), mais o município de Palotina (Figura 1).

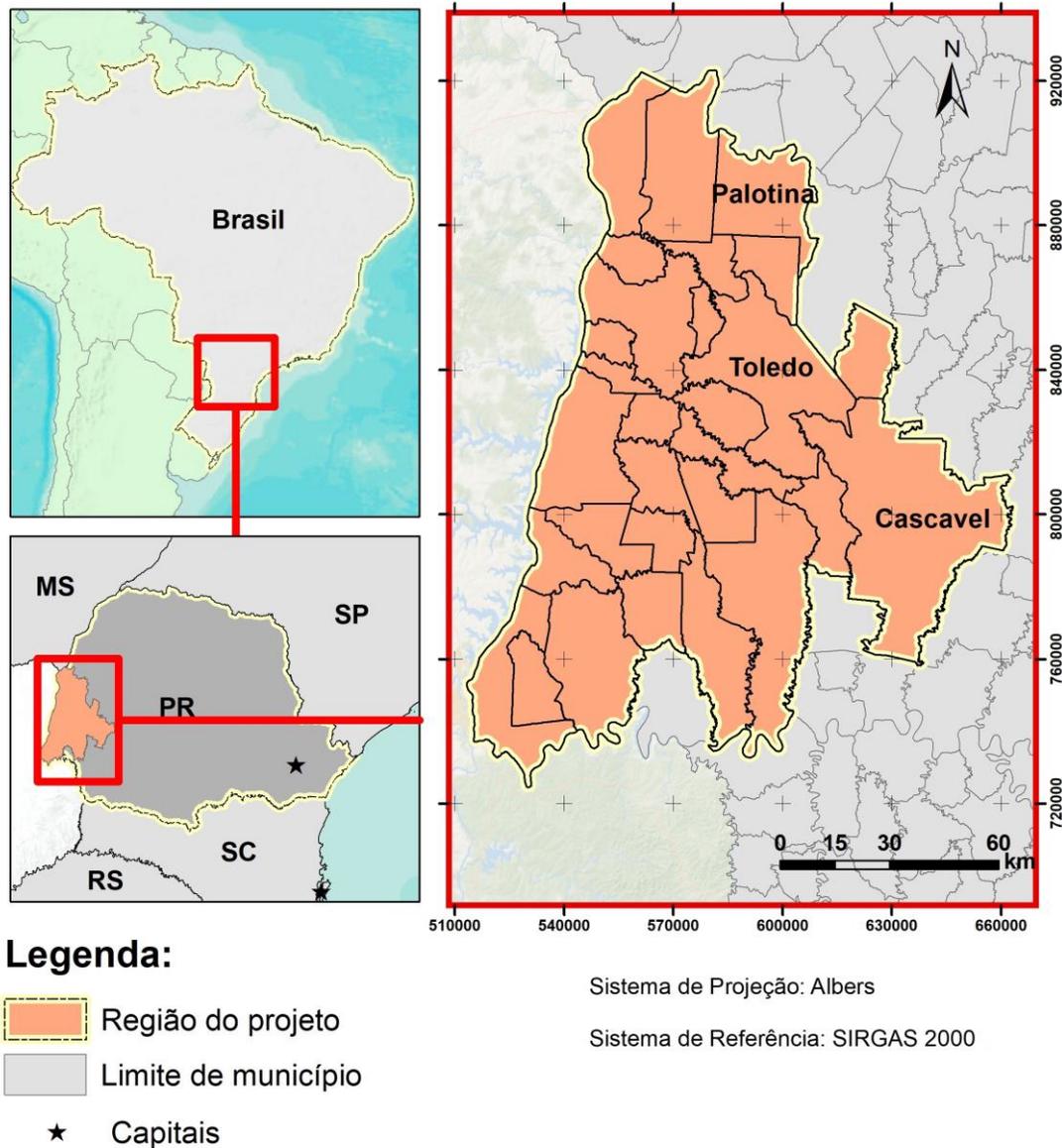


Figura 1. Localização do Estado do Paraná no Brasil (a) e da área de estudo (municípios formadores da BP3 mais o município de Palotina) no Estado do Paraná (b) e mapa da área de estudo com coordenadas e municípios vizinhos (c).

A área de estudo é delimitada pelas coordenadas geográficas $23^{\circ}58'52''S$ e $53^{\circ}4'19''O$ na sua parte superior direita e $25^{\circ}41'50''S$ e $54^{\circ}37'9''O$ na sua parte inferior esquerda, apresenta altitude média de 393 m (variando de 101 m, em Foz do Iguçu, a 875 m, em Cascavel) e tem extensão territorial de 14.696,85 km². Possui uma grande área de preservação, o Parque Nacional do Iguçu, que extrapola a área do estudo, tendo em sobreposição a ela 1.462,76 km². As áreas urbanas dos 29 municípios somam 562,62 km² e as Terras Indígenas 25,42 km². A soma das áreas de preservação ambiental, das áreas urbanas, das massas de água e das Terras Indígenas é de 2.806,97 km².

A região de interesse apresenta temperatura média anual variando de 19 a 23°C, mês mais quente (janeiro) variando de 23 a 26°C e mês mais frio (junho) variando de 14 a 18°C. A precipitação média anual varia de 1.700 a 2.200 mm, o trimestre mais chuvoso é dezembro-janeiro-fevereiro (média histórica variando de 460 a 580 mm), o trimestre menos chuvoso é junho-julho-agosto (média histórica variando de 260 a 420 mm). A região suporta florestas subtropicais e tropicais subperenifólias e perenifólias, apresentando clima do tipo Cfa da classificação de Köppen, variando entre o clima subtropical e o subtemperado na classificação de Köppen modificada por Maluf para a região sul do Brasil (Wrege et al., 2011).

2.2. Levantamento de solos

O levantamento de solos da área de estudo (Bognola et al., 2018) é uma atualização realizada a partir dos arquivos vetoriais do mapa de solos do Estado do Paraná (Embrapa, 2008), sendo que este utilizou dados originais de Embrapa (1974a, 1974b, 1984). Essa atualização isolou áreas oficiais de proteção ambiental e redefiniu áreas urbanas e massas de água. Os polígonos das unidades de mapeamento de solos apresentam escala de trabalho de 1:250.000 e área mínima mapeável de 1 cm² no mapa, ou seja, 625 ha. Vários campos da legenda da atualização do mapeamento de solos vão compor as regras dos graus de limitação de uso agrícola das terras da região para o cultivo de eucalipto, incluindo a qualificação das unidades de mapeamento de solos com atributos de retenção de água. Esse atributo, mesclado com atributos de clima, permitiu a geração do balanço hídrico dos diferentes polígonos do mapa de solos.

2.2. Sistema de manejo para o cultivo de eucalipto na região

O cultivo de eucalipto na região apresenta um conjunto de intervenções que caracterizam, de forma mais ampla, um nível tecnológico desenvolvido para moderado. Dependendo da escala do plantio, do tipo de produtor (empresa, cooperativa, pequeno proprietário etc.) e do tipo de solo e paisagem, esse nível tecnológico pode ser alterado, importando em maior ou menor aplicação de capital no uso dos insumos envolvidos na silvicultura do eucalipto. A maioria absoluta dos plantios tem finalidade energética e é de responsabilidade das próprias empresas e cooperativas que demandam essa biomassa para energia. Os maciços não são muito extensos, com áreas contíguas de plantio podendo alcançar no máximo algumas centenas de hectares, sendo que estes constituem exceções. Pequenos talhões, menores até que 1 ha, podem ser vistos em áreas de menor potencial, geralmente solos mais rasos e não mecanizáveis de pequenos produtores. Dessa forma, o nível tecnológico predominante envolve uma boa dose de insumos, mas não é comparável às áreas de

tradição florestal, que apresentam quantitativos das suas áreas de plantio de eucalipto que ultrapassam em muito o total da região oeste do Paraná.

As características apresentadas a seguir dizem respeito às áreas de reforma, que são mais comuns, e também de manejo mais complexo. O acréscimo de novas áreas, geralmente substituindo cultivos anuais ou pastagens, ocorre bem mais raramente. Diversas variações podem ocorrer, mas o descrito fornece uma boa ideia do processo predominante de cultivo do eucalipto na região:

- Limpeza da área: Coleta de galhos grossos com potencial para produção de cavaco que durante o arraste das árvores se desprenderam. É comum a passagem de grade de disco para quebrar um pouco o acúmulo de galhos finos deixados no campo.
- Controle de mato-competição antes do plantio: Herbicida sistêmico dessecante e pré-emergente.
- Calagem: Até 2 ton ha⁻¹ de calcário dolomítico.
- Preparo do solo e adubação de plantio: Subsolagem e adubação fosfatada em uma mesma operação realizada com trator de pneus. Resíduos orgânicos podem também ser utilizados, provenientes de granjas e podem ser líquidos ou secos, espalhados por tanques ou espalhadores de calcário.
- Principais materiais plantados: Clone AEC 144 (ou I-144) é o predominante, vindo a seguir os clones H-13, Super clone (1528), GG-100 e outros. Parte dos plantios com material seminal.
- Espaçamento de plantio: Tendência atual é de 3 m x 2 m. As áreas de reforma perpetuam espaçamentos um pouco menores, em função dos tocos remanescentes dos plantios anteriores, que dificultam novos espaçamentos.
- Plantio das mudas no campo: Manual com uso de matraca. Procura-se evitar os meses de maior estiagem (junho e julho) e também os meses muito quentes com chance de ocorrência de veranicos (dezembro, janeiro e fevereiro). Sítios da região com maior probabilidade de geadas também influenciam as épocas de plantio.
- Replantio: Realizado quando o percentual de falhas ultrapassa 5% ou as falhas se concentram em uma determinada faixa do talhão.
- Controle de mato-competição após o plantio: Aplicação de herbicida pós-emergente 30 dias após o plantio. Até aproximadamente 2-3 anos de idade do plantio, capinas mecânicas com o foco nas plantas prejudiciais ao desenvolvimento do eucalipto.
- Controle de formigas: Antes e após o plantio, pela aplicação de iscas.

- Adubação de cobertura: Aproximadamente 4 meses após o plantio, sobre o solo e circulando a muda ou ao lado da muda, por matraca.
- Controle de pragas e doenças: Tratamentos pontuais, quando necessário.
- Colheita: Cabeçote feller de tesoura acoplada a uma máquina pá carregadeira, fazendo o empilhamento de até 7 árvores para depois um mini-skidder arrastar o material até local de embarque ou de picador móvel para a produção de cavacos. Uso de motosserra para o corte de árvores em locais com dificuldades para o tráfego de máquinas de colheita.
- Idade do plantio para colheita (corte raso): Preferencialmente aos 7 anos de idade, variando para mais ou para menos, conforme necessidade.

Sítios com solos muito rasos, pedregosos, rochosos e declivosos alteram em muito esse sistema de manejo em vários momentos, como nas práticas de preparo do solo, adubação e colheita.

