

Zoneamento Agroclimático do Eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e Edafoclimático na Região do Corede Sul - RS

Editores Técnicos

Carlos Alberto Flores
José Maria Filippini Alba
Marcos Silveira Wrege

Embrapa Clima Temperado
Embrapa Florestas
Pelotas, RS
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392 Km 78
Caixa Postal 403, CEP 96001-970 - Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8199
Fax: (53) 3275-8219 - 3275-8221
Home page: www.cpact.embrapa.br
E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Ariano Martins de Magalhães Jr.

Secretária-Executiva: Joseane Mary Lopes Garcia

Membros: José Carlos Leite Reis, Ana Paula Schneid Afonso, Giovani Theisen, Luis Antônio Suita de Castro, Flávio Luiz Carpena Carvalho, Christiane Rodrigues Congro Bertoldi e Regina das Graças Vasconcelos dos Santos

Suplentes: Márcia Vizzotto e Beatriz Marti Emygdio

Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos

Editoração eletrônica: Oscar Castro

Arte da capa: Carlos Alberto Flores e José Maria Filippini Alba

1ª edição

1ª impressão (2009): 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na região do Corede Sul – RS / editado por Carlos Alberto Flores; José Maria Filippini Alba e Marcos Silveira Wrege – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009.

87 p.

ISBN 978-85-85941-34-5

Recursos Naturais – Zoneamento – Agrometeorologia – Eucalipto – Sistemas de Informação Geográfica

CDD 634.95

Autores

Marcos Silveira Wrege

Eng. Agrôn., Dr. em Agrometeorologia
Pesquisador da Embrapa Florestas
Colombo, PR
(wrege@cnpf.embrapa.br)

Marilice Cordeiro Garrastazu

Eng.(a) Florestal, M.Sc. em Engenharia Agrícola
Pesquisadora da Embrapa Florestas
Colombo, PR
(marilice@cnpf.embrapa.br)

Carlos Alberto Flores

Eng. Agrôn., M.Sc. em Agronomia
Pesquisador da Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
(flores@cpact.embrapa.br)

Bernadete Radin

Eng.(a) Agrôn.(a), Dra. em Fitotecnia
Pesquisadora da FEPAGRO
Porto Alegre, RS
(radin@fepagro.rs.gov.br)

Carlos Reisser Júnior

Eng. Agríc., Dr. em Fitotecnia
Pesquisador da Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
(reisser@cpact.embrapa.br)

Carlos Roberto Soares Severo

Eng. Agrôn., M.Sc. em Agronomia, Perito Federal Agrário
Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
Florianópolis, SC
(crssevero@hotmail.com)

Eliseu Weber

Eng. Agrôn., M.Sc. em Sensoriamento Remoto
Professor/Pesquisador Universidade Federal do Rio Grande
do Sul
Porto Alegre, RS
(eweber@portoweb.com.br)

Flavio Gilberto Herter

Eng. Agrôn., Dr. em Fisiologia Vegetal
Pesquisador aposentado da Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
(herter@cpact.embrapa.br)

Heinrich Hasenack

Bacharel em Geografia, M.Sc. em Ecologia
Professor/pesquisador da Universidade Federal do Rio Grande
do Sul
Porto Alegre, RS.
(hhasenack@ufrgs.br)

José Maria Filippini Alba

Bacharel em Química, Dr. em geoquímica
Pesquisador da Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
(fili@cpact.embrapa.br)

Rosana Clara Victoria Higa

Eng.(a) Agrôn.(a), Dra. em Engenharia Florestal
Pesquisadora da Embrapa Florestas
Colombo, PR
(rhiga@cnpf.embrapa.br)

Silvio Steinmetz

Eng. Agrôn., Dr. em Agrometeorologia
Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS
(silvio@cpact.embrapa.br)

Ronaldo Matzenauer

Eng. Agrôn., Dr. em Agrometeorologia
Pesquisador da FEPAGRO
Porto Alegre, RS
(ronaldo-matzenauer@fepagro.rs.gov.br)

Vilmar Luciano Mattei

Eng. Agrôn., Dr. em Silvicultura
Professor da Universidade Federal de Pelotas
Pelotas, RS
(vlmattei@gmail.com)

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs), pelo suporte financeiro;

Aos Coredes Sul, Fronteira Oeste, Central e Jacuí-Centro pela viabilização no desenvolvimento do projeto;

Ao Dr. Flávio Miguel Schneider, *in memoriam*, professor da UFSM, pelo apoio na execução deste trabalho;

À Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro) e ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º Disme/Inmet), pelos dados climáticos;

Ao Dr. Antônio Rioyei Higa - UFPR pelas sugestões;

À Dra. Zohra Bennadji e colaboradores do INIA –Tacuarembó, aos Engenheiros Agrônomos Carlos Mantero Álvares, Guillermo Morás Loyarte, Rafael Escudero e Rodolfo Pedocchi da Faculdade de Agronomia e Juan Carlos Sganga e Daniel San Román do Ministério de Agricultura, Ganadería y Pesca e ao Dr. Luis Silveira do Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, todos em Uruguai, pela atenção dispensada e a disponibilização de informações essenciais para o desenvolvimento do projeto.

Apresentação

O Brasil vem passando por mudanças na matriz produtiva madeireira, buscando regiões pioneiras para florestamento, que agreguem características edafoclimáticas apropriadas e infraestrutura para transporte e comercialização da mercadoria. Por outro lado, a Metade Sul do Estado do Rio Grande do Sul é uma região carente de investimentos, compreendendo cerca de 61% do território do Estado e 16% do PIB, havendo regiões apropriadas para florestamento e reflorestamento.

Entre as espécies florestais, as do gênero *Eucalyptus* se apresentam com maior potencialidade para se desenvolver em algumas regiões do Estado do Rio Grande do Sul, com ciclo de sete anos para produção de celulose e de cerca de 15 a 20 anos para serraria.

Investidores e empresas têm buscado informações sobre as espécies potenciais de eucalipto para a região, sendo que a principal pergunta é: “*Onde plantar?*” A Embrapa e as instituições parceiras têm trabalhado para responder a estas questões, sempre com o intuito de buscar alternativas agrícolas e de propor soluções tecnológicas para o setor, de forma tecnicamente correta.

Este livro representa o esforço conjunto de várias entidades da região Sul – RS, na tentativa de organizar a atividade de silvicultura no Estado do Rio Grande do Sul: Embrapa Clima Temperado, Embrapa Florestas e Embrapa Trigo; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária; 8º distrito do Instituto Nacional de Meteorologia; Agência Nacional de Águas; Universidade Federal de Pelotas; Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Federal de Santa Maria. Contou, ainda, com a colaboração de órgãos do Uruguai, entre os quais: *Instituto Nacional de Investigación Agropecuária - Unidad Tacuarembó; Facultad de Agronomía; Instituto de Mecánica de los Fluidos y Ingeniería Ambiental* e, ainda, *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca*.

O livro foi dividido em 10 capítulos. O primeiro, diz respeito à silvicultura no contexto agrícola e social, quando foi analisado, de maneira resumida, o processo de avanço da atividade na Metade Sul

do Estado. No capítulo 2, descreveu-se o conceito de zoneamento no contexto dos sistemas de informação geográfica. No capítulo 3 foi descrita a etapa de elaboração da base cartográfica digital utilizada no trabalho. O capítulo 4 descreve as características de algumas espécies de eucalipto e, nos capítulos 5 e 6, são descritos os critérios adotados para o zoneamento agroclimático e edáfico do eucalipto. Os capítulos 7, 8 e 9 referem-se aos zoneamentos desenvolvidos no contexto do projeto financiado pela Fundação Estadual de Amparo à Pesquisa - FAPERGS para o Estado do Rio Grande do Sul e a região do COREDE Sul - RS. O capítulo 10 oferece um panorama do zoneamento como instrumento de políticas públicas, visando a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Nesta publicação, são disponibilizadas informações para técnicos, agricultores, empresas e demais interessados em estabelecer plantios florestais, sobre o zoneamento climático e edafoclimático das espécies de eucalipto com potencial para se desenvolver no Estado do Rio Grande do Sul. Desta forma, a Embrapa e instituições parceiras esperam contribuir para a expansão e sustentabilidade do setor florestal no Estado, de forma ambientalmente correta, conferindo a presença do Brasil no mercado mundial dos produtos de base florestal, como grande formador de florestas renováveis e, ao mesmo tempo, colaborando para reduzir a derrubada de florestas nativas e o efeito estufa.

Waldyr Stumpf Junior
Chefe-Geral
Embrapa Clima Temperado

Sumário

Capítulo 1. Silvicultura no contexto agrícola e social. <i>José Maria Filippini Alba; Marcos Silveira Wrege; Carlos Alberto Flores; Rosana Clara Victoria Higa; Marilice Cordeiro Garrastazu</i>	17
Capítulo 2. O Zoneamento e os Sistemas de Informação Geográfica. <i>José Maria Filippini Alba; Marcos Silveira Wrege; Carlos Alberto Flores; Marilice Cordeiro Garrastazu</i>	21
2.1. A importância da escala	24
2.2. Aplicações dos sistemas de informação geográfica - SIG nos zoneamentos ...	26
Capítulo 3. Estruturação de base cartográfica e temática em SIG. <i>Marilice Cordeiro Garrastazu; Heinrich Hasenack; Eliseu Weber; Carlos Alberto Flores; Carlos Roberto Soares Severo; José Maria Filippini Alba</i>	33
3.1. Base cartográfica em escala 1:250.000	33
3.2. Base cartográfica em escala 1:50.000	35
3.3. Mapa de Solos – Corede Sul	37
Capítulo 4. Características de algumas espécies de eucaliptos. <i>Rosana Clara Victoria Higa; Marcos Silveira Wrege; Vilmar Luciano Mattei</i>	41
4.1. <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex maiden	43
4.2. <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	43
4.3. <i>Eucalyptus globulus</i> Labill	44
Capítulo 5. Critérios para o zoneamento agroclimático do eucalipto. <i>Marcos Silveira Wrege; Rosana Clara Victoria Higa; Silvio Stienmetz; Flavio Gilberto Herter; Carlos Reisser Junior; Bernadete Radin; Ronaldo Matzenauer</i>	47
5.1. Exigências térmicas	47
5.2. Exigências hídricas	49
Capítulo 6. Critérios para o zoneamento edáfico do eucalipto. <i>Carlos Alberto Flores; Marilice Cordeiro Garrastazu; Vilmar Luciano Mattei</i>	51
6.1. Textura	51

6.2. Profundidade efetiva	51
6.3. Relevo	52
6.4. Drenagem	53
6.5. Fertilidade	55
6.6. Pedregosidade e/ou rochiosidade	55
Capítulo 7. Zoneamento agroclimático para o eucalipto no Estado do Rio Grande do Sul. <i>Marcos Silveira Wrege; Rosana Clara Victoria Higa; Marilice Cordeiro Garrastazu; Carlos Alberto Flores; Silvio Stienmetz; Carlos Reisser Junior; Bernadete Radin</i>	57
Capítulo 8. Zoneamento edáfico para o eucalipto na região do Corede Sul - RS. <i>Carlos Alberto Flores; Marilice Cordeiro Garrastazu; Vilmar Luciano Mattei</i>	65
Capítulo 9. Zoneamento edafoclimático para o eucalipto na região do Corede Sul - RS. <i>Marilice Cordeiro Garrastazu; Carlos Alberto Flores; Marcos Silveira Wrege; José Maria Filippini Alba</i>	69
Capítulo 10. O Zoneamento como instrumento para as políticas públicas na busca da sustentabilidade. <i>José Maria Filippini Alba; Marcos Silveira Wrege; Carlos Alberto Flores; Marilice Cordeiro Garrastazu; Vilmar Luciano Mattei</i>	79
Referências	82

Lista de Figuras

Figura 1. Composição colorida das bandas 3, 4 e 5 do sensor temático do satélite Landsat de 1995: (A) Cidade de Pelotas, RS; (B) Detalhe do setor indicado pelo polígono (Hipódromo da Tablada)	25
Figura 2. Correspondência entre os planos de informação - SIG e o mundo real	27
Figura 3. Exemplo de modelo digital de elevação – DEM (inferior – direita) e de matriz de valores numéricos (superior – esquerda)	28
Figura 4. Exemplificação do processo de interpolação	29
Figura 5. Exemplo da integração de dados por meio de SIG. Os <i>pixels</i> selecionados através da interseção dos níveis de informação à esquerda estão inseridos no interior dos retângulos destacados à direita, sobrepostos à imagem do satélite Landsat utilizada como plano de fundo.	31
Figura 6. Modelo digital de elevação do Estado do Rio Grande do Sul (WEBER; HASENACK, 2006). O gradiente de altitude em relação ao nível do mar vai aumentando a partir do vermelho (0-100 m) e variando de maneira gradual para o laranja (101-200 m), amarelo (201-300 m), verde (301-600) e finalmente azul (601-1.390 m)	34
Figura 7. Base cartográfica, tema hidrografia, com grade representativa das folhas cartográficas em escala 1:50.000	36
Figura 8. Etapas da conversão dos mapas de solos em acervo para arquivo digital (Município de Hulha Negra)	38
Figura 9. Mapa de solos –arquivo único – legenda atualizada	40
Figura 10. (A) <i>Eucalyptus globulus</i> ; (B) <i>Eucalyptus dunnii</i>	45
Figura 11. Plantação clonal de <i>Eucalyptus grandis</i> após ocorrência de geada severa	50

Figura 12. Estação da Agência Nacional de Águas (ANA) no Município de Piratini, RS, integrante da rede nacional de estações meteorológicas	58
Figura 13. Rede de estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) no Estado do Rio Grande do Sul, sendo caracterizado o decêndio com maior risco de déficit hídrico no ano (21-31/dez)	59
Figura 14. Zoneamento agroclimático para <i>Eucalyptus grandis</i> no Estado do Rio Grande do Sul	61
Figura 15. Zoneamento agroclimático para <i>Eucalyptus dunnii</i> no Estado do Rio Grande do Sul	62
Figura 16. Zoneamento agroclimático para <i>Eucalyptus globulus</i> no Estado do Rio Grande do Sul	63
Figura 17. Zoneamento edáfico para o eucalipto na região do Corede Sul – RS.	67
Figura 18. Zoneamento agroclimático de <i>Eucalyptus grandis</i> na região do Corede Sul – RS	70
Figura 19. Zoneamento agroclimático de <i>Eucalyptus dunnii</i> na região do Corede Sul – RS	71
Figura 20. Zoneamento agroclimático de <i>Eucalyptus globulus</i> na região do Corede Sul – RS	72
Figura 21. Zoneamento edafoclimático de <i>Eucalyptus grandis</i> na região do Corede Sul – RS	74
Figura 22. Zoneamento edafoclimático de <i>Eucalyptus dunnii</i> na região do Corede Sul – RS	75
Figura 23. Zoneamento edafoclimático de <i>Eucalyptus globulus</i> na região do Corede Sul – RS	76

Lista de Tabelas

Tabela 1. Relação de tamanhos dos objetos no terreno em relação ao mapa, de acordo com a escala de trabalho e imagens orbitais mais adequadas em cada caso	25
Tabela 2. Recorte da tabela de compatibilização de legenda dos solos dos municípios em acervo	39
Tabela 3. Classes de profundidade efetiva do solo empregadas na avaliação da aptidão edáfica do eucalipto na Região do Corede Sul - RS.	52
Tabela 4. Classes de relevo empregadas na avaliação da aptidão edáfica do eucalipto na Região do Corede Sul - RS	53
Tabela 5. Classes de drenagem empregadas na avaliação da aptidão edáfica para o eucalipto na Região do Corede Sul – RS	54
Tabela 6. Classes de pedregosidade e/ou rochosidade empregadas na avaliação da aptidão edáfica do eucalipto, na região do Corede Sul – RS	55
Tabela 7. Parâmetros utilizados para avaliação das classes de aptidão edáfica para o eucalipto na região do Corede Sul – RS	66
Tabela 8. Área para a aptidão edáfica do eucalipto na região do Corede Sul – RS	67
Tabela 9. Critérios de ponderação para a integração dos zoneamentos climático e edáfico, para o zoneamento edafoclimático na região do Corede Sul - RS	73
Tabela 10. Área de aptidão edafoclimática de <i>Eucalyptus grandis</i> para a região do Corede Sul – RS	74
Tabela 11. Área de aptidão edafoclimática de <i>Eucalyptus dunnii</i> para a região do Corede Sul – RS	75

Tabela 12. Área de aptidão edafoclimática de <i>Eucalyptus globulus</i> para a região do Corede Sul – RS	76
---	----

Silvicultura no contexto agrícola e social

*José Maria Filippini Alba
Marcos Silveira Wrege
Carlos Alberto Flores
Rosana Clara Victoria Higa
Marilice Cordeiro Garrastazu*

Segundo Wales e Sanger (2008), no período Neolítico ou da pedra polida, iniciado há cerca de 12 mil anos, certos indivíduos observaram que, ao enterrar os grãos de alguns alimentos coletados na natureza, eram produzidas novas plantas idênticas às originais. Isto permitiu aumentar a produtividade, evitando as buscas prolongadas e viabilizando a fixação do homem em locais específicos. No decorrer do tempo, foram selecionados entre os grãos selvagens, aqueles que possuíam as características que mais interessavam aos primeiros agricultores, como por exemplo, o tamanho, a produtividade e o sabor dos frutos; surgindo o cultivo das primeiras plantas domesticadas, entre as quais se incluem o trigo e a cevada. Na época, as principais áreas agrícolas estavam localizadas nos vales do rio Nilo no Egito, na porção delimitada pelos rios Tigre e Eufrates, na Mesopotâmia, atualmente Iraque e nos vales dos rios Amarelo (Huang He) e Azul (Yangtse) na China, existindo uma associação estreita com os períodos chuvosos e a ação fluvial. Há também antigos registros de agricultura na Índia e na América Pré-Colombina, porém, sem guardar relação direta com a época supra mencionada. Estes povos destacaram-se pelos conhecimentos em matemática e astronomia, derivando na elaboração de calendários, que permitiram acompanhar as mudanças climáticas anuais, de maneira a aprimorar seus sistemas produtivos (PINHEIRO, 2007).

O texto anterior vincula, já desde tempos primórdios, a agricultura com o clima, as características do solo, o conhecimento territorial e a tecnologia, sendo que ela permite a existência de aglomerados humanos de maior densidade populacional que os que podem ser suportados em função da caça, da coleta e da pesca.

Do ponto de vista científico e tecnológico, a agricultura evoluiu consideravelmente desde o arado puxado por bois, passando pelas máquinas

a vapor e a eletricidade durante a revolução industrial, posteriormente aprimoradas com a descoberta do combustível fóssil e o motor a combustão, derivando na revolução verde, o surgimento dos agroquímicos, os programas de melhoramento genético e as biotecnologias e finalmente com a descoberta da clonagem e dos produtos transgênicos. Ainda assim, existem polêmicas sobre as técnicas agrícolas em relação à conservação de solo e água, aos impactos ambientais, a redução da biodiversidade e ao aquecimento global (INTERGOVERNMENTAL, 2008).

A lenha e a madeira são produtos utilizados pelo homem de longa data (Paleolítico), sendo inicialmente usadas espécies naturais. Esse costume persiste até nossos dias, no entanto existem leis ambientais para conservação e proteção das florestas. Um exemplo dramático da exploração predatória das florestas o constitui a Mata Atlântica Brasileira, depois do desembarco dos portugueses em 1500 (DIAS,1992). A primeira Carta Régia do Brasil, em 1542, já estabelecia normas para o corte da madeira e determinava punições para os abusos em andamento. No século XIX, houve diversas ações das autoridades para deter o desmatamento predatório, até que, em 1920, o pau-brasil foi considerado extinto. Em 1934, o Decreto 23.793 transformou em Lei o anteprojeto do Código Florestal, elaborado em 1931.

Segundo Rodrigues (2008), a silvicultura intensiva moderna teve início no Brasil no início do século XX, com o estabelecimento dos plantios florestais com espécies exóticas, principalmente eucaliptos e coníferas, para substituição da madeira das florestas nativas de difícil reposição (FERREIRA, 2001). Apesar do primeiro programa de melhoramento genético de eucaliptos ter sido considerado como um dos mais avançados para a época (FERREIRA & SANTOS, 1997), as sementes de eucaliptos de melhor qualidade genética disponíveis para plantio até a década de 1960 eram provenientes de parcelas experimentais ou talhões desbastados, mas sem isolamentos contra polens não desejáveis. De modo geral, os plantios de eucaliptos originados dessas sementes apresentavam alta porcentagem de híbridos. Os primeiros pomares clonais de sementes de eucaliptos e pinus foram estabelecidos apenas a partir do final da década de 1960. Esses pomares tinham como objetivo atender à demanda crescente de sementes, tanto quantitativa como qualitativamente, para o programa de incentivos fiscais ao reflorestamento. A taxa de plantio anual, na época dos incentivos fiscais, 1966 a 1986, chegou a 400 mil hectares por ano, o que correspondia a 800 milhões de mudas ou duas toneladas de sementes de eucaliptos e pinus, aproximadamente. As árvores eram selecionadas por fenótipos, nos melhores talhões existentes ou em plantios experimentais. No início da década de 1970, foram instalados os primeiros testes de progênies e iniciada a reintrodução de germoplasmas, com base genética apropriada, de espécies ou procedências selecionadas. As atividades relacionadas com a produção de sementes melhoradas de eucaliptos e pinus foram priorizadas nas décadas de 1970 e 1980. Levantamentos da pesquisa florestal em andamento no Brasil, realizados pela Embrapa em 1978, 1980 e 1987 (EMBRAPA, 1987), mostram que a maioria absoluta dos 2.043

experimentos em andamento eram da área de melhoramento genético e incluíam arboretos, bancos clonais, ensaios de espécies, pomares de sementes, testes de procedências, testes de progênies, clonagem, conservação genética, entre outros.