2.3. Metodologia de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto

Cada classe de aptidão das terras deve, idealmente, agrupar as faixas de terra (unidades de mapeamento de solos com uma determinada oferta climática) que exijam práticas de manejo similares e que tenham expectativas de produtividade do eucalipto também similares, buscando, sempre, um melhor custo/benefício para o empreendimento como um todo.

Cada polígono do mapa de solos foi associado a uma base de dados, que permitiu a definição dos graus de limitação das terras para o cultivo do eucalipto.

2.3.1. Graus de limitação exclusivamente pedológicos

Os graus de limitação deficiência de nutrientes/fertilidade (ΔN), deficiência de oxigênio/excesso de água (ΔO), suscetibilidade à erosão (ΔE) e impedimentos ao manejo (ΔM) (Tabelas 1, 2, 3 e 4) apresentam regras que se utilizam de atributos e fases disponíveis na legenda do mapa de solos para cada uma das unidades de mapeamento existentes, incluindo atributos de terreno (relevo).

Tabela 1. Definição do grau de limitação por deficiência de nutrientes (fertilidade) - ΔN

Grau de Limitação ¹	Classe de solo	Substrato	Saturação por bases /AI	Textura do solo
MODERADO	Gleissolo – Organossolo – Argissolo	Sedimentos	-	-
MODERADO/FORTE 1	Neossolo	rocha básica	eutrófico	argilosa - muito argilosa
MODERADO/FORTE 2	Latossolo – Nitossolo	rocha básica	eutrófico	muito argilosa
FORTE 1	Latossolo	rocha básica - arenito	eutrófico	argilosa - média/argilosa
FORTE 2	Latossolo – Nitossolo	rocha básica	distrófico	muito argilosa
FORTE/MUITO FORTE	Latossolo – Argissolo	Arenito	eutrófico	média - arenosa/média
MUITO FORTE	Latossolo – Argissolo	Arenito	distrófico	média - arenosa/média

¹ As classes existentes referem-se a todos os polígonos de cada unidade de mapeamento de solos da área de estudo (Bognola et al., 2018).

Tabela 2. Definição do grau de limitação por excesso de água/deficiência de oxigênio - ΔO

Grau de Limitação ¹	Drenagem	Classe de solo	Relevo (mais suave)
NULO	fortemente – bem	Latossolo – Nitossolo - Argissolo	plano
NULO/LIGEIRO 1	bem - moderadamente	Nitossolo – Argissolo	plano
NULO/LIGEIRO 2	bem - moderadamente	Neossolo	suave ondulado
MUITO FORTE	mal – muito mal	Gleissolo - Organossolo	plano

¹ As classes existentes referem-se a todos os polígonos de cada unidade de mapeamento de solos da área de estudo (Bognola et al., 2018).

Tabela 3. Definição do grau de limitação por suscetibilidade à erosão - ΔE

Grau de Limitação ¹	Relevo mais crítico	Classe de solo	Textura
NULO 1	suave ondulado	Organossolo – Gleissolo	-
NULO 2	plano	Latossolo - Nitossolo	argilosa – muito argilosa
LIGEIRO	suave ondulado	Latossolo – Nitossolo	argilosa – muito argilosa
LIGEIRO/MODERADO	suave ondulado	Latossolo – Argissolo	média/argilosa - média – arenosa/média
MODERADO	ondulado	Nitossolo	muito argilosa
MODERADO/FORTE 1	ondulado	Argissolo	arenosa/média
MODERADO/FORTE 2	ondulado	Latossolo – Nitossolo	muito argilosa
FORTE	forte ondulado	Nitossolo	muito argilosa
FORTE/MUITO FORTE	forte ondulado	Neossolo	argilosa – muito argilosa

¹ As classes existentes referem-se a todos os polígonos de cada unidade de mapeamento de solos da área de estudo (Bognola et al., 2018).

Na definição do ΔN (Tabela 2) do universo de estudo, a maior diferença se relaciona com a maior quantidade de nutrientes como elementos traço nas rochas eruptivas básicas (RESENDE et al., 1988) relativamente ao arenito. Isso é particularmente importante em um cultivo florestal, no caso com um ciclo no entorno de 7 anos. Além disso, os solos desenvolvidos a partir das rochas eruptivas básicas possuem variações de saturação de bases, ocorrendo solos eutróficos e distróficos, e de atividade da fração argila (da sua capacidade de troca catiônica) que se relaciona em boa parte com o grau de desenvolvimento dos solos de cada local.

Tabela 4. Definição do grau de limitação por impedimentos ao manejo - ΔM

Grau de Limitação¹	Relevo	Drenagem	Pedregosidade/ rochiosidade	Textura	Classe de solo
NULO	plano, suave ondulado	extremamente a bem drenado	ausente	arenosa – média	Latossolo - Argissolo
NULO/LIGEIRO	plano, suave ondulado	extremamente a bem drenado	ausente	argilosa	Latossolo - Argissolo
LIGEIRO 1	plano, suave ondulado	bem a moderadamente drenado	ausente	arenosa – média - argilosa	Argissolo
LIGEIRO 2	plano, suave ondulado	extremamente a moderadamente drenado	ausente	muito argilosa	Latossolo – Nitossolo
MODERADO	ondulado	extremamente a moderadamente drenado	ausente	arenosa - média	Latossolo – Argissolo
MODERADO/FORTE	ondulado	extremamente a moderadamente drenado	ausente	argilosa – muito argilosa	Latossolo – Nitossolo
FORTE	forte ondulado	extremamente a moderadamente drenado	ausente	argilosa – muito argilosa	Latossolo – Nitossolo
FORTE/MUITO FORTE	forte ondulado, montanhoso	extremamente a moderadamente drenado	presente	média – argilosa – muito argilosa	Neossolo Litólico – Neossolo Regolítico
MUITO FORTE	plano – suave ondulado	mal a muito mal drenado	ausente	-	Gleissolo - Organossolo

¹ As classes existentes referem-se a todos os polígonos de cada unidade de mapeamento de solos da área de estudo (Bognola et al., 2018).

2.3.2. Graus de limitação sob influência de atributos climáticos

2.3.2.1. Base de dados e procedimentos de mapeamento climáticos

Os dados climáticos pertencem a três redes de estações meteorológicas: i) Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, que conta com 27 estações meteorológicas, compreendendo o período base de 1981 a 2010; ii) Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR, com 9 estações e iii) Instituto das Águas do Paraná, com 15 estações. O total das 51 estações meteorológicas abrangem todas as condições climáticas da região de estudo. Elas englobam, inclusive, estações situadas próximas dos limites da área de abrangência do estudo, porém fora dessa área, permitindo melhor qualidade de estimativa de riscos nas áreas limítrofes do perímetro do estudo.

Os dados climáticos de temperatura e de precipitação pluviométrica foram organizados e analisados quanto aos erros, completude e consistência, corrigindo-os e preparando-os em planilhas eletrônicas, para o cálculo dos riscos e a formação de camadas, usando sistemas de informações geográficas. Os fatores condicionantes do clima, entre os quais a altitude, a latitude e a longitude (continentalidade), são determinantes no modo de elaborar as camadas das variáveis climáticas. Utilizou-se, para o mapeamento destas variáveis, o modelo numérico de elevação (MNE). Todas camadas estavam georreferenciadas e padronizadas no formato matricial, também conhecido como “raster” (Wrege et al., 2011; Wrege et al., 2018).

2.3.2.2. Risco de ocorrência de geada (ΔG)

O risco de geada (ΔG) é um grau de limitação exclusivamente climático. Foi calculado através da distribuição de valores extremos. Para o cálculo da ‘distribuição de valores extremos’, conhecida também como ‘distribuição Gumbel’, utilizou-se a série de dados com temperaturas mínimas absolutas mensais (rede de 36 estações meteorológicas do IAPAR e do SIMEPAR).

A função da densidade de probabilidade de distribuição de valores extremos é dada pela Equação 1 (Thom, 1966; Camargo et al. 1993).

$$f(x) = \left(\frac{1}{\beta}\right) \exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right) - \exp^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}\right] \quad -\infty < \alpha < \infty \quad \text{Equação 1}$$

Em que α e β são parâmetros da distribuição.

A equação 2 define a probabilidade (P) de que a temperatura mínima (T) seja inferior a um dado valor.

$$P(T \leq x) = \beta \int_{-\infty}^x \exp\left[-\left(\frac{y-\alpha}{\beta}\right) - \exp^{\left[\exp\left(-\frac{y-\alpha}{\beta}\right)\right]}\right] dy \quad \text{Equação 2}$$

Desenvolvendo a Equação 2, tem-se a equação simplificada (Equação 3).

$$P(T \leq x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\alpha}{\beta}\right)\right] \quad \text{Equação 3}$$

Onde α e β foram estimados pelo método de ‘Lieblein’ (Thom, 1966), baseado nas variâncias mínimas, na qual dividiu-se a série de dados climáticos em subgrupos. Cada subgrupo foi ordenado na ordem crescente e, posteriormente, reagrupado, unindo os menores valores em um novo subgrupo, e assim por diante, até unir os maiores valores em um último subgrupo. A somatória de cada subgrupo foi multiplicada pelos valores a_j e b_j (valores tabelados) para o cálculo de α e β (Astolpho, 2003). Os cálculos probabilísticos foram feitos para a temperatura mínima de 3°C.

Utilizou-se o método de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade para analisar o ajuste entre as frequências das temperaturas mínimas absolutas e as estimadas pelo método da ‘distribuição de valores extremos’ (Camargo et al., 1993).

O ΔG de cada polígono do mapa de solos se originou do ΔG da estação meteorológica com maior influência nas terras desse mesmo polígono. Para isso, utilizou-se da geração de polígonos de Thiessen, também conhecidos como diagramas de Voronoi, que estabeleceram a área de influência máxima de cada estação meteorológica nas terras de cada polígono do mapa de solos. A Tabela 5 define as classes de ΔG de cada polígono do mapa de solos.

Tabela 5. Definição do grau de limitação por risco de geada - ΔG

Grau de Limitação	Risco de geada
	%
MUITO BAIXO	< 10
BAIXO	≥ 10 e < 20
MODERADO	≥ 20 e < 40
ALTO	> 40

¹ As classes existentes referem-se a cada polígono do mapa de solos, independente da unidade de mapeamento de solos (Bognola et al., 2018) que ocorre no polígono.

O risco de geadas é o fator condicionante de maior impacto nas quebras de safras na região sul do país. A geada chega a causar a mortalidade de plantas no campo. Potencializam essa ação deletéria anos mais frios, áreas de baixadas, terrenos voltados para a face sul e áreas expostas a corredores de ventos frios.