Em 2005, existia no Estado do Rio Grande do Sul uma área plantada de florestas de 364.770 hectares (SOCIEDADE, 2006), a maioria com espécies do gênero *Eucalyptus*. Em função das condições favoráveis, há uma tendência de ampliação da área plantada nos próximos anos. Lembra-se que o território sul-rio-grandense, junto ao Uruguai e as porções norte da Argentina e do Chile, localizam-se em latitude semelhante a da Austrália, região de origem da espécie, o que torna essas regiões alvos privilegiados para o setor florestal. No período 1990 a 2004, as plantações florestais no Uruguai aumentaram consideravelmente, evoluindo de áreas de 45 mil hectares para mais de 750 mil hectares (SILVERA; ALONSO; MARTINEZ, 2006).

O presente trabalho representa uma sistematização de informações de diversas fontes, visando o desenvolvimento de um zoneamento para eucalipto no Estado do Rio Grande do Sul, em função do processo expansivo das empresas do setor florestal na região (MINISTÉRIO, 2008) e das preocupações de alguns setores da sociedade, principalmente aqueles envolvidos com a conservação ambiental e a preservação das culturas locais, manifestadas em diversos eventos de abrangência estadual:

- (1) Audiências públicas – Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM, Rio Grande do Sul, 2007.
- (2) 2º Encontro de Organizações Não Governamentais e Movimentos Sociais do Bioma Pampa, Pelotas, 2007.
- (3) Reunião técnica sobre silvicultura das unidades da Embrapa da Região Sul, Passo Fundo, 2007.
- (4) Seminário “O papel do eucalipto no Rio Grande do Sul”, ADUFPEL, Pelotas, 2007.
- (5) Oficina de Biodiversidade – Secretaria de Planejamento e Gestão – RS, Porto Alegre, 2007.
- (6) Políticas Públicas para a Conservação e Uso Sustentável do Bioma Pampa – IBAMA – RS, Porto Alegre, 2008.

As audiências públicas serviram como marco de difusão, discussão e efetivação do Zoneamento Ambiental para a Silvicultura - RS, instrumento desenvolvido por um consórcio de entidades no âmbito estadual (SECRETARIA, 2007), uma vez conferida a intensa expansão da atividade sobre a região Sul – RS. Isso aconteceu de maneira quase concomitante à definição oficial do Pampa como Bioma Brasileiro (INSTITUTO, 2004), o que desencadeou sua adoção imediata como unidade de planejamento ambiental. Duas posições antagônicas derivaram do processo: (1) A progressista, integrada pelas empresas do setor junto a entidades sociais e municípios, preocupados com o desenvolvimento

regional e o ingresso de recursos; (2) A ambientalista, integrada por ONGs, Universidades, Órgãos públicos e pecuaristas, visando à conservação do Pampa, a proteção da biota e a segurança ambiental. Os primeiros destacam os benefícios positivos, como a implantação de florestas (compensação), a criação de empregos e a geração de renda, os últimos enfatizam os prejuízos derivados da transformação dos biomas, da perda de biodiversidade e da alteração do balanço hídrico.

A reunião de Passo Fundo congregou pesquisadores da Embrapa Clima Temperado, Florestas, Pecuária Sul e Trigo, para nivelar as informações e elaborar um documento orientador, com base nas Leis do Brasil, nos princípios internacionais de proteção ambiental e no Plano Diretor da Embrapa. Ele enfatiza o respeito às leis ambientais, sugerindo ampliar o zoneamento edafoclimático para silvicultura da região do Corede Sul - RS, apresentado neste livro, para todo o território do Estado, sendo realçada a necessidade de ações direcionadas ao desenvolvimento do Zoneamento Ecológico – Econômico, conforme estabelecem os Decretos Lei número 4297/2002 e número 6288/2007.

O presente livro descreve os critérios adotados e os resultados do Zoneamento Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul e do Zoneamento Edafoclimático para a região do Corede Sul - RS, para três espécies de *Eucalyptus*. A escala de trabalho adotada dependeu da distribuição espacial dos dados disponíveis segundo será descrito no decorrer do texto. O desenvolvimento dos zoneamentos edafoclimáticos para outros territórios, a exemplo do realizado para a região do Corede Sul – RS, dependerá da elaboração e disposição de mapeamentos de solos em escala apropriada. Destaca-se que o zoneamento edafoclimático não é equivalente ao zoneamento ecológico – econômico, mas representa uma importante contribuição, pois determina regiões de clima favorável, do ponto de vista de parâmetros térmicos ideais, com ênfase na época de geadas, condições hídricas favoráveis e parâmetros do solo adequados, em relação ao relevo (declividade), as condições de drenagem, a fertilidade do solos, a textura, a pedregosidade e a profundidade das camadas superficiais, envolvendo critérios produtivos e de proteção à natureza.

O Zoneamento e os Sistemas de Informação Geográfica

*José Maria Filippini Alba
Marcos Silveira Wrege
Carlos Alberto Flores
Marilice Cordeiro Garrastazu*

A palavra “zona” pode ser definida como “uma região com certas peculiaridades de clima, de vegetação, de ocupação humana...” (FERREIRA, 2005). O mesmo autor também define o verbo “zonear”, como “dividir por zonas”, conceito sem dúvidas relacionado à palavra “zoneamento”, neologismo que implica a definição e caracterização de zonas em função de critérios técnicos previamente estabelecidos, envolvendo o conceito de ordenamento territorial. No âmbito municipal, as regiões são delimitadas de acordo com o uso, para fins industriais, agropecuários ou urbanos. Neste caso, sendo definidas áreas comerciais, residenciais, para condomínios, parques e outras. No entanto, em função da variedade de critérios adotados para o zoneamento, é comum adicionar uma segunda palavra para sua caracterização: zoneamento agrícola ou de riscos climáticos; zoneamento agroclimático; zoneamento ambiental; zoneamento ecológico - econômico; zoneamento edáfico, entre outros.

O Programa de Garantia da Atividade Agropecuária – PROAGRO foi estabelecido pela lei 5.963 de 11 de dezembro de 1973. Trata-se de um importante instrumento de política agrícola do Governo Federal, apesar das peculiaridades, com características inerentes de um programa securitário. Altas taxas de sinistralidade, coberturas duvidosas e metodologias inadequadas, associadas à falta de recursos públicos, inviabilizaram a continuidade do programa nos seus moldes originais. Com a adoção do zoneamento agrícola, baseado na redução de riscos e aumento da produtividade, o PROAGRO passou a trabalhar de maneira diferenciada e com uma elevada redução de custos, desde 1996. Os trabalhos que forneceram sustentação científica ao zoneamento agrícola foram registrados e brevemente descritos, envolvendo as culturas de algodão, arroz, café, feijão, maçã, milho, soja e trigo (CUNHA; ASSAD, 2001).

De maneira paralela, mas com concepção de conservação e proteção ambiental, a Lei 6.938/1981 transforma o zoneamento ambiental em instrumento

da Política Nacional do Meio Ambiente, sendo criada uma Câmara Técnica inserida no Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA para tratar do assunto. Essa Política tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses de segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.

A necessidade de compatibilizar ambos zoneamentos, o agrícola e o ambiental, derivou na criação do Decreto 4.297/2002, que regulamenta a Lei 6.938/1981 no contexto do zoneamento ambiental, estabelecendo os critérios mínimos para o desenvolvimento do zoneamento ecológico-econômico do Brasil - ZEE. Seus objetivos e princípios estabelecem que:

- ✓ O ZEE, instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população;
- ✓ O ZEE tem por objetivo geral organizar, de forma vinculada, as decisões dos agentes públicos e privados quanto a planos, programas, projetos e atividades que, direta ou indiretamente, utilizem recursos naturais, assegurando a plena manutenção do capital e dos serviços ambientais dos ecossistemas. Parágrafo único: O ZEE, na distribuição espacial das atividades econômicas, levará em conta a importância ecológica, as limitações e as fragilidades dos ecossistemas, estabelecendo vedações, restrições e alternativas de exploração do território e determinando, quando for o caso, inclusive a realocação de atividades incompatíveis com suas diretrizes gerais;
- ✓ O processo de elaboração e implementação do ZEE: (1) buscará a sustentabilidade ecológica, econômica e social, com vistas a compatibilizar o crescimento econômico e a proteção dos recursos naturais, em favor das presentes e futuras gerações, em decorrência do reconhecimento de valor intrínseco à biodiversidade e os seus componentes; (2) contará com ampla participação democrática, compartilhando suas ações e responsabilidades entre os diferentes níveis da administração pública e da sociedade civil; e (3) valorizará o conhecimento científico multidisciplinar;
- ✓ O ZEE orientar-se-á pela Política Nacional do Meio Ambiente e obedecerá aos princípios da função sócio-ambiental da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário-pagador, da participação informada, do acesso equitativo e da integração.

A elaboração do ZEE foi modificada em função do Decreto 6288/2007, que designou ao Poder Público Federal para sua execução, em cooperação com os Estados e disponibilizando publicamente as informações geradas. Nesse contexto foram claramente estabelecidas as escalas de trabalho, sendo

que para os objetivos do presente livro, os principais aspectos são: (1) 1:5.000.000 para o território nacional aos efeitos de apresentação, com referência para 1:1.000.000; (2) Escalas diferenciadas nas Macro-regiões, sendo 1:250.000 a 1:100.000 para a região Sul; (3) ZEE local nas escalas 1:100.000 e superiores. Assim, cada escala de trabalho corresponde ao ordenamento territorial na esfera Nacional, Estadual (regional) e Municipal, respectivamente.

Ainda é detalhado o conteúdo do ZEE, que dividirá o território em zonas, de acordo com as necessidades de proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais e do desenvolvimento sustentável. Sendo que, a definição de cada zona, observará no mínimo: (1) Diagnóstico dos recursos naturais, da sócio-economia e do marco jurídico-institucional; (2) Sistemas de informação geográfica; (3) Cenários de tendências e alternativas; (4) Diretrizes gerais e específicas: necessidades de conservação ambiental e conservação das águas; orientações para as atividades produtivas; definição de áreas para unidades de conservação.

Aquino (2008) menciona que, em vários Estados Brasileiros, o ZEE encontra-se em fase de desenvolvimento ou já foi concluído, entre eles o Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, Rondônia, Roraima, Piauí e Tocantins, existindo vários territórios já levantados, nos Estados de Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Ceará, Pará e Rio Grande do Sul.

Com base no texto anterior, pode-se afirmar que o termo zoneamento possui conotações técnicas e legais na tentativa de fomentar o desenvolvimento sustentável do ponto de vista ambiental, econômico e social, integrando conhecimentos multidisciplinares em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica, sendo que, a escala de trabalho para as macrorregiões do Sul do Brasil deverá ser no mínimo 1:250.000 e no máximo 1:100.000. O zoneamento ecológico - econômico do Brasil - ZEE é o instrumento oficial aos efeitos de ordenamento territorial.

A evolução das tecnologias e a dinâmica do mundo contemporâneo interagem com os diversos setores da sociedade, obrigando ao poder público à modificação ou renovação do sistema legal, que precisa evoluir para acompanhar o processo. A Lei Ambiental de 1981 sem dúvidas foi influenciada pela Conferência sobre Meio Ambiente Humano da Organização das Nações Unidas em Estocolmo – Suécia, no ano de 1972, assim como por diversos acontecimentos relacionados ao meio ambiente que ocorreram nas décadas anteriores (DIAS, 1989). Os decretos de 2002 e 2007 expressam claramente a necessidade de enquadramento do ZEE com as inovações tecnológicas das últimas décadas do século XX, sendo inserido o conceito de sustentabilidade, a especificação das escalas de trabalho e os Sistemas de Informação Geográfica como ferramentas de elaboração e aprimoramento desse instrumento.

2.1. A importância da escala

A escala é a razão entre o tamanho de uma feição no mapa e seu tamanho real. Por exemplo, imaginemos um objeto quadrado, de 10 metros de lado, localizado em terreno plano. Em um mapa em escala 1:10.000 seu lado será de 1 mm, sendo 0,1 mm para escala 1:100.000. Expresso de maneira matemática:

$$\text{Escala} = t / T$$

Sendo:

t = tamanho do objeto no mapa

T = tamanho do objeto no terreno (real)

Considerando os valores numéricos para cada uma das situações mencionadas:

$$(0,1 \text{ cm}) / (1000 \text{ cm}) = 0,0001 = 1:10.000$$

$$(0,01 \text{ cm}) / (1000 \text{ cm}) = 0,00001 = 1:100.000$$

Assim, quando uma região específica for mapeada, a densidade das informações levantadas dependerá da escala do mapa final. Uma região cuja extensão é de 500 km corresponderá a um mapa de 50 cm em escala 1:1.000.000 e de 5 metros em escala 1:100.000 (**Tabela 1**). Quando usadas imagens de satélites, cada tipo de imagem corresponde a uma escala, em função do campo de visada do sensor, que está relacionado ao *pixel* da imagem, isto é, a unidade mínima da imagem (apreciação no mapa). Esta situação é exemplificada com uma imagem Landsat de 1995 da cidade de Pelotas e o detalhamento da área do hipódromo municipal, que aparece difuso conforme explicação (**Figura 1**). O MODIS é um sensor multiespectral (36 bandas), com campo de visada variável (250 a 1000 m), que viaja nas plataformas orbitais Aqua e Terra, permitindo mapeamentos em escala regional (XIAO et al., 2005). Os satélites da série Landsat foram equipados inicialmente com os sensores MSS com campo de visada de 79 m (visível – infravermelho próximo) ou 240 m (infravermelho termal), sendo posteriormente incorporado o sensor TM com campo de visada de 30 m e 120 m respectivamente e no estágio final com a adoção do sensor pancromático ao estilo do sistema SPOT (JENSEN, 1996), permitindo mapeamentos em escala semidetalhada. Esta tecnologia também foi adotada pelo satélite CBERS (INSTITUTO, 2008), que na sua última versão incorporou uma câmara de alta resolução, capaz de realizar mapeamentos detalhados, de maneira semelhante aos pretéritos levantamentos por meio de fotografia aérea. Destaca-se que na última década foram vários os sistemas orbitais com essa característica, alguns deles alcançando resolução espacial centimétrica.

Tabela 1. Relação de tamanhos dos objetos no terreno em relação ao mapa, de acordo com a escala de trabalho e imagens orbitais mais adequadas em cada caso.

Escala	Equivalência mapa – terreno		Imagem orbital
	1 cm	Apreciação (= 0,5 mm)	
1:1.000.000	10 km	500 m	MODIS
1:500.000	5 km	250 m	MODIS
1:250.000	2,5 km	125 m	MSS
1:100.000	1 km	50 m	Landsat
1:50.000	500 m	25 m	CBERS, SPOT
1:10.000	100 m	5 m	Aerolevantamentos sensores de alta resolução

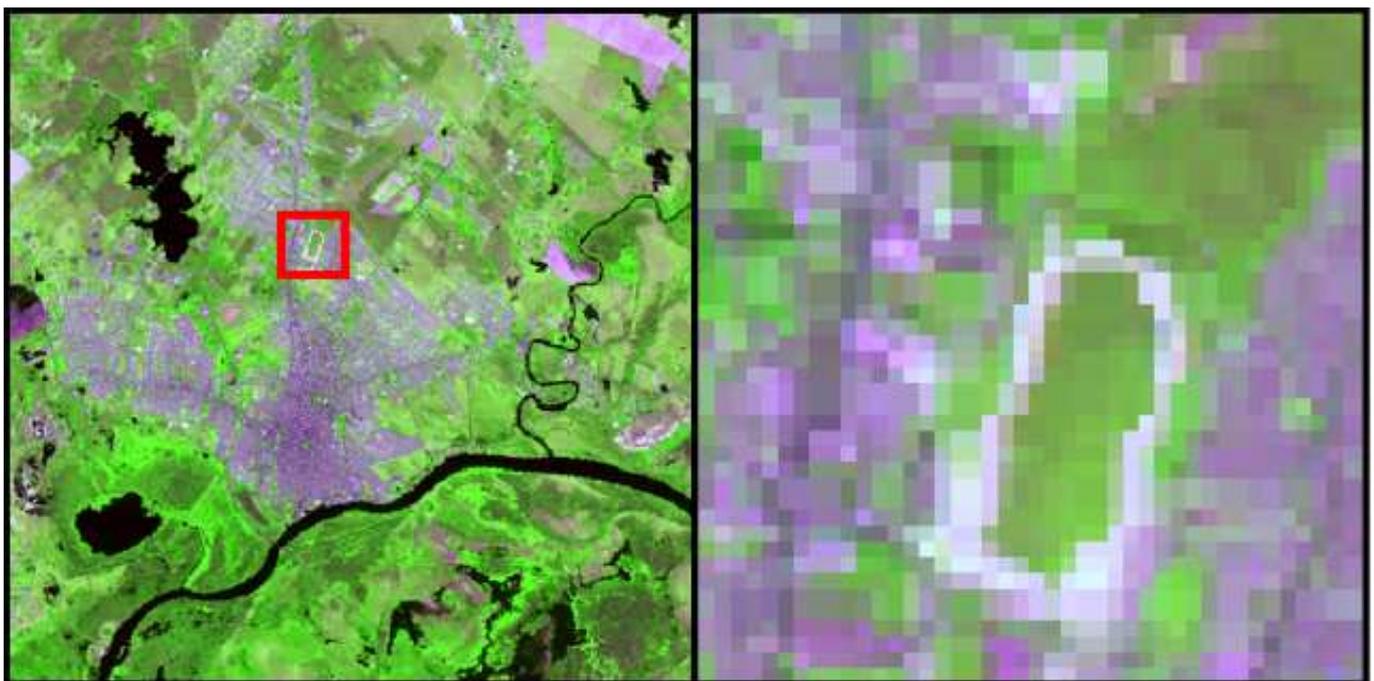


Figura 1. Composição colorida das bandas 3, 4 e 5 do sensor temático do satélite Landsat de 1995: (A) Cidade de Pelotas, RS; (B) Detalhe do setor indicado pelo polígono (Hipódromo da Tablada).

Fonte: Embrapa Clima Temperado.

2.2. Aplicações dos Sistemas de Informação Geográfica – SIG nos zoneamentos

Existem diversas definições de SIG, algumas delas são as seguintes:

- (1) Um poderoso elenco de ferramentas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados referenciados ao mundo real (BURROUGH, 1986).
- (2) Qualquer conjunto de procedimentos, manuais ou computacionais, usados para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados (ARONOFF, 1991).
- (3) Sistema computacional que gerencia dados espaciais (BONHAM-CARTER, 1994).

As três definições acima são coincidentes em relação ao uso de dados espaciais, usualmente geograficamente referenciados, isto é, as informações estarem associadas a um sistema de coordenadas global. Os SIGs estão relacionados à computação e ao manuseio de informações digitais, porém, poderão acontecer procedimentos manuais em algumas etapas do processo, como menciona a definição (2).

Nos SIGs, o mundo real é discriminado e organizado segundo níveis de informação, ajustados a um sistema único de coordenadas, permitindo a sua integração e modelagem (**Figura 2**). Um banco de dados alfanumérico pode ser incorporado a um SIG, sendo possível explorar o sistema por meio do modelo conceitual do banco ou também, através da análise espacial. Enfim, os SIGs são o âmbito ideal para execução de procedimentos de geoprocessamento.

Os modelos digitais de elevação – DEM (sigla que deriva do inglês “*Digital Elevation Model*”) permitem representar o relevo da superfície terrestre e derivar novas informações, como a declividade e a exposição de vertentes. São arquivos alfa-numéricos organizados segundo uma malha regular em forma de matriz (arquivo XYZ), onde cada elemento da malha (célula ou *pixel*) corresponde a uma posição espacial, sendo atribuído um número relativo à altitude (**Figura 3**). Os DEM podem ser obtidos de diferentes maneiras: (a) Digitalizando e processando os dados de altitude das folhas cartográficas; (b) por meio de sistemas de sensoriamento remoto (SOUZA FILHO, 2003).