2.3.2.3. Deficiência de água (ΔH)

A deficiência de água (ΔH) é o grau de limitação de construção mais complexa, interagindo o valor representativo da classe de capacidade de retenção de água até 2 m de profundidade das unidades de mapeamento de solos (Tabela 6) e os valores médios de temperatura, precipitação e, por conseguinte, evapotranspiração potencial de todos os decêndios ao longo do ano em cada estação

meteorológica. Essa interação permitiu a construção de uma base de dados e o cálculo do balanço hídrico para todas as situações possíveis do universo estudado, considerando o déficit hídrico acumulado anual (disponível para dois períodos de crescimento, período de maior crescimento - setembro a abril - e período de menor crescimento - maio a agosto). Posteriormente, através da geração de polígonos de Thiessen, já utilizados para a definição do ΔG , estabeleceu-se a área de influência máxima de cada estação meteorológica nas terras de cada polígono do mapa de solos. Nesse momento, foi possível definir os campos de déficit hídrico acumulado para cada polígono, com os resultados do balanço hídrico da estação associada a cada polígono e utilizando o valor de capacidade de água disponível (CAD), diferença entre a água armazenada nas tensões associadas à capacidade de campo e ao ponto de murchamento, representativa da unidade de mapeamento de solos a que pertence esse mesmo polígono nos cálculos desses resultados. Os valores de déficit hídrico anual encontrados foram relativizados pelo menor valor de ocorrência do atributo entre todos os polígonos. De posse do valor de déficit hídrico anual relativizado de cada polígono do mapa de solos, definiu-se o ΔH conforme as classes da Tabela 7.

Tabela 6. Classes de capacidade de água disponível no solo até a profundidade de 2 m

Classe	Limites de água disponível no solo até a profundidade de 2 m		
	limite inferior	limite superior	valor representativo da classe
	mm	mm	mm
Muito baixa	-	< 25,5	15
Baixa	25,5	< 100,5	70
Moderada	100,5	< 135,5	100
Suficiente	135,5	< 172,5	150
Ideal	172,5	-	180

Tabela 7. Definição do grau de limitação por deficiência de água - ΔH

Grau de Limitação	Déficit hídrico anual relativizado pelo menor valor encontrado para a região de estudo
NULO	$\leq 3,6$
NULO/LIGEIRO	$> 3,6$ e $\leq 4,2$
LIGEIRO	$> 4,2$ e $\leq 6,5$
MODERADO	$> 6,5$ e $\leq 8,5$
FORTE	$> 8,5$

¹ As classes existentes referem-se a cada polígono do mapa de solos, independente da unidade de mapeamento de solos (Bognola et al., 2018) que ocorre no polígono.

O balanço hídrico foi definido pela Equação 4.

$$\text{Balanço hídrico} = P - \text{ETP} + \text{ARM}$$

Equação 4

Onde P é a precipitação pluviométrica total (mm) ocorrida em cada decêndio do ano; a ETP é a evapotranspiração potencial total ocorrida por decêndio em todo o ano (mm); e ARM é o armazenamento de água do solo, dado pela CAD de cada tipo de solo.

O cálculo dos valores de ETP foram feitos conforme o passo-a-passo das equações 5 a 8.

$$ETP = f \times 16 \times \left(10 \times \frac{tmed}{I}\right)^a \quad \text{Equação 5}$$

Na equação da ETP f , I e a são definidos pelas Equações 6, 7 e 8.

$$f = [0,006 \times (-1) \times latitude + 1,01] \quad \text{Equação 6}$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} (tmed/5)^{1,514} \quad \text{Equação 7}$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 0,01791 \times I + 0,492 \quad \text{Equação 8}$$

Onde f representa a função de ajuste do modelo para cada local, considerando-se que a equação é dada para calcular a ETP em um período de 12 horas de brilho solar, o que não ocorre em todas as regiões; I é o índice anual de calor; a é a função cúbica do índice anual de calor; $tmed$ é a temperatura média do ar nos meses de janeiro a dezembro ($^{\circ}\text{C}$); e $\sum_{12}^1 tmed$ é o somatório das temperaturas médias do ar de janeiro a dezembro ($^{\circ}\text{C}$). A latitude, na equação, foi expressa em graus decimais negativos e serviu para calibrar os valores de ETP para cada local.

Na etapa seguinte, os dados das 36 estações para as quais foram calculados os valores de ETP foram usados para gerar equações de regressão linear simples (1.440 equações), permitindo que a ETP fosse calculada em função da latitude, longitude e altitude para qualquer ponto da região de estudo. Com isso, foi possível estimar a ETP para toda a rede de estações pluviométricas e calcular os valores do balanço hídrico, conforme a Equação 9.

$$ETP = \text{constante} + \alpha \text{ longitude} + \beta \text{ latitude} + \chi \text{ altitude} \quad \text{Equação 9}$$

Assim, para cada decêndio foi calculado o déficit hídrico acumulado (em mm) para os valores de CAD 15, 70, 100, 150 e 180 mm, que são representativos das classes que ocorrem nas diferentes unidades de mapeamento de solos (Tabela 6).

Na região do estudo o risco de déficit hídrico é refreado pela boa quantidade e pela regular distribuição das chuvas. Ao norte da região esse risco começa a ganhar uma maior dimensão, ainda impulsionado pela presença de solos de menor taxa de retenção de água.

2.4. Viabilidade de melhoramento dos graus de limitação

As Tabelas 8 e 9 apresentam a viabilidade de melhoramento dos graus de limitação deficiência de nutrientes (ΔN) e impedimentos ao manejo (ΔM).

Tabela 8. Viabilidade de melhoramento dos desvios por deficiência de nutrientes (fertilidade) (ΔN)

ΔN antes do melhoramento	Classe de solo	Textura	Relevo mais forte da unidade	ΔN após o melhoramento
MODERADO	Gleissolo, Organossolo, Argissolo	-	suave ondulado	NULO/ LIGEIRO ^a
MODERADO/FORTE	Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico	média, argilosa, muito argilosa	montanhoso	LIGEIRO ^a
MODERADO/FORTE	Latossolo, Nitossolo	argilosa, muito argilosa	suave ondulado	NULO ^b
MODERADO/FORTE	Latossolo, Nitossolo	argilosa, muito argilosa	ondulado	NULO/LIGEIRO ^b
MODERADO/FORTE	Latossolo, Nitossolo	argilosa, muito argilosa	forte ondulado	LIGEIRO ^b
FORTE	Latossolo	média, argilosa	suave ondulado	NULO/ LIGEIRO ^b
FORTE	Latossolo, Nitossolo	argilosa, muito argilosa	suave ondulado	NULO/LIGEIRO ^b
FORTE	Latossolo, Nitossolo	argilosa, muito argilosa	ondulado	LIGEIRO ^b
FORTE	Latossolo, Nitossolo	argilosa, muito argilosa	forte ondulado	LIGEIRO/ MODERADO ^b
FORTE/ MUITO FORTE	Latossolo, Argissolo	arenosa/média, média	suave ondulado	LIGEIRO ^b
FORTE/ MUITO FORTE	Latossolo, Argissolo	arenosa/média, média	ondulado	LIGEIRO/ MODERADO ^b
FORTE/ MUITO FORTE	Latossolo, Argissolo	arenosa/média, média	forte ondulado	MODERADO ^b
MUITO FORTE	Latossolo, Argissolo	arenosa/média, média	suave ondulado	LIGEIRO ^b
MUITO FORTE	Latossolo, Argissolo	arenosa/média, média	ondulado	LIGEIRO/ MODERADO ^b
FORTE/ MUITO FORTE	Latossolo, Argissolo	arenosa/média, média	forte ondulado	MODERADO ^b

¹a - classe de melhoramento viável com práticas (adubações) simples e de médio custo.

²b - classe de melhoramento viável com práticas (adubações) intensivas e de custo considerável.

2.5. Classes e subclasses de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto

As regras que definem a classe de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto são apresentadas no quadro guia da Tabela 10. Consideram o sistema de manejo descrito no item 2.2. Os graus de limitação já descritos são os atributos que definem as regras.

A Tabela 11 e a Figura 2 procuram explicar a simbologia utilizada para apresentar as subclasses de cada faixa de terra.

Tabela 9. Viabilidade de melhoramento dos desvios por impedimentos ao manejo (ΔM)

ΔM antes do melhoramento	ΔM após o melhoramento
Nulo	Nulo <u>a</u>
Nulo/Ligeiro	Nulo <u>b</u>
Ligeiro	Nulo/Ligeiro <u>b</u>
Moderado	Nulo/Ligeiro <u>b</u>
Moderado/Forte	Ligeiro <u>b</u>
Forte	Moderado <u>b</u>
Forte/Muito Forte	Forte <u>b</u>
Muito Forte	Forte/Muito Forte <u>b</u>

¹a - classe de melhoramento viável com práticas simples e de pequeno custo (subsolagem pouco profunda).

²b - classe de melhoramento viável com práticas intensivas e de custo considerável (além da subsolagem, pode envolver retirada de pedregosidade/rochiosidade e, ou confecção de drenos de pequeno porte).

Tabela 10. Guia da classificação das classes de aptidão das terras para cultivo de eucalipto, sistema de manejo com nível tecnológico empresarial regional. O grau de limitação colocado é o mais restritivo que cada fator pode alcançar para determinada classe de aptidão

ΔN com melhoramento	ΔO	ΔE	ΔM com melhoramento	ΔH	ΔG	Classe de Aptidão	
						Nome	Símbolo
Ligeiro <u>b</u>	Ligeiro	Ligeiro/ Moderado	Nulo/Ligeiro <u>b</u>	Nulo/ Ligeiro	Baixo	Apta Superior	AS
Ligeiro/ Moderado <u>b</u>	--	Moderado	Ligeiro <u>b</u>	Ligeiro	Moderado	Apta Inferior	AI
--	--	Moderado/ Forte	Moderado <u>b</u>	Moderado	Alto	Regular superior	RS
--	--	Forte	--	--	--	Regular inferior	RI
--	--	Muito Forte	Forte <u>b</u> e solum > 50 cm ou material da rocha fragmentário	Forte	--	Marginal	MA
--	Muito Forte	--	Forte <u>b</u> e solum < 50 cm ou presença de lage continua em profundidade < 75 cm	--	--	Inapta	IN

3. RESULTADOS DAS CLASSES DE APTIDÃO DAS TERRAS

A Tabela 12 apresenta os graus dos fatores de limitação exclusivamente pedológicos (ΔN , ΔO , ΔE e ΔM) para todos os componentes das unidades de mapeamento de solos. Os fatores de limitação ΔH e ΔG , por possuírem influência de aspectos climáticos, variam entre os polígonos de uma mesma unidade de mapeamento de solos. A Tabela 13 apresenta as subclasses de aptidão das

terras para o cultivo do eucalipto que ocorrem no universo do estudo, com os quantitativos de área (em km²).

A Figura 3 mostra os quantitativos das classes de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto na área de estudo, incluindo as terras chamadas não produtivas, que reúnem áreas urbanas, espelhos de água, áreas de preservação oficiais e reservas indígenas.