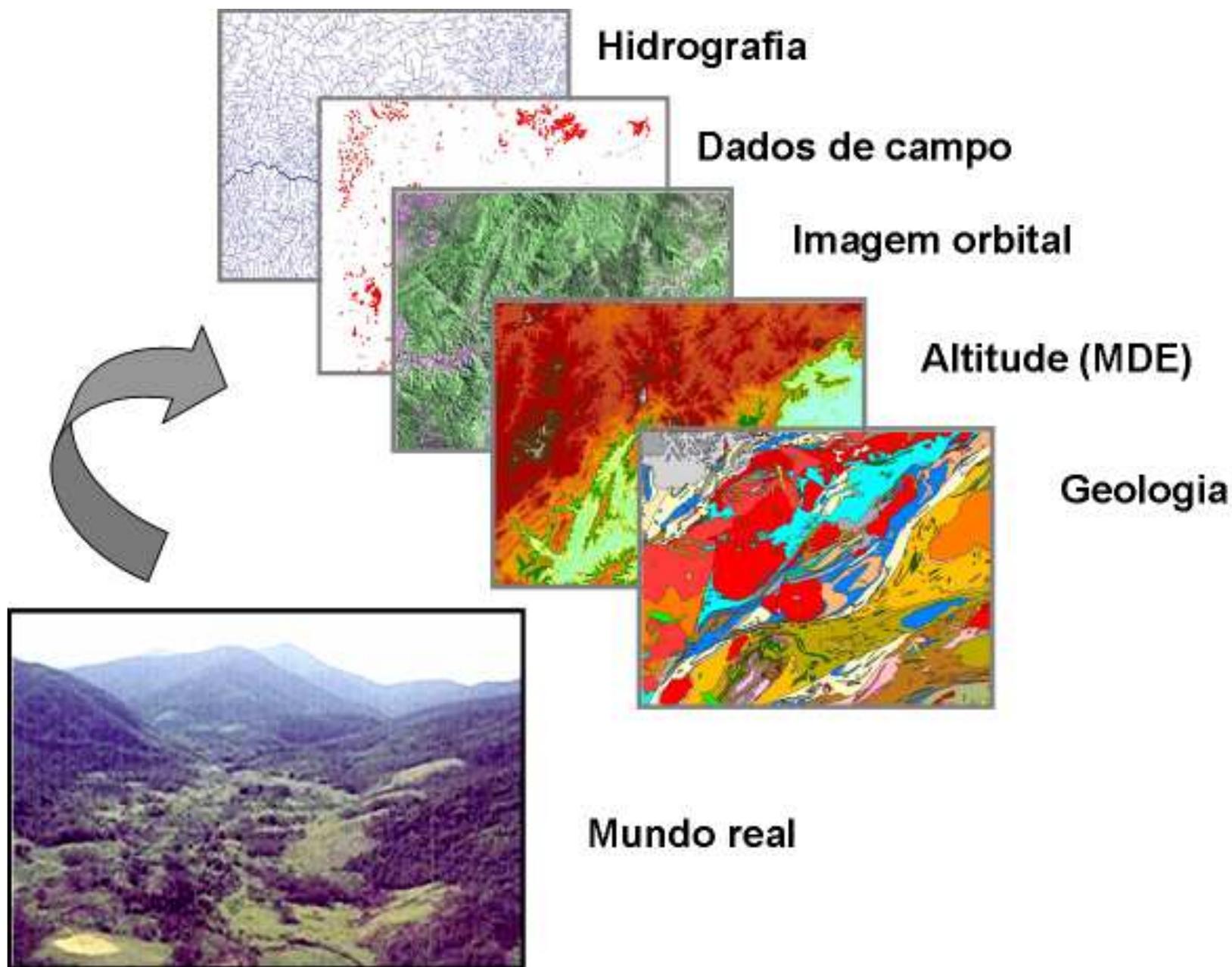


Figura 2. Correspondência entre os planos de informação - SIG e o mundo real. Fonte (imagem): Projeto Paisagens Geoquímicas e Ambientais do Vale do Ribeira, FAPESP, IG/UNICAMP.

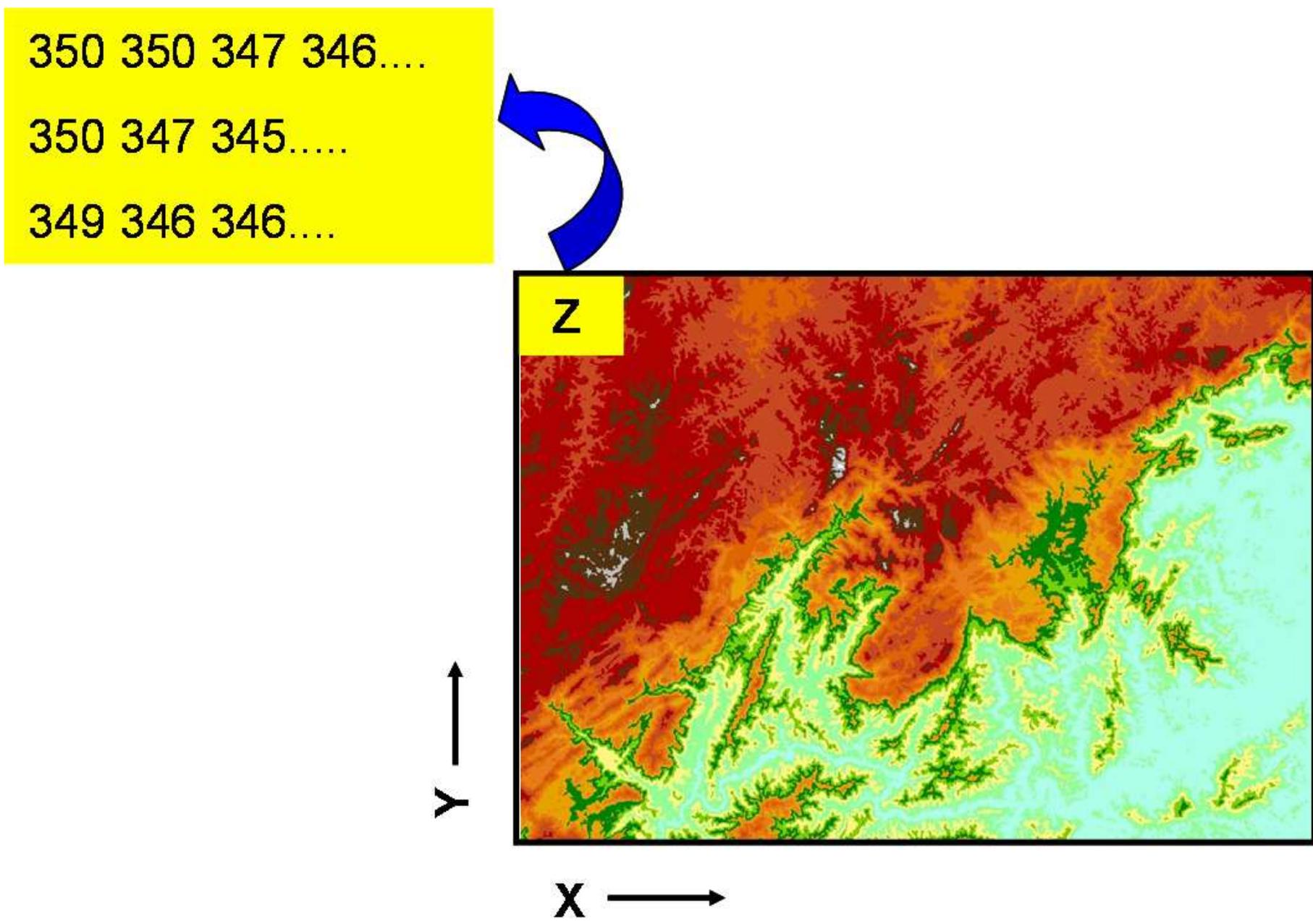


Figura 3. Exemplo de modelo digital de elevação – DEM (inferior – direita) e de matriz de valores numéricos (superior – esquerda). Fonte (imagem): NASA.

Os níveis de informação podem ser gerados em diversos formatos, dependendo da natureza da feição representada: pontos, linhas, polígonos ou imagem. Os primeiros permitem representar estações de amostragem, correspondentes a levantamentos básicos, como dados meteorológicos, de qualidade da água ou perfis de solos. A rede hidrográfica e as curvas hipsométricas se ajustam claramente ao formato de linhas. Os mapas de solos, de ocupação atual ou aptidão da terra são exemplos de formato de polígonos. Observa-se que em todos esses casos, as feições, isto é, os pontos, linhas ou polígonos, podem ser relacionados com arquivos alfanuméricos onde são descritas características a eles associadas. Por exemplo, no nível de informação correspondente à hidrografia, o nome dos cursos hídricos e corpos de água, a quantidade de água disponível em cada um deles e sua navegabilidade, entre outras, podem ser detalhadas de maneira textual.

Na sua forma simplificada, as imagens de sensoriamento remoto possuem um formato semelhante ao dos DEMs, como foi comentado e exemplificado antes. Uma imagem também poderá ser gerada pela interpolação de um arquivo de pontos ou linhas. Trata-se de um processo estatístico-matemático através do qual o teor de uma variável é calculado em qualquer ponto do espaço de amostragem (**Figura 4**). Yamamoto (1988) define os métodos globais de interpolação, baseados em modelos de regressão e os métodos locais, como o inverso do quadrado da distância, a triangulação e a krigagem. O último está relacionado à teoria das variáveis regionalizadas, também conhecida como geoestatística (MATHERON, 1963).

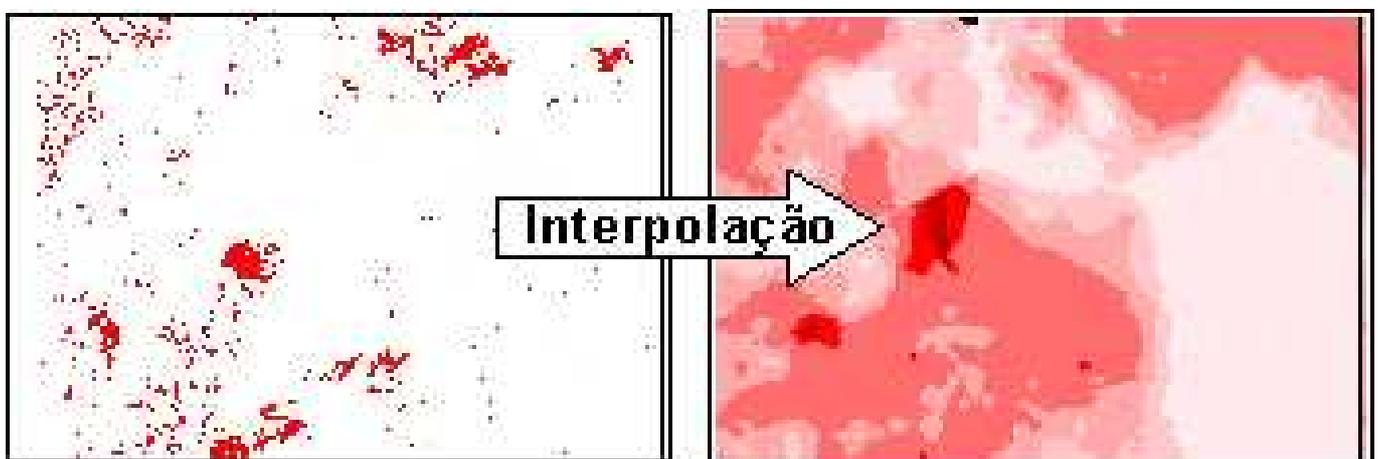


Figura 4. Exemplificação do processo de interpolação.

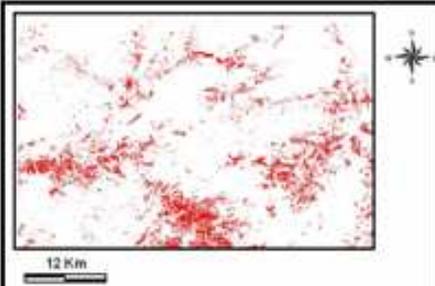
Fonte: Projeto Paisagens Geoquímicas e Ambientais do Vale do Ribeira, FAPESP, IG/UNICAMP.

Os procedimentos mencionados fazem parte da rotina do geoprocessamento e, em certas ocasiões, são extremamente trabalhosos, principalmente na fase de digitalização da informação, mas são de grande utilidade no desenvolvimento dos zoneamentos. No entanto, uma das funções mais importantes de um SIG é a integração das informações, que pode ser realizada através de diversos métodos, como por exemplo, classificação (JENSEN, 1996), na qual, em uma mesma classe, são unidas as regiões com características semelhantes. Aos efeitos do zoneamento, tornam-se mais adequados os procedimentos que usam algoritmos lógicos – matemáticos, como será exemplificado a seguir.

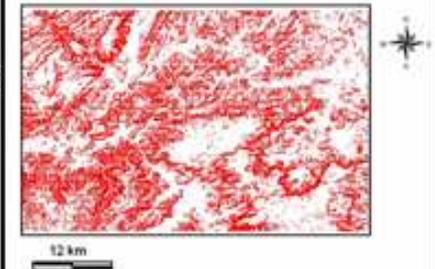
Filippini Alba e Souza Filho (2006) elaboraram uma base de dados, considerando o DEM da Shuttle Radar Topography Mission (*pixel* de 90 m), dados geoquímicos de sedimentos de corrente do Vale do Ribeira (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1985, inédito) e dados digitais das bandas do sensor temático do satélite Landsat correspondentes à cena 220-77 de 26 de setembro de 1999. Os níveis de informação utilizados e sua integração por meio de operadores booleanos apresentam-se de maneira sucinta na **Figura 5**.