Tabela 11. Simbologia correspondente aos fatores limitantes que acompanham os símbolos das classes de aptidão das terras para cultivo de eucalipto, formando as subclasses, sistema de manejo com nível tecnológico empresarial regional

Fator de limitação	Grau do fator de limitação	Símbolo
Deficiência de nutrientes (ΔN)	Ligeiro/Moderado	f
Deficiência de água (ΔH)	Ligeiro	h
	Moderado	H
Deficiência de oxigênio (ΔO)	Muito forte	o
Risco de geada (ΔG)	Moderado	g
	Alto	G
Textura	arenosa/média	a/m
	média	m
	argilosa	r
	muito argilosa	rr
	indiscriminada	i
Classe de relevo	plano a suave ondulado	p
	suave ondulado a ondulado	s
	ondulado a forte ondulado	o
	forte ondulado a montanhoso	f
Profundidade do solum (cm)	<100	(<)

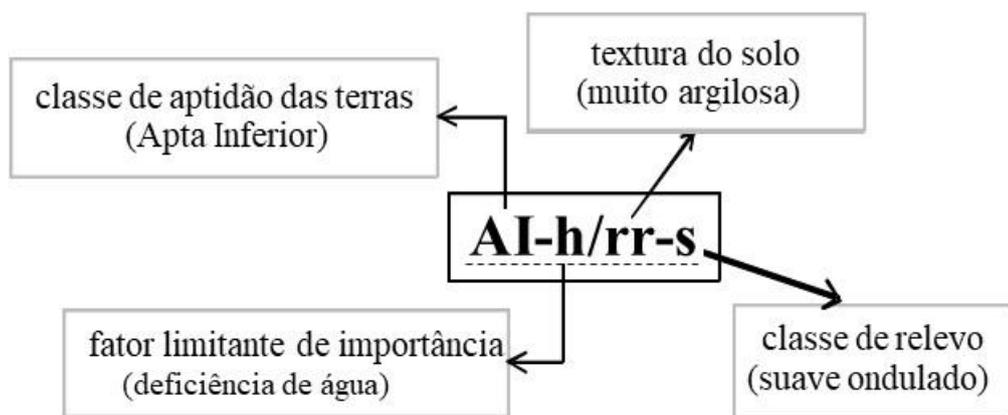


Figura 2. Exemplo do símbolo das subclasses de aptidão das terras para cultivo de eucalipto. Duas primeiras letras maiúsculas = classe de aptidão das terras; letras minúsculas antes da barra de fração = fatores de limitação de importância da faixa de terra; primeira letra minúscula após da barra de fração = classe de textura do solo; segunda letra minúscula após da barra de fração = classe de relevo da faixa de terra; se a profundidade efetiva do solo < 100 cm, aparece por último “(<)”. A simbologia dos fatores limitantes suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização não aparece, desde que a presença decisiva dos mesmos pode ser inferida pela classe de relevo, classe de textura e profundidade do solum. Se o símbolo aparece com sublinhado cheio ou tracejado, existem nas terras do polígono, respectivamente, faixas de terras com aptidão superior e inferior da classe preponderante.

Tabela 12. Graus de limitação exclusivamente pedológicos dos componentes das unidades de mapeamento de solos dos municípios da BP3 e de Palotina

Código legenda	Símbolo classe componente ¹	ΔN com melhoramento	Deficiência de oxigênio - ΔO	Suscetibilidade à erosão - ΔE	Impedimentos à mecanização - ΔM com melhoramento
PVd	PVd	Ligeiro/Moderado_b	Nulo	Moderado/Forte1	Nulo/Ligeiro_b
PVe1	PVe	Ligeiro_b	Nulo	Ligeiro/Moderado	Nulo_a
PVe2	PVe	Ligeiro/Moderado_b	Nulo/Ligeiro1	Moderado/Forte1	Nulo/Ligeiro_b
GX1	GX	Nulo/Ligeiro_a	Muito Forte	Nulo1	Forte/Muito Forte_b
GX2	GX	Nulo/Ligeiro_a	Muito Forte	Nulo1	Forte/Muito Forte_b
GX2	PVe	Nulo/Ligeiro_a	Nulo/Ligeiro1	Ligeiro/Moderado	Nulo/Ligeiro_b
LVdf1	LVdf	Nulo/Ligeiro_b	Nulo	Ligeiro	Nulo/Ligeiro_b
LVdf2	LVdf	Ligeiro_b	Nulo	Moderado/Forte2	Ligeiro_b
LVdf3	LVdf	Nulo/Ligeiro_b	Nulo	Ligeiro	Nulo/Ligeiro_b
LVdf4	LVdf	Nulo/Ligeiro_b	Nulo	Ligeiro	Nulo/Ligeiro_b
LVdf4	NVdf	Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Moderado/Forte2	Ligeiro_b
LVdf5	LVdf	Ligeiro_b	Nulo	Moderado/Forte2	Ligeiro_b
LVd	LVd	Ligeiro_b	Nulo	Ligeiro/Moderado	Nulo_a
LVef1	LVef	Nulo_b	Nulo	Ligeiro	Nulo/Ligeiro_b
LVef2	LVef	Nulo_b	Nulo	Ligeiro	Nulo/Ligeiro_b
LVef2	NVef	Nulo/Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Moderado	Ligeiro_b
LVe1	LVe	Nulo/Ligeiro_b	Nulo	Ligeiro	Nulo_b
LVe2	LVe	Ligeiro_b	Nulo	Ligeiro/Moderado	Nulo_a
RRe	RRe	Ligeiro_a	Nulo/Ligeiro2	Forte/Muito Forte	Forte_b + solum > 50cm
RRe	RLm	Ligeiro_a	Nulo/Ligeiro2	Forte/Muito Forte	Forte_b + solum < 50cm
RRe	NVef	Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Forte	Moderado_b
NBef	NBef	Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Forte	Moderado_b
NVdf1	NVdf	Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Moderado/Forte2	Ligeiro_b
NVdf2	NVdf	Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Moderado/Forte2	Ligeiro_b
NVdf2	LVdf	Nulo/Ligeiro_b	Nulo	Ligeiro	Nulo/Ligeiro_b
NVdf3	NVdf	Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Moderado	Ligeiro_b
NVef1	NVef	Nulo_b	Nulo	Ligeiro	Nulo/Ligeiro_b
NVef2	NVef	Nulo/Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Moderado/Forte2	Ligeiro_b
NVef3	NVef	Nulo/Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Moderado	Ligeiro_b
NVef4	NVef	Nulo/Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Moderado/Forte2	Ligeiro_b
NVef5	NVef	Nulo/Ligeiro_b	Nulo/Ligeiro1	Moderado/Forte2	Ligeiro_b
NVef5	GX	Nulo/Ligeiro_a	Muito Forte	Nulo1	Forte/Muito Forte_b
OX	OX	Nulo/Ligeiro_a	Muito Forte	Nulo1	Forte/Muito Forte_b

¹Classes do 1º e 2º nível hierárquico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS): PV – Argissolo Vermelho, GX – Gleissolo Háplico, LV – Latossolo Vermelho, RL – Neossolo Litólico, RR – Neossolo Regolítico, NB – Nitossolo Bruno, NV – Nitossolo Vermelho, OX – Organossolo Háplico. Classe do 3º nível hierárquico do SiBCS: d – Distrófico, e – Eutrófico, df – Distroférico, ef – Eutroférico, m – Chernossólico.

Tabela 13. Símbolo, descrição e área (km²) das subclasses de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios da BP3 e Palotina

Símbolo ¹	Descrição	Unidades de mapeamento	Área km ²
AS/r-s	Classe de aptidão apta superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nula/ligeira, deficiência de oxigênio nula, suscetibilidade à erosão ligeira, impedimentos ao manejo (após melhoramento) nulo, deficiência de água nula/ligeira e risco de geada muito baixo a baixo, textura argilosa, relevo suave ondulado, solum mais espesso que 100 cm	LVe1	30,9
AS/r-r-s	Classe de aptidão apta superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nula a nula/ligeira, deficiência de oxigênio nula, suscetibilidade à erosão ligeira, impedimentos ao manejo (após melhoramento) nulo/ligeiro, deficiência de água nula a nula/ligeira e risco de geada muito baixo a baixo, textura muito argilosa, relevo suave ondulado (algum relevo ondulado), solum mais espesso que 100 cm	LVdf3, LVef1, LVef2, NVef1	2.152,0
AI h/a/m-s	Classe de aptidão apta inferior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula, suscetibilidade à erosão ligeira/moderada, impedimentos ao manejo (após melhoramento) nulo, deficiência de água ligeira e risco de geada muito baixo a baixo, textura arenosa/média, relevo suave ondulado, solum mais espesso que 100 cm	PVe1	64,2
AI h/m-s	Classe de aptidão apta inferior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula, suscetibilidade à erosão ligeira/moderada, impedimentos ao manejo (após melhoramento) nulo, deficiência de água ligeira e risco de geada baixo, textura média, relevo suave ondulado, solum mais espesso que 100 cm	LVd, LVe2	229,0
AI g/r-r-s	Classe de aptidão apta inferior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nula a nula/ligeira, deficiência de oxigênio nula a nula/ligeira, suscetibilidade à erosão ligeira a moderada, impedimentos ao manejo (após melhoramento) nulo/ligeiro a ligeiro, deficiência de água nula e risco de geada moderado, textura muito argilosa, relevo suave ondulado (algum relevo ondulado), solum mais espesso que 100 cm	LVdf1, LVdf3, LVdf4, LVef1, LVef2, NVef1, NVef3	2.535,3
RS fh/a/m-s	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira/moderada, deficiência de oxigênio nula, suscetibilidade à erosão moderada/forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) nulo/ligeiro, deficiência de água ligeira e risco de geada muito baixo, textura arenosa/média, relevo suave ondulado a ondulado, solum mais espesso que 100 cm	PVd	15,4
RS H/a/m-s	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula, suscetibilidade à erosão ligeira/moderada, impedimentos ao manejo (após melhoramento) nulo, deficiência de água moderada e risco de geada baixo, textura arenosa/média, relevo suave ondulado, solum mais espesso que 100 cm	PVe1	35,2

Continua ...

Continuação da Tabela 13. Símbolo, descrição e área (km²) das subclasses de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios ...

Símbolo	Descrição	Unidades de mapeamento	Área
RS H/m-s	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula, suscetibilidade à erosão ligeira/moderada, impedimentos ao manejo (após melhoramento) nulo, deficiência de água moderada e risco de geada baixo, textura média, relevo suave ondulado, solum mais espesso que 100 cm	LVd, LVe2	km ² 67,5
RS G/rr-s	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nula a ligeira, deficiência de oxigênio nula a nula/ligeira, suscetibilidade à erosão ligeira a moderada, impedimentos ao manejo (após melhoramento) nulo/ligeiro a ligeiro, deficiência de água nula e risco de geada alto, textura muito argilosa, relevo suave ondulado a ondulado, solum mais espesso que 100 cm	LVdf1, LVdf3, LVdf4, LVef1, NVdf3	787,5
RS fh/a/m-o	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira/moderada, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão moderada/forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) nulo/ligeiro, deficiência de água ligeira e risco de geada muito baixo a baixo, textura arenosa/média, relevo ondulado, solum mais espesso que 100 cm	PVe2	48,5
RS /rr-o	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nula/ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão moderada/forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) ligeiro, deficiência de água nula e risco de geada muito baixo a baixo, textura muito argilosa, relevo ondulado, solum mais espesso que 100 cm	NVef4	1.402,8
RS /rr-o	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nula/ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão moderada/forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) ligeiro, deficiência de água nula e risco de geada muito baixo a baixo, textura muito argilosa, relevo ondulado, solum mais espesso que 100 cm . Existem terras com aptidão inferior à classe preponderante	NVef4	14,4
RS g/rr-o	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nulo/ligeira a ligeira, deficiência de oxigênio nula a nula/ligeira, suscetibilidade à erosão moderada/forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) ligeiro, deficiência de água nula a nula/ligeira e risco de geada moderado, textura muito argilosa, relevo ondulado, solum mais espesso que 100 cm	LVdf2, LVdf5, NVdf1, NVef2, NVef4	2.197,0

Continua ...

Continuação da Tabela 13. Símbolo, descrição e área (km²) das subclasses de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios ...

Símbolo	Descrição	Unidades de mapeamento	Área km ²
<u>RS g/tr-o</u>	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nulo/ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão moderada/forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) ligeiro, deficiência de água nula e risco de geada moderado, textura muito argilosa, relevo ondulado, solum mais espesso que 100 cm . Existem terras com aptidão inferior (Classe Inapta por má drenagem do solo) à classe preponderante	NVef5	14,9
RS h/tr-o	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nulo/ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão moderada/forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) ligeiro, deficiência de água ligeira e risco de geada baixo, textura muito argilosa, relevo ondulado, solum mais espesso que 100 cm	NVef4	20,8
RS G/tr-o	Classe de aptidão regular superior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nulo/ligeira a ligeira, deficiência de oxigênio nula a nula/ligeira, suscetibilidade à erosão moderada/forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) ligeiro, deficiência de água nula a nula/ligeira e risco de geada alto, textura muito argilosa, relevo ondulado (pouco relevo suave ondulado), solum mais espesso que 100 cm	LVdf2, LVdf5, NVdf1, NVdf2, NVef2, NVef4	553,4
RI G/tr-o	Classe de aptidão regular inferior para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) moderado, deficiência de água nula e risco de geada alto, textura muito argilosa, relevo ondulado e forte ondulado, solum mais espesso que 100 cm	NBef	23,5
<u>MA h/r-f(<)</u>	Classe de aptidão marginal para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão forte/muito forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) forte, deficiência de água ligeira e risco de geada baixo, textura argilosa pedregosa, relevo forte ondulado e montanhoso, solum menos espesso que 100 cm (variações para < 50 cm e > 100 cm) . Existem terras com aptidão inferior e superior à classe preponderante	RRe	514,4
<u>MA H/r-f(<)</u>	Classe de aptidão marginal para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão forte/muito forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) forte, deficiência de água moderada a forte e risco de geada muito baixo a baixo, textura argilosa pedregosa, relevo forte ondulado e montanhoso, solum menos espesso que 100 cm (variações para < 50 cm e > 100 cm) . Existem terras com aptidão inferior e superior à classe preponderante	RRe	85,0

Continua ...

Continuação da Tabela 13. Símbolo, descrição e área (km²) das subclasses de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios ...

Símbolo	Descrição	Unidades de mapeamento	Área
<u>MA HG/r-f(<)</u>	Classe de aptidão marginal para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão forte/muito forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) forte, deficiência de água moderada e risco de geada alto, textura argilosa pedregosa, relevo forte ondulado e montanhoso, solum menos espesso que 100 cm (variações para < 50 cm e > 100 cm) . Existem terras com aptidão inferior e superior à classe preponderante	RRe	41,6
<u>MA hG/r-f(<)</u>	Classe de aptidão marginal para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão forte/muito forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) forte, deficiência de água ligeira e risco de geada alto, textura argilosa pedregosa, relevo forte ondulado e montanhoso, solum menos espesso que 100 cm (variações para < 50 cm e > 100 cm) . Existem terras com aptidão inferior e superior à classe preponderante	RRe	387,1
<u>MA Hg/r-f(<)</u>	Classe de aptidão marginal para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão forte/muito forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) forte, deficiência de água moderada a forte e risco de geada moderado, textura argilosa pedregosa, relevo forte ondulado e montanhoso, solum menos espesso que 100 cm (variações para < 50 cm e > 100 cm) . Existem terras com aptidão inferior e superior à classe preponderante	RRe	483,1
<u>MA hg/r-f(<)</u>	Classe de aptidão marginal para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) ligeira, deficiência de oxigênio nula/ligeira, suscetibilidade à erosão forte/muito forte, impedimentos ao manejo (após melhoramento) forte, deficiência de água ligeira e risco de geada moderado, textura argilosa pedregosa, relevo forte ondulado e montanhoso, solum menos espesso que 100 cm (variações para < 50 cm e > 100 cm) . Existem terras com aptidão inferior e superior à classe preponderante	RRe	66,9
IN o/i-p	Classe de aptidão inapta para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nula/ligeira, deficiência de oxigênio muito forte, suscetibilidade à erosão nula, impedimentos ao manejo (após melhoramento) forte/muito forte, textura indiscriminada, relevo plano	OX	9,8
<u>IN o/i-p</u>	Classe de aptidão inapta para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nula/ligeira, deficiência de oxigênio muito forte, suscetibilidade à erosão nula, impedimentos ao manejo (após melhoramento) forte/muito forte, textura indiscriminada, relevo plano . Existem terras com aptidão superior à classe preponderante	GX2	5,9
IN o/r-p	Classe de aptidão inapta para o cultivo de eucalipto, formada por terras com limitações por deficiência de fertilidade (após melhoramento) nula/ligeira, deficiência de oxigênio muito forte, suscetibilidade à erosão nula, impedimentos ao manejo (após melhoramento) forte/muito forte, textura argilosa, relevo plano	GX1	103,9

¹ Símbolo da unidade de manejo com sublinhado tracejado representa que a classe possui, em menor quantidade, terras de menor potencial e símbolo da unidade de manejo com sublinhado contínuo representa que a classe possui, em menor quantidade, terras de maior potencial.

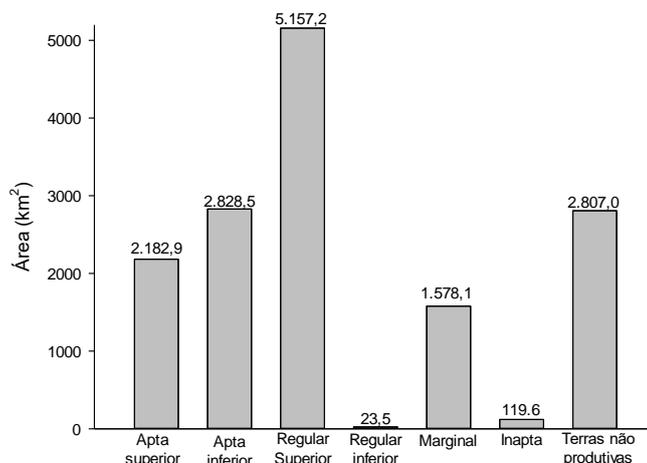


Figura 3. Quantitativos (área em km²) das classes de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios da BP3 e de Palotina, incluindo as terras não produtivas (áreas urbanas, espelhos de água, áreas de preservação oficiais e reservas indígenas).

3.1. Classe Apta Superior de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto (AS)

As terras da classe AS representam 2.189,9 km² das terras da área de estudo, ou 15% da área total (Tabela 13 e Figuras 3, 4 e 5). A subclasse AS /rr-s se espalha por boa parte da área de estudo (2.152 km²) e corresponde às unidades de mapeamento de Latossolos e Nitossolos de relevo predominantemente suave ondulado e desenvolvidos em substrato de rochas básicas. A subclasse AS /r-s possui apenas 30,9 km², com poucos polígonos na parte norte da área. Tem como diferencial solos desenvolvidos em substrato de rochas eruptivas básicas com alguma influência do arenito.

Todas as terras da classe AS apresentam potencial muito elevado para diferentes cultivos agrícolas. O cultivo do eucalipto dessas terras, com a quase ausência de fatores de limitação de solos e clima, deve corresponder a taxas de incremento médio anual muito elevadas, difíceis de encontrar em qualquer parte do mundo para sistemas de produção semelhantes.

3.2. Classe Apta Inferior de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto (AI)

As terras da classe AI representam 2.828,5 km² das terras da área de estudo, ou 19% da área total (Tabela 13 e Figuras 3, 6 e 7). As subclasses AI h/a/m-s e AI h/m-s (64,2 e 229,0 km², respectivamente) correspondem a poucos polígonos, ao norte da área de estudo, de unidades de mapeamento de solos que apresentam o arenito como material de origem e a deficiência de água é o fator de limitação mais importante. As terras da subclasse AI g/rr-s, com 2.535,3 km², apresentam ocorrência generalizada na área de estudo. São Latossolos e Nitossolos Vermelhos desenvolvidos em substrato de rochas eruptivas básicas que apresentam risco moderado de ocorrência de geadas.

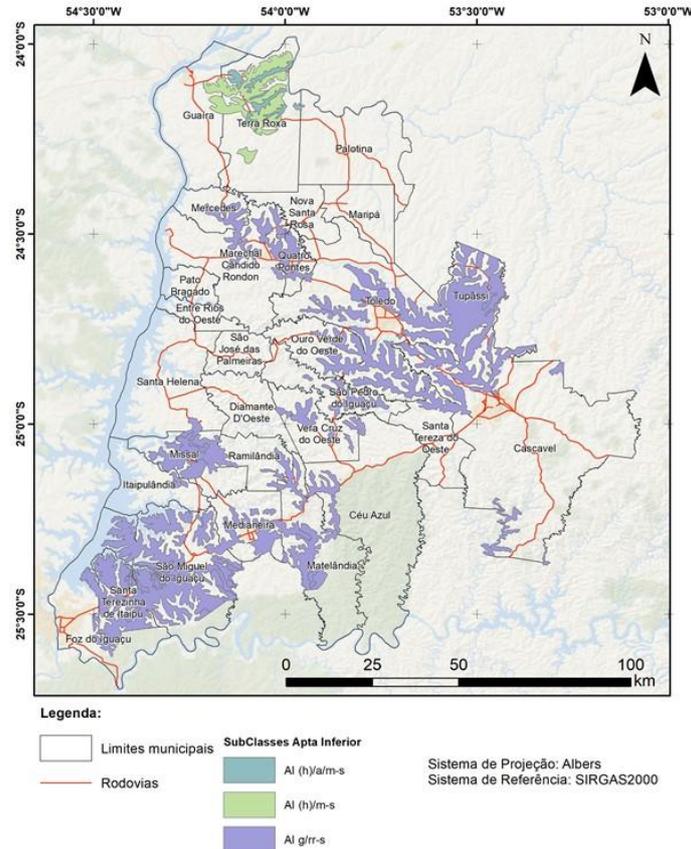


Figura 6. Mapa da área de estudo (municípios da BP3 e Palotina) realçando as subclasses Apta Inferior de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto (descrição das subclasses na Tabela 13).