Destaca-se que, neste capítulo, foi descrita e exemplificada a utilidade do geoprocessamento e dos SIGs para a execução de zoneamentos, porém, os critérios e a metodologia adotada para realizar o zoneamento edafoclimático do Corede Sul - RS e para o zoneamento agroclimático do Estado de Rio Grande do Sul serão descritos nos próximos capítulos.

Solo exposto



Declividade > 20°



As > 25 ppm



Pb > 80 ppm

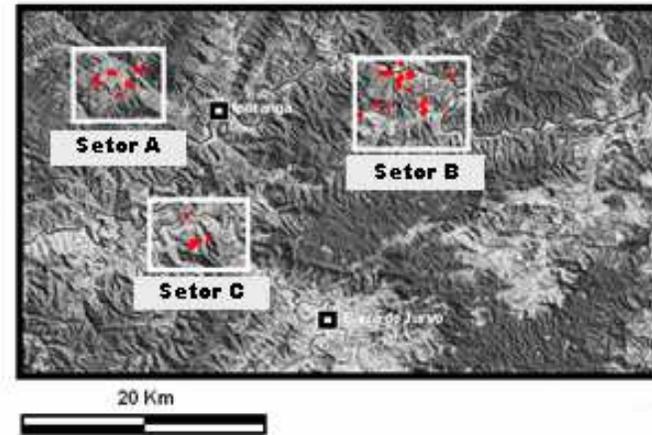
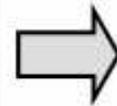


Figura 5. Exemplo da integração de dados por meio de SIG. Os *pixels* selecionados através da interseção dos níveis de informação à esquerda estão inseridos no interior dos rectângulos destacados à direita, sobrepostos à imagem do satélite Landsat utilizada como plano de fundo.

Fonte: Projeto Paisagens Geoquímicas e Ambientais do Vale do Ribeira, FAPESP, IG/UNICAMP.

Estruturação de base cartográfica e temática em SIG

*Marilice Cordeiro Garrastazu
Heinrich Hasenack
Eliseu Weber
Carlos Alberto Flores
Carlos Roberto Soares Severo
José Maria Filippini Alba*

3.1. Base cartográfica em escala 1:250.000

A base cartográfica é o tema de amarração de qualquer projeto de integração de informações, muito embora foram sugeridos métodos alternativos, por exemplo, através do uso de imagens orbitais (CREPANI et al., 1996). A base cartográfica digital do Estado do Rio Grande do Sul em escala 1:250.000 foi lançada recentemente com base nos levantamentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas e da 1ª. Divisão de Levantamento do Exército da Diretoria de Serviço Geográfico (1DL-DSG) e a colaboração de várias entidades, incluindo a Embrapa Clima Temperado (WEBER; HASENACK, 2006). Esta base cartográfica foi utilizada no zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul.

O modelo digital de elevação é fundamental no zoneamento agroclimático, devido à relação da altitude com a temperatura, influenciando no risco climático. As terras altas são mais frias, dependendo da latitude de ocorrência, aumentando a probabilidade de risco de geada. Esta relação é definida de forma matemática, através de modelos de regressão do risco climático em função da altitude, da latitude e da longitude. As isolinhas digitais foram transformadas de formato vetorial (linhas) para formato raster (imagem), por interpolação, segundo o processo mencionado no Capítulo 2. Foi utilizado o modelo digital de elevação da Shuttle Radar Topography Mission, compilado, corrigido e adequado para o sistema SAD 69 pelos referidos autores, segundo *pixel* aproximado de 90 metros (**Figura 6**).

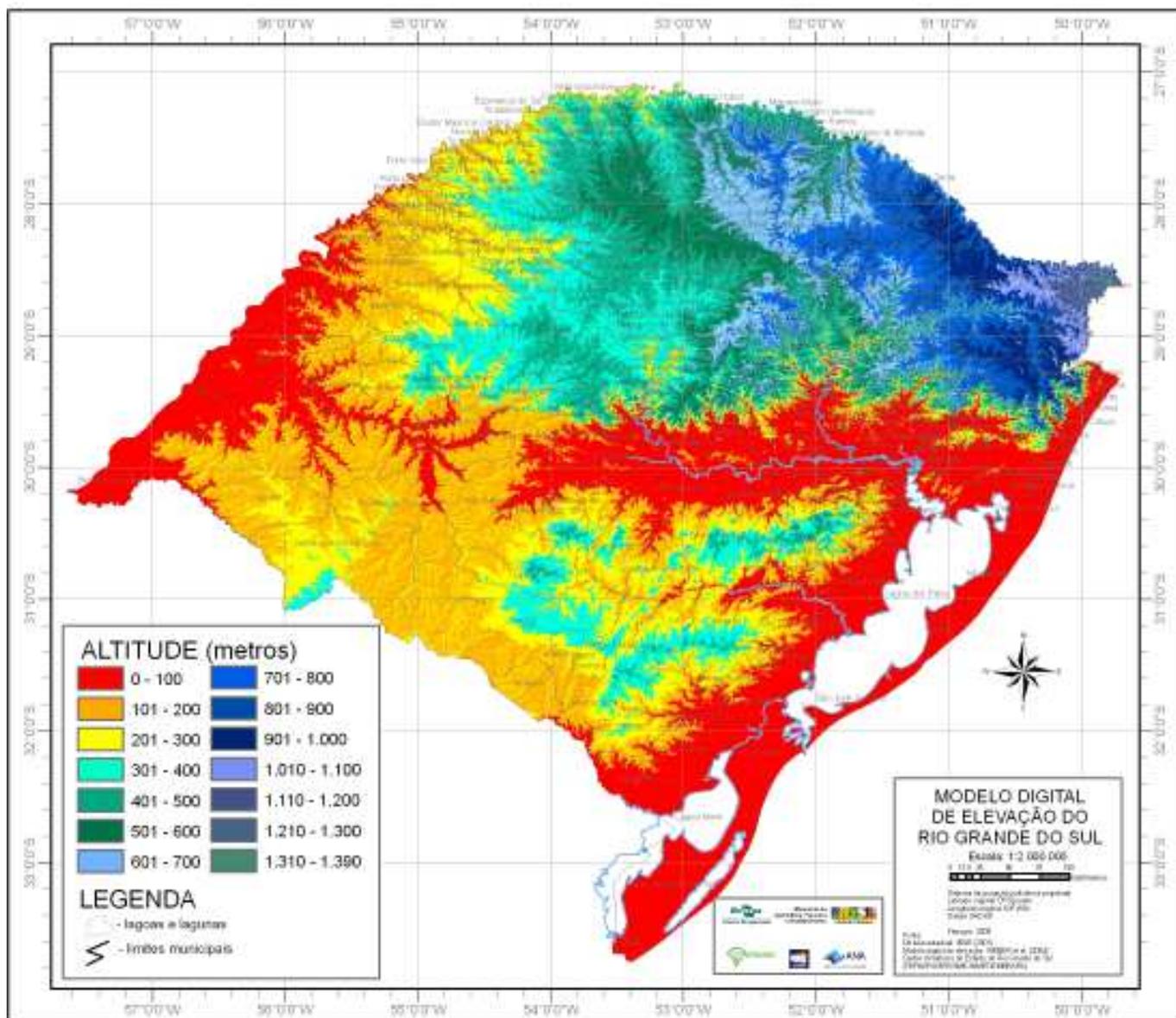


Figura 6. Modelo digital de elevação do Estado do Rio Grande do Sul (WEBER; HASENACK, 2006). O gradiente de altitude em relação ao nível do mar vai aumentando a partir do vermelho (0-100 m) e variando de maneira gradual para o laranja (101-200 m), amarelo (201-300 m), verde (301-600) e finalmente azul (601-1.390 m)

3.2. Base cartográfica em escala 1:50.000

A digitalização das folhas cartográficas em escala 1:50.000, levantadas pela 1DL – DSG, para o zoneamento edafoclimático da região do Corede Sul - RS foi realizada no Laboratório de Planejamento Ambiental da Embrapa Clima Temperado. Foram extraídos os temas planimétricos (hidrografia, rede viária, áreas urbanas) e altimétricos (curvas de nível e pontos cotados) para 87 folhas cartográficas (**Figura 7**).

Para a elaboração da base cartografia foi utilizada metodologia estabelecida no Centro de Ecologia – UFRGS, obedecendo a um protocolo de normas de digitalização definindo procedimentos padrões para todas as etapas: georreferenciamento, digitalização, nomenclatura para os arquivos, processos de edição e verificação.

As folhas topográficas foram convertidas do formato analógico para digital, através de uso de equipamento *scanner*. As imagens das folhas foram georreferenciadas por pontos de controle utilizando todos os pontos de intersecção da grade de coordenadas UTM. Após etapa de georreferência, as folhas topográficas foram inseridas no SIG (Sistema de Informação Geográfica) para extração dos dados temáticos através de processo de vetorização manual (vetorização em tela). A escala de visualização em tela, nessa etapa, foi de 1:4.000. A edição final constou da união dos arquivos (conjunto de folhas topográficas da região Corede Sul) formando um arquivo único por tema.