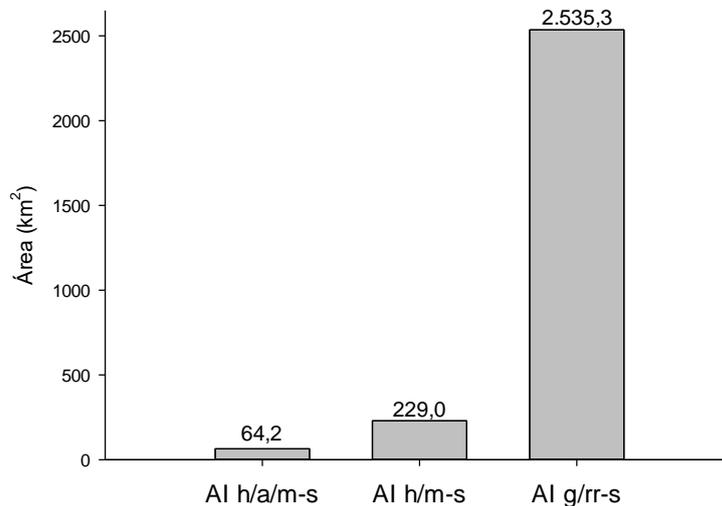


Figura 7. Quantitativos (área em km²) das subclasses Apta Inferior de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios da BP3 e de Palotina (descrição na Tabela 13).

3.3. Classe Regular Superior de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto (RS)

É a classe de maior ocorrência, com 5.157,2 km² (ou 35%) de terras na área de estudo, e também aquela que apresenta maior número de subclasses, onze no total (Tabela 13 e Figuras 3, 8, 9,

10 e 11). A subclasse de maior extensão é a RS g/rr-o (símbolo presente em duas subclasses, a RS g/rr -o e a RS g/rr-o, com respectivamente 1.402,8 e 14,4 km²), que ocorre em polígonos de unidades de mapeamento de Latossolos e Nitossolos Vermelhos com caráter férrico em relevo ondulado, de ocorrência ampla na área de estudo. Em segundo plano está a subclasse RS /rr-o, que ocorre em polígonos das unidades de mapeamento NVec4 e NVec5, Nitossolos Vermelhos Eutroféricos em relevo ondulado, mais presentes na metade norte da área, na altura das sedes dos municípios de Marechal Cândido Rondon e Toledo. Ainda com um volume de terras significativo aparecem as terras com risco de geada alto, subclasses RS G/rr-s e RS G rr-o (com respectivamente 787,5 e 553,4 km²), polígonos que aparecem em altitudes mais altas, principalmente no município de Cascavel. As outras subclasses, a grande maioria em solos desenvolvidos sob arenito, ocorrem ao norte da área.

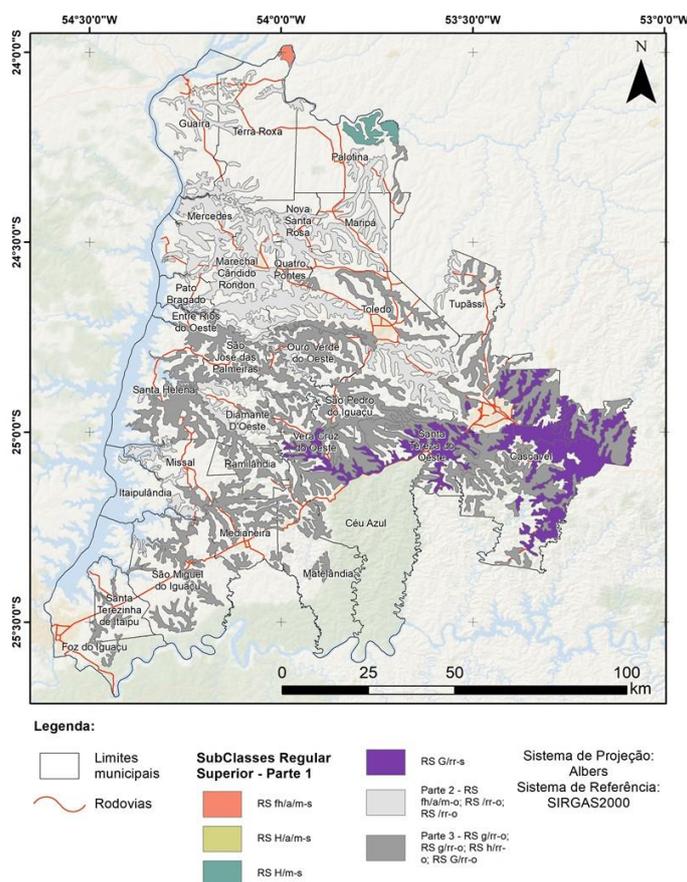


Figura 8. Mapa da área de estudo (municípios da BP3 e Palotina) realçando subclasses Regular Superior Parte 1 de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto (descrição das subclasses na Tabela 13).

3.4. Classe Regular Inferior de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto (RI)

É a classe de menor ocorrência, com apenas 23,5 km² (ou 0,2%) de terras na área de estudo (Tabela 13 e Figuras 3, 12 e 13). São três polígonos da unidade de mapeamento NVec no município

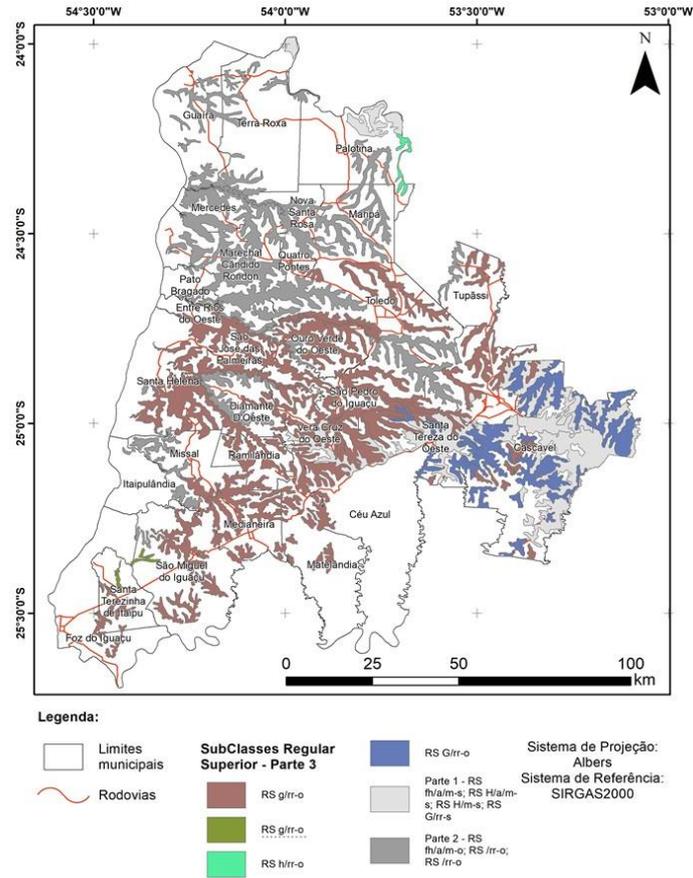


Figura 10. Mapa da área de estudo (municípios da BP3 e Palotina) realçando subclasses Regular Superior Parte 3 de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto (descrição na Tabela 13).

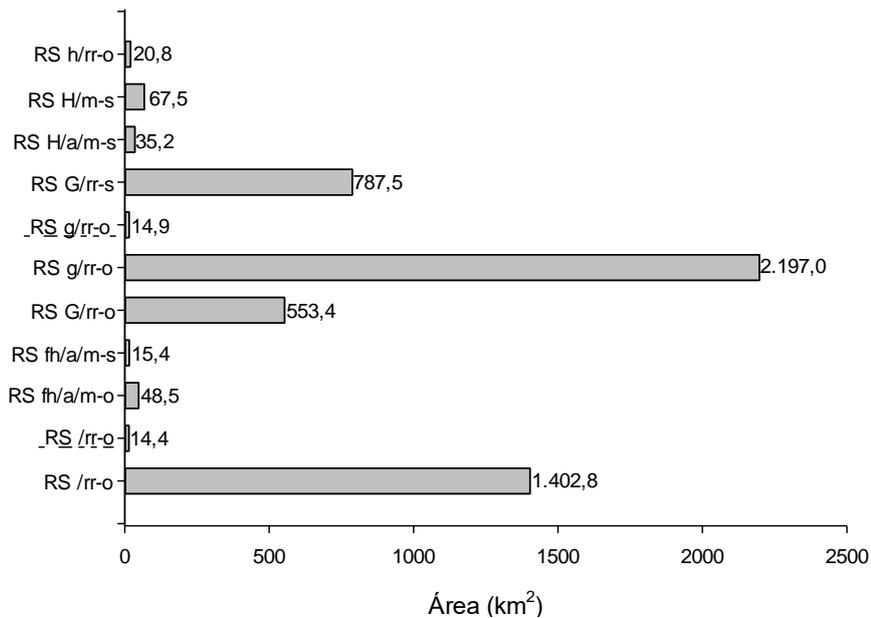


Figura 11. Quantitativos (área em km²) das subclasses Regular Superior de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios da BP3 e de Palotina (descrição na Tabela 13).

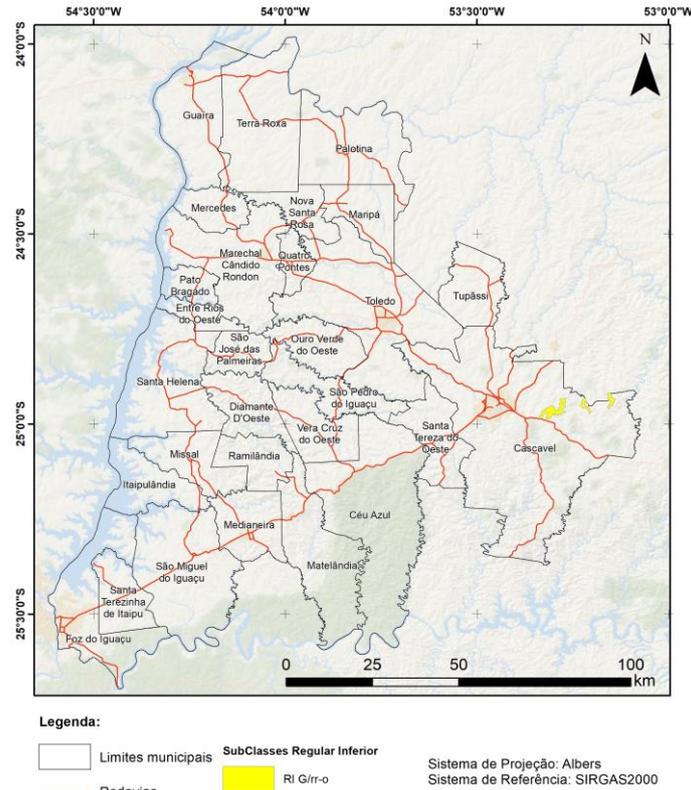


Figura 12. Mapa da área de estudo (municípios da BP3 e Palotina) realçando a subclasse RI G/rr-o (Regular Inferior) de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto (descrição na Tabela 13).

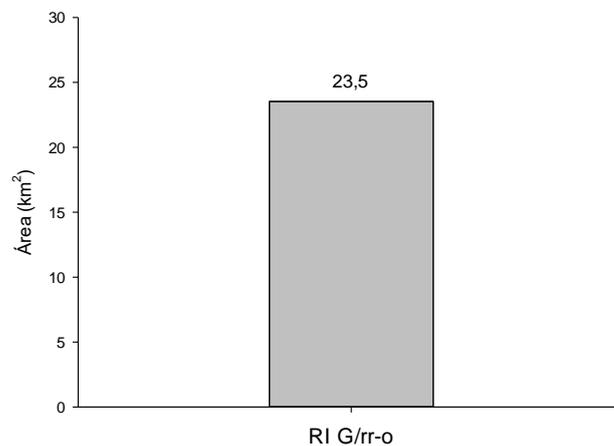


Figura 13. Quantitativos (área em km²) da subclasse RI G/rr-o (Regular Inferior) de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios da BP3 e de Palotina (descrição na Tabela 13).

O segundo componente da unidade de mapeamento de solos REe apresenta, de forma geral, classe de aptidão Inapta (profundidade efetiva do solo < 50 cm) e o terceiro componente aptidão Regular Inferior a Marginal, dependendo das variações de clima de polígono a polígono. Essa complexidade de comportamento informa ao usuário da informação que planejar o plantio de

eucalipto nessas terras envolve um significativo grau de risco. Mas se for considerado o amplo domínio de uma agricultura industrial de grãos na região e como isso eleva o custo das terras para níveis muito altos, as terras da classe MA podem representar um bom custo/oportunidade para a atividade florestal, mesmo que essa escolha envolva riscos.

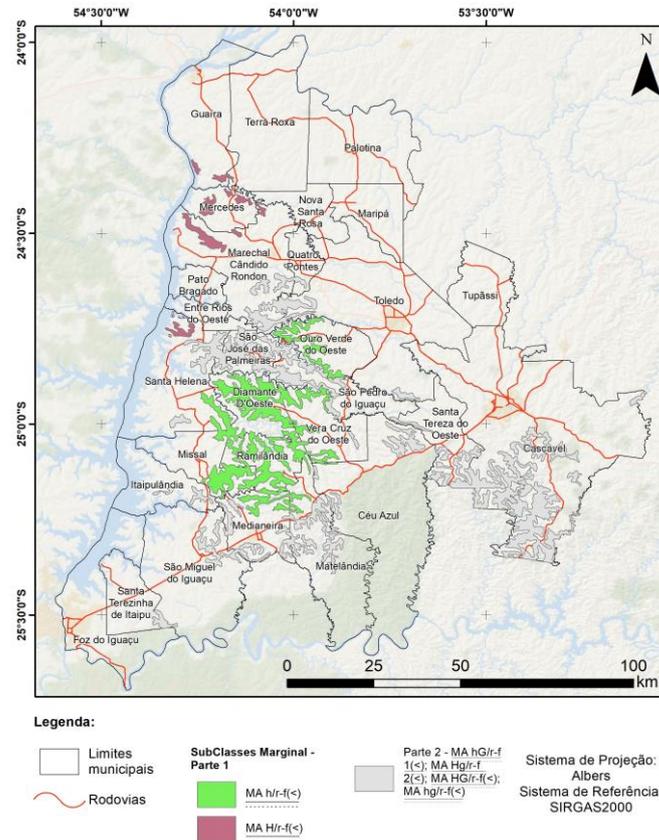


Figura 14. Mapa da área de estudo (municípios da BP3 e Palotina) realçando subclasses Marginal Parte 1 de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto (descrição na Tabela 13).

3.6. Classe Inapta de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto (IN)

As terras da classe IN representam apenas 119,6 km² das terras da área de estudo, ou 0,8% da área total (Tabela 13 e Figuras 3, 17 e 18). Os polígonos da classe pertencem as três unidades de mapeamento de solos que apresentam forte hidromorfismo, com Gleissolos e Organossolos, sendo que o ΔO muito forte determina a classe IN para essas faixas de terra, independente da influência dos parâmetros climáticos. A maior parte dos polígonos da classe está na parte norte da área de estudo.

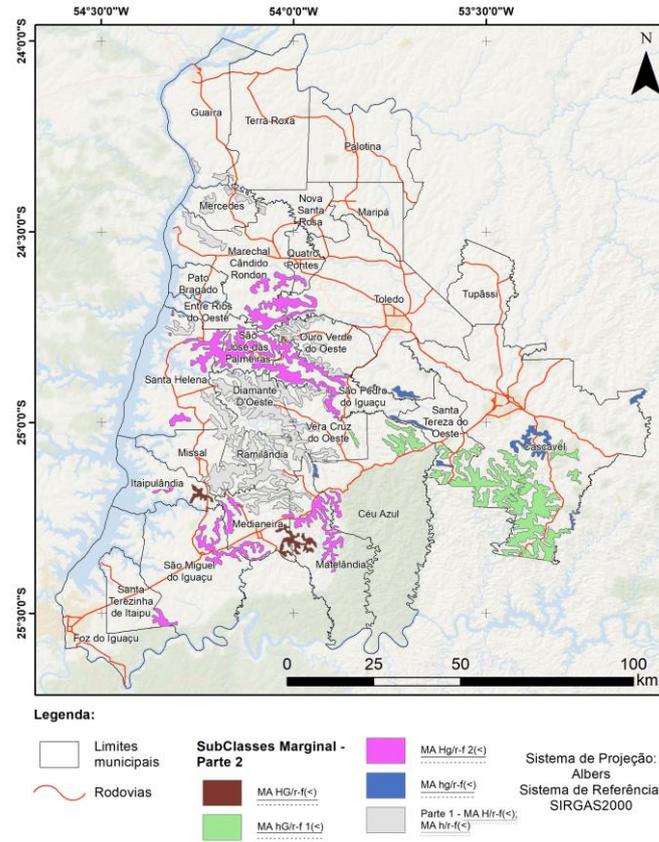


Figura 15. Mapa da área de estudo (municípios da BP3 e Palotina) realçando subclasses Marginal Parte 2 de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto (descrição na Tabela 13).

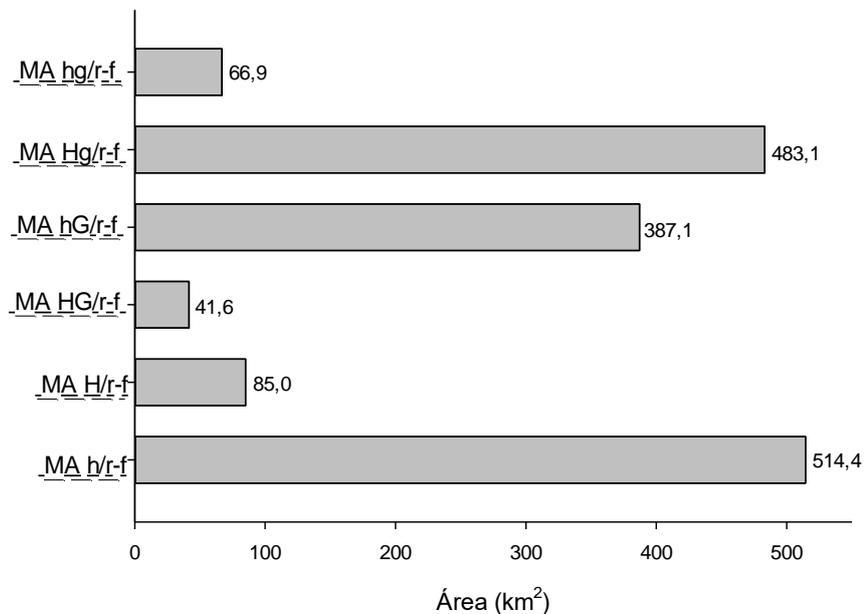


Figura 16. Quantitativos (área em km²) das subclasses Marginal de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios da BP3 e de Palotina (descrição na Tabela 13).

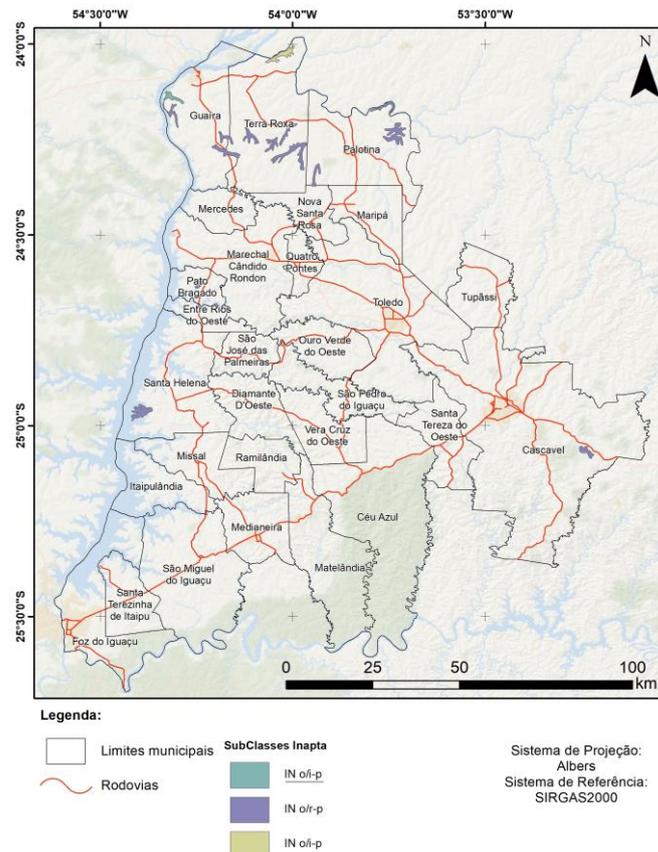


Figura 17. Mapa da área de estudo (municípios da BP3 e Palotina) realçando subclasses Inapta de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto (descrição na Tabela 13).