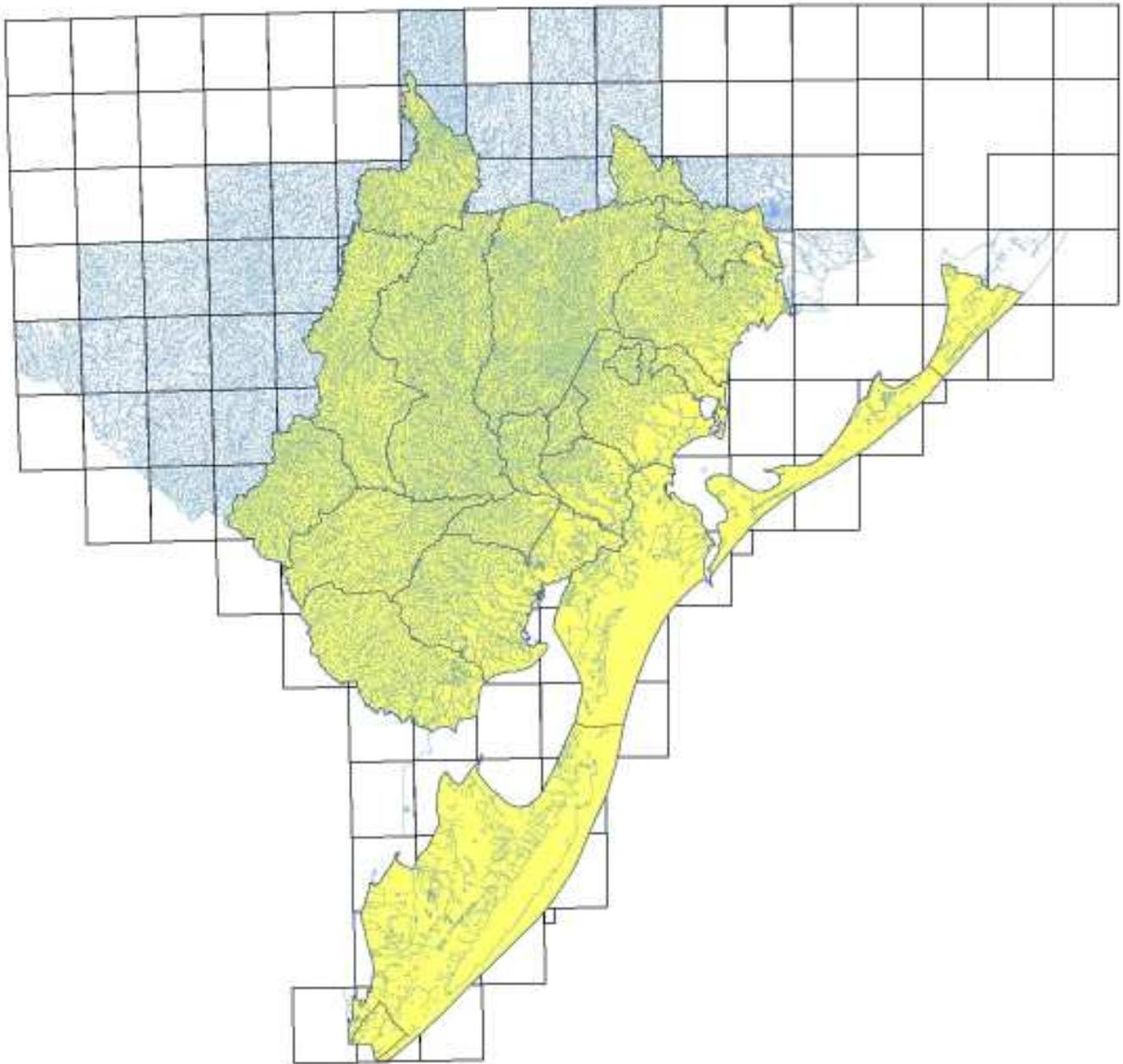


Figura 7. Base cartográfica, tema hidrografia, com grade representativa das folhas cartográficas em escala 1:50.000.

Fonte: Embrapa Clima Temperado.

A base cartográfica digital, na escala 1:50.000, possibilita a geração de modelo digital de elevação (DEM), permitindo aprimorar o nível de detalhe do zoneamento agroclimático de regiões específicas e apoiar o processo de estruturação dos mapas de solos. No entanto, não foi possível considerar o DEM em escala 1:50.000 para o zoneamento edafoclimático da região do Corede Sul.

3.3. Mapa de Solos - Corede Sul

Os mapeamentos de solos em acervo na Embrapa Clima Temperado foram realizados, ao longo do tempo, por demanda e por município e necessitavam edição e integração em uma mesma base digital para seu uso no zoneamento.

A recuperação e edição de mapeamento em acervo nos formatos analógicos e em formato digital não referenciado (arquivos no programa Corel Draw) abrangeram os Municípios do Corede Sul (Amaral Ferrador, Arroio do Padre, Arroio Grande, Canguçu, Capão do Leão, Cerrito, Chuí, Herval, Jaguarao, Morro Redondo, Pedras Altas, Pedro Osório, Pelotas, Pinheiro Machado, Piratini, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar, Santana da Boa Vista, São José do Norte, São Lourenço do Sul, Tavares, Turuçu) e os municípios de Candiota e Hulha Negra.

O processo de conversão e edição dos mapas primeiramente foi executado por Município. Como exemplo, o mapa do município de Hulha Negra em meio digital formato *.cdr* (**Figura 8a**) mostrando em um detalhe as etapas de filtro de temas solo e grade de coordenadas e exportação no formato *dxf*; georreferenciamento utilizando a grade recuperada (**Figura 8b**); edição topológica dos polígonos referentes as unidades de solos e de dados alfanuméricos em tabela associada ao dado espacial (**Figura 8c**); edição e ajuste das unidades de mapeamento, com auxílio da base cartográfica na escala 1:50.000 e imagens Landsat (**Figura 8d**) e mapa final com legenda atualizada (**Figura 8e**).

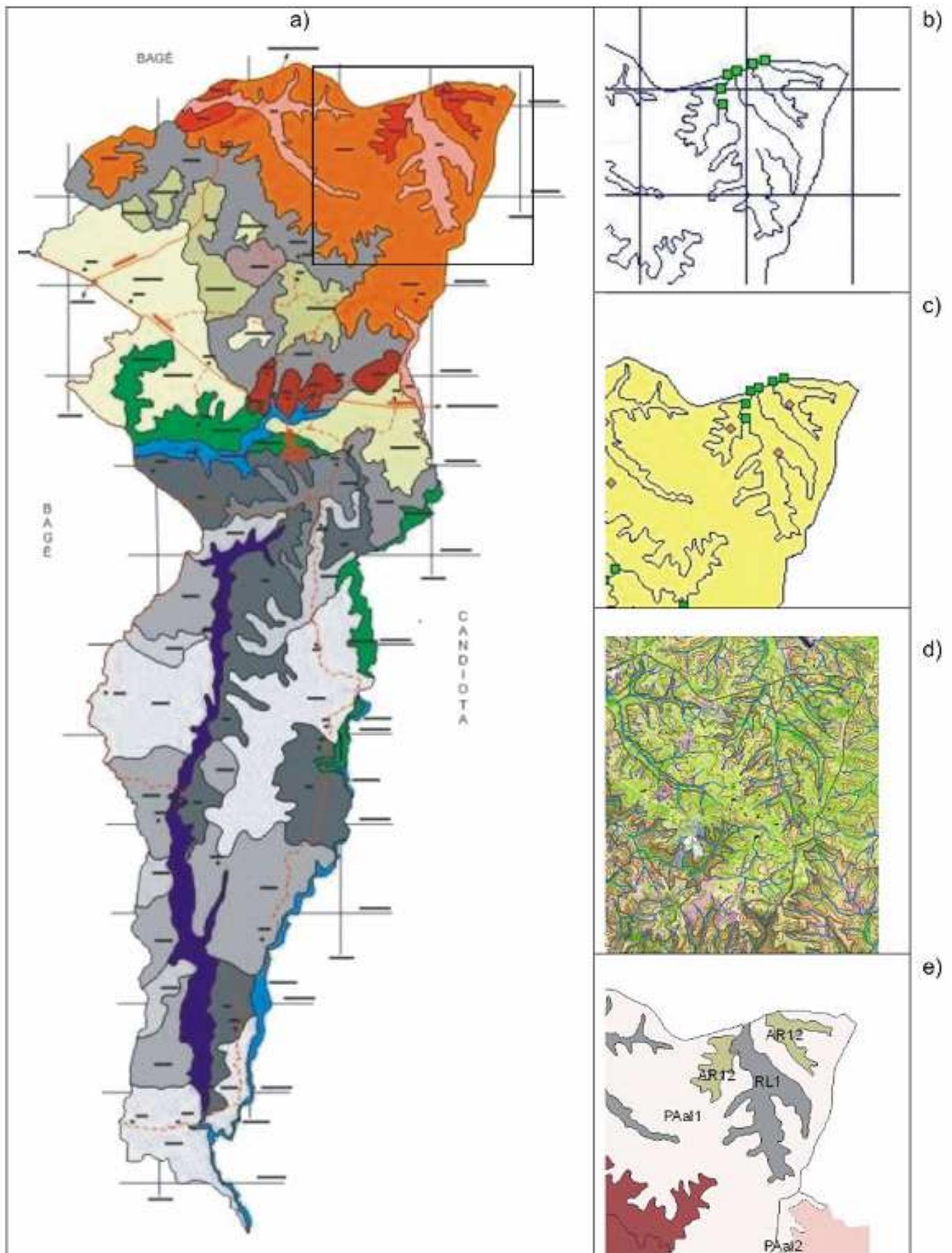


Figura 8. Etapas da conversão dos mapas de solos em acervo para arquivo digital (Município de Hulha Negra).
Fonte: Embrapa Clima Temperado.

Realizou-se a atualização das Unidades de mapeamento de acordo com o Sistema de Classificação de Solos (SANTOS, 2006), sendo compatibilizada em tabela única, contendo todos os municípios, as legendas de solos antigas, legendas de geomorfologia, legenda atual e descrição das classes de solos (**Tabela 2**). Agregaram-se ao banco de dados, no SIG, as informações da nova legenda de classificação de solos e também as variáveis selecionadas para o zoneamento (profundidade efetiva, textura, drenagem, relevo, etc).

Tabela 2. Recorte da tabela de compatibilização de legenda dos solos dos municípios em acervo.

Município	Legenda Geomorfológica	Legenda Solos (notação)		Classes de Solos Atual
		Antiga	Atual	
....
Hulha Negra	2SRs	R	RL ₁	Neossolo Litólico Indiscriminado + Afloramentos Rochosos + Argissolo Amarelo Alítico + Gleissolo Háptico Indiscriminado
H. Negra	Dt	PVa	PAa ₁	Argissolo Amarelo Alítico + Argissolo Vermelho Distrófico + Argissolo Amarelo Distrófico + Neossolo Quartzarênico Hidromórfico + Gleissolo Háptico Indiscriminado
....

Após a edição de integração dos municípios em um mesmo arquivo, elaborou-se a legenda de acordo com a padronização de cores das classes de 1º nível (**Figura 9**). O esforço investido no resgate e estruturação dos mapas de solos em uma base georreferenciada possibilitou um zoneamento mais detalhado para região do Corede Sul. Os dados estruturados em um SIG sempre poderão ser refinados, corrigidos e atualizados, a partir de camadas de informações oriundas de outros mapas temáticos como por exemplo declividade, modelo digital de elevação, geologia, geomorfologia, ou de dados coletados a campo.

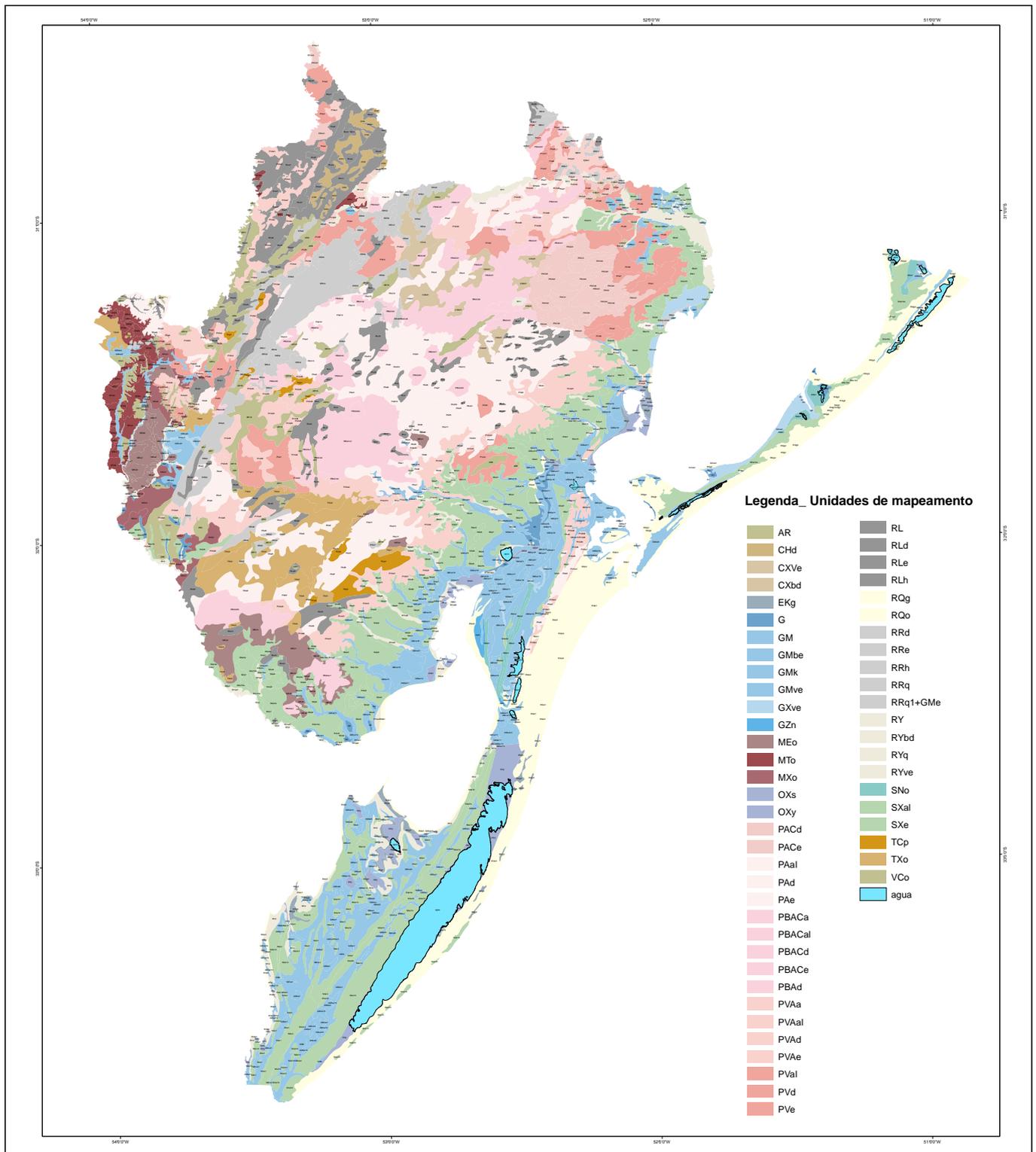


Figura 9. Mapa de solos –arquivo único – legenda atualizada (SANTOS, 2006).
Fonte: Embrapa Clima Temperado.

Características de algumas espécies de eucaliptos

Rosana Clara Victoria Higa
Marcos Silveira Wrege
Vilmar Luciano Mattei

As espécies do gênero *Eucalyptus* são originárias da Austrália e de algumas ilhas da Oceania, onde foram descritas mais de 600 espécies - subespécies e mais de oito subgêneros geneticamente isolados, que não se inter cruzam. Existe uma grande variedade de espécies, adaptadas a diferentes condições de solo e de clima, para uso em plantios ou em florestas naturais (PRYOR, 1976). Na Austrália, ocorrem em condições áridas até em condições de clima frio e úmido, apresentando-se em quase todas as formações vegetais do continente. Atualmente, um subgênero, o *Eucalyptus citriodora*, foi reclassificado à categoria de gênero e passou a ser denominado *Corymbia citriodora*.

O nome deriva das palavras gregas EU e CALYPTUS, que significa coberto, protegido, referindo-se ao opérculo do botão floral. São chamados na Austrália, entre outros nomes populares, de “gum trees”, por causa da goma (quino) exsudada pelo tronco das árvores mais velhas (PRYOR, 1976).

São espécies perenifólias e a maioria delas apresenta-se com porte arbóreo. *Eucalyptus regnans* atinge até quase 100 metros e é considerada a espécie folhosa mais alta em todo o mundo. Outras espécies crescem até 70 metros, como *Eucalyptus grandis*, uma das mais plantadas. Outras têm porte arbustivo, de 1,5 a 3 metros. A maioria das espécies, contudo, tem 10 a 50 metros.

Eucalyptus é o gênero mais plantado no mundo, devido à ampla capacidade de adaptação, crescimento rápido e produtividade, com diferentes finalidades. Apresenta grande plasticidade em relação às necessidades climáticas, adaptando-se nas mais variadas condições ambientais, muitas das quais diferentes das condições da região de ocorrência natural (BOOTH; PRYOR, 1991). Um dos principais fatores climáticos limitantes ao desenvolvimento para

um grande número de espécies do gênero é a ocorrência de geadas (HIGA et al., 2000; FRANKLIN; MESKIMEN, 1983).

A maioria das espécies do gênero *Eucalyptus* é sensível a geadas, sendo este o fator de impedimento ao desenvolvimento das espécies nas regiões de clima temperado. Um grande número pode sofrer danos com temperaturas do ar menores que 0°C e poucas sobrevivem com temperaturas inferiores a -15 °C ou -18 °C (TURNBULL; ELDRIDGE, 1983).

As melhores produtividades são atingidas nos climas subtropical e temperado quente, onde a temperatura máxima média do mês mais quente fica entre 24 e 32°C; temperatura mínima do mês mais frio entre 3 e 17°C e temperatura média anual entre 14 a 22°C (BOOTH; PRYOR, 1991; POYTON, 1979).

O Estado do Rio Grande do Sul apresenta condições edafoclimáticas bastante diferenciadas e, conseqüentemente, assim como outras regiões, com potencial diferenciado para o desenvolvimento de distintas espécies de *Eucalyptus*. A Metade Sul do Estado, um dos focos do presente trabalho, está situada no Escudo Sul-Rio-Grandense, com predominância de rochas ígneas do período Pré-Cambriano e, por isto mesmo, muito desgastadas pela erosão. A altitude, nesta região, não ultrapassa 560 metros. A Depressão Central é formada de rochas sedimentares, dando origem a um extenso corredor que liga o Oeste ao Leste, através de terrenos de baixa altitude. As temperaturas apresentam-se com grande variação sazonal, com verões quentes e invernos bastante rigorosos, com ocorrência de geadas. As temperaturas médias anuais do ar variam entre 15 e 18°C, com mínimas absolutas de até -10°C e máximas absolutas de 40°C. Em relação aos índices pluviométricos, o Estado apresenta-se com uma distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo o ano, em decorrência das massas de ar oceânicas que atingem o Estado, mas, em algumas regiões, devido à predominância de solos rasos, não raramente com menos de 20 cm de profundidade, bastam curtos períodos sem chuva para haver falta de água, principalmente na Metade Sul do Estado. Além disso, o volume total de chuvas é diferenciado. No Sul do Estado, os índices pluviométricos anuais situam-se entre 1.200 e 1.600 mm e, no Norte, o total está entre 1.600 e 1.900 mm, com maior volume concentrado no Norte e Noroeste, especialmente na encosta do Planalto, região que registra os maiores volumes de chuva (ATLAS ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2008).

Na maior parte do Estado, os florestamentos e os reflorestamentos são realizados com espécies do gênero *Eucalyptus*, principalmente com *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*, este último nas regiões mais frias. Uma das espécies cujo interesse vem aumentando é *Eucalyptus globulus*, por suas características favoráveis à produção de papel. Vale ressaltar que, principalmente plantações florestais para atender as empresas do setor de celulose tem usado clones selecionados, formados por híbridos entre espécies. As principais características das espécies consideradas no presente livro são descritas à continuação.

4.1. *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

Ocorre de forma contínua entre os paralelos 32°52'S, ao Sul de Nova Gales do Sul, até 26°11'S, ao Leste de Queensland, na Austrália. Ocorre também, mas de forma descontinuada, entre os paralelos 18°S até 16°S, principalmente no planalto de Atherton, região de maior altitude (BOLAND et al., 1984).

No centro de origem, Sul da Austrália, ocorre desde o nível do mar até 600 metros de altitude, sendo ausente, além de 100 km da costa. Ao Norte da Austrália é encontrado em altitudes entre 450 e 1250 metros, a uma distância de até 450 km da costa. A maior área plantada, incluindo os híbridos formados pelo *Eucalyptus grandis* está no Brasil, mas é também plantado em outros países da América, na África e na Ásia: Ceilão, Índia, África do Sul, Tanzânia, Uganda, Zâmbia, Zimbábue e nos Estados Unidos, principalmente nos Estados da Califórnia, Flórida e Havaí (ELDRIDGE et al., 1994).

4.2. *Eucalyptus dunnii* Maiden

A ocorrência de *Eucalyptus dunnii* (**Figura 11**) está concentrada em duas áreas distintas, uma situada 250 km a Oeste de Coffs Harbour, no Estado de Nova Gales do Sul e a outra ao Norte de McPherson Range e nas áreas de altitude ao Leste de Warwick, no Estado de Queensland. Estas regiões estão localizadas entre os paralelos 28°00' S a 30°15' S e altitude de 300 a 700 metros. O clima nestas áreas é do tipo Cfa (Koeppen), subtropical úmido com temperatura média máxima do mês mais quente entre 27°C a 30°C e a média das mínimas do mês mais frio entre 0°C e 3°C, podendo ocorrer entre 20 a 60 geadas por ano. Os índices pluviométricos anuais situam-se entre 1.000 mm a 1.750 mm, concentrado no verão, mas nenhum mês com menos de 40 mm. A espécie é encontrada principalmente nas partes mais baixas dos vales e encostas, mas também cresce nos topos de elevações em solos basálticos próximos à mata tropical da Austrália. Prefere solos úmidos e férteis, principalmente de origem basáltica, mas também cresce em solos derivados de rochas sedimentares, principalmente naqueles com boas condições de drenagem. *Eucalyptus dunnii* é uma espécie da floresta aberta alta e é comumente associado a *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus microcorys*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus dalrympleana* sub-espécie *heptantha* e *Casuarina torulosa* (BOLAND et al. 1984).

No Zimbábue, quando plantada a 1.300 metros de altitude, a espécie, apresenta-se com boas taxas de crescimento e forma, embora sofra danos severos em consequência de geadas. No entanto, os resultados de produção não são satisfatórios em altitudes maiores que 1.860 metros (POYTON, 1979). Na África do Sul, desenvolve-se bem em altitudes que variam de 1.200 a 1.400 metros, mas o desenvolvimento é abaixo da média a 1.600 metros, onde sofre danos consideráveis causados por geadas (SCHONAU; GARDENER, 1991). Na Argentina, apresenta potencial na região Sul de Entre Rios e nas regiões de ocorrência de geadas da Província de Misiones (MARCÓ; LOPÉZ, 1995; DALLA-

TEA; MARCÓ, 1994).

No Sul do Brasil, tem se destacado pelo rápido crescimento, uniformidade dos talhões, forma das árvores e resistência a geadas não muito severas. O plantio comercial