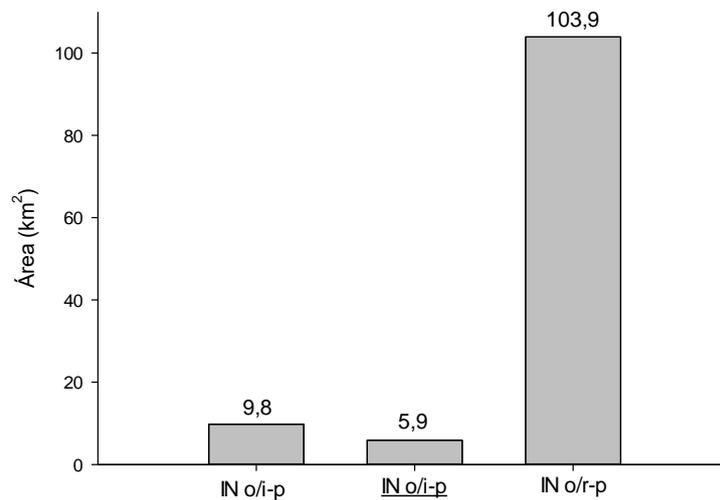


Figura 18. Quantitativos (área em km²) das subclasses Inapta de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto nos municípios da BP3 e de Palotina (descrição na Tabela 13).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ótima oferta de terras de boa qualidade da BP3 e de Palotina se reflete na importância estratégica que essa região possui na produção de grãos e de proteína animal no Estado do Paraná e

no Brasil. Os ativos de terra estão entre os mais valorizados do país e pressionam para um uso agrícola intensivo, que em princípio não abriria espaço para a produção florestal. Isso seria totalmente verdade se não existisse uma significativa utilização de biomassa florestal para a secagem de grãos nas caldeiras das agroindústrias, no aquecimento de aviários e em outras atividades do agronegócio, que necessitam de energia térmica, principalmente nas cooperativas e agroindústrias da região. O paradigma atual, envolvendo os elevados custos de frete da biomassa florestal (cavaco), impede que a demanda da região venha de fora, pelo menos em épocas normais de oferta e demanda, e mesmo que atravesse a região no seu sentido mais longo, uma distância aproximada de 250 km de estradas. Essa situação pode até se agravar, considerando que a demanda por madeira estará sofrendo a concorrência crescente de novos parques industriais de produção de celulose em implantação.

Desse conflito, entre o plantio prioritário de grãos, principalmente milho e soja em duas a três safras anuais, e a necessidade dos maciços florestais para atender as demandas de produção de energia da região, surge o número aproximado 10.000 ha de terras plantadas com eucalipto. Esse número pode estar um pouco menor nos últimos anos de crise, mas deve se elevar se o parque de agroindústrias voltar a crescer.

O gradiente de terras entre as classes de aptidão AS, AI e RS representam baixíssimo risco para o plantio de eucalipto e são nessas terras, mesmo disputadas pela produção de grãos, que se concentra a produção dos maiores consumidores de biomassa florestal regionais. Isso ocorre não só pela garantia de produção sem riscos, mas também pelas boas condições que os solos e paisagens dessas terras possibilitam para a logística de produção, principalmente maciços maiores (interflúvios mais longos) e mecanização (preparo do solo, colheita) em diversas etapas da produção.

No extremo norte da região, onde os solos começam a ter maior influência do arenito como material de origem, até a sua total prevalência em detrimento da influência das rochas eruptivas básicas, essa equação fica facilitada pela menor vocação das terras para cultivos anuais. E essa disponibilidade de terras vai aumentar ainda mais da fronteira da região em direção ao noroeste do Estado, onde solos desenvolvidos sob arenitos e relevos mais íngremes geram limitações por suscetibilidade à erosão muito fortes, facilitando a entrada de cultivos florestais, que se apresentam mais sustentáveis que os cultivos anuais.

Outras terras, principalmente as da classe MA, representam uma oportunidade para a dispersão da produção florestal em maciços menores, embora também representem riscos maiores e exijam uma logística de produção e, principalmente, de colheita mais complexa.

As terras com ΔG moderado, embora possam se utilizar de germoplasmas predominantemente tropicais, correm riscos de perdas, principalmente em plantios mais novos e em posições de paisagem que favorecem a presença de frios mais acentuados (fundos de vales, face sul, corredores de

ventanias). Para diminuir esses riscos, materiais de *Eucalyptus dunnii* e *E. saligna* seriam recomendados, embora apresentem rendimento energético inferior comparativamente a outros germoplasmas, desenvolvidos para a finalidade de produção de energia. Nas terras com ΔG alto (subscrito “G”), principalmente nos polígonos presentes no entorno do município de Cascavel, o material mais recomendado é o *E. benthamii*, alternativa adaptada ao clima subtropical-temperado desses polígonos de terra.

Ainda cabem alguns comentários envolvendo o sistema de manejo que prevalece nos produtores de biomassa florestal da região. Se o processo de produção é muito facilitado pela boa oferta de solos e, principalmente, chuvas da região, isso não impede que seja perceptível a necessidade de ajustes em diferentes fatores de produção, como no controle de mato-competição e formigas, na adubação e no preparo do solo. Esse último fator, quando mal ajustado, pode magnificar o efeito deletério de fortes ventos que estão se tornando uma constante nos últimos anos. Eles não são espacialmente previsíveis e chegam a representar perdas próximas de 30% nos talhões de plantio onde ocorrem. O preparo do solo com subsolagem é uma boa prática e difundida na região. Mas quando realizada em áreas de reforma, com muitos tocos do ciclo anterior, é comum não alcançar a profundidade de preparo do solo desejada (≥ 40 cm de profundidade), independente da umidade e da consistência do solo no momento do preparo. Não é raro se observar no campo plantas de pouca idade (com menos de 1 ano) e crescimento acelerado (6-8 m de altura) com sistema radicular muito superficial, mostrando as raízes de sustentação horizontalizadas na profundidade da subsolagem, algo entorno de 10-15 cm. Essas são as plantas preferencialmente tombadas pelas ventanias.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os parceiros do projeto, em especial ao Engenheiro Agrícola Sérgio H. Fassina, da Cooperativa Agroindustrial CVale, e ao Engenheiro Florestal André R. Angonese, da Florestal Ouro Verde, por toda contribuição em diferentes etapas do trabalho e do projeto como um todo.

6. REFERÊNCIAS

- Astolpho, F. Estimativa e mapeamento de probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar adversas à agricultura paulista. Campinas, IAC, 2003. 99 p. (Dissertação de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical).
- Bennema, J. & Camargo, M. N. Segundo esboço parcial de classificação de solos brasileiros: subsídio à VI reunião técnica de levantamento de solos. Rio de Janeiro, DPEA/DPFS, 1964. 45p.
- Bognola, I. A.; Gomes, J. B. V.; Holler, W.; Cúrcio, G. R.; Rauen, M. J.; Carvalho, A. P.; Pötter, R. O.; Cardoso, A. Atualização do levantamento de reconhecimento de solos dos municípios da

- Bacia do Paraná 3 e do município de Palotina. Colombo, Embrapa Florestas, 2018. 40p. (Relatório e mapa, indicador de progresso do Projeto Bioeste Florestas).
- Camargo, M. B. P.; Pedro Jr, M.J.; Alfonsi, R.R.; Ortolani, A. A.; Brunini, O. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anual no Estado de São Paulo. *Bragantia*, 52: 161-168, 1993.
- Carvalho F., A. C.; Curi, N.; Fonseca, S. Avaliação informatizada e validada da aptidão silvicultural das terras dos tabuleiros costeiros brasileiros para eucalipto. Lavras, Editora UFLA, 2013. 138p.
- Costa, A. M.; Curi, N.; Araújo, E. F.; Marques, J. J.; Menezes, M. D. Unidades de manejo para o cultivo de eucalipto em quatro regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. *Scientia Forestalis*, 37: 465-473, 2009.
- Curi, N. & Ker, J. C. Levantamento pedológico de áreas da Aracruz Celulose S.A. nos estados da Bahia, Espírito Santo e Minas Gerais e sua interpretação para o cultivo de eucalipto e para o ambiente em geral. Lavras e Viçosa, UFLA/UFV, 2004. 105p.
- Embrapa. Levantamento de reconhecimento dos solos do sudoeste do estado do Paraná. Curitiba, Embrapa - Centro de Pesquisas Pedológicas, 1974a.
- Embrapa. Levantamento de reconhecimento dos solos do oeste do estado do Paraná. Curitiba, Embrapa - Centro de Pesquisas Pedológicas, 1974b.
- Embrapa. Levantamento de reconhecimento de solos do estado do Paraná. Londrina, Embrapa SNLCS, 1984. 2 tomos (EMBRAPA/SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27; IAPAR. Boletim Técnico, 16).
- Embrapa. Mapa de solos do estado do Paraná: Legenda atualizada. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, Embrapa Florestas e IAPAR, 2008. 74p.
- Gomes, J. B. V.; Bognola I. A.; Stolle, L., Santos, P. E. T., Maeda,S.; Silva, L. T. M.; Bellote, A. F. J.; Andrade, G. C. Unidades de manejo para pinus: desenvolvimento e aplicação de metodologia em áreas de produção no oeste catarinense. *Scientia Forestalis*, 44: 191-204, 2016.
- Gomes, J. B. V. & Curi, N. Proposição de redefinição das unidades de manejo da Aracruz Celulose S. A. Lavras, MG, UFLA, DCS, 2001. 12p.
- Gomes, J. B. V.; Lumbreras, J. F.; Oliveira, R. P.; Bhering, S. B.; Zaroni, M. J.; Andrade, A. G.; Calderano, S. B. Aptidão para reflorestamento das sub-bacias dos canais do Mangue e do Cunha, município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 459-466, 2005.
- Lepsch, I. F.; Bellinazzi J., R.; Bertolini, D.; Espíndola, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação. Campinas, SBCS, 1991. 175p.
- Miller, R.W. & Donahue, R.L. Soils: an introduction to soils and plant growth. 6th ed. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1990. 768p.
- Ramalho F., A. & Beek, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3Ed. Rio de Janeiro, Embrapa-CNPS, 1995. 65p.
- Resende, M.; Curi, N.; Santana, D. P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Piracicaba, MEC/ESAL/POTAFÓS, 1988. 83p.
- Thom, H. C. S. Some methods of climatological analysis. Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 53p. (Technical Note, nº 81).
- Wrege, M. S.; Caramori, P. H.; Nitsche, P.; Fritzsos, E.; Bognola, I. A.; Soares, M. T. S.; Gomes, J.B.V.; Holler, W.A. Cartas climáticas dos municípios da Bacia do Paraná 3. Colombo: Embrapa Florestas, 2018 (Documentos).
- Wrege, M. S.; Stenmetz, S.; Reisser Júnior, C.; Almeida, I. R. Atlas climático da região sul do Brasil. Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas-Colombo, Embrapa Clima Temperado- Embrapa Florestas, 2011. 336p.
- Zanão J., L. A.; Medeiros, G. B. Caracterização dos solos do entorno do reservatório de Itaipu. In: Zanão J., L. A.; Faria, R. T.; Caramori, P. H. (Eds) Produtividade da soja no entorno do reservatório de Itaipu. Londrina: IAPAR, 2015. p.117-151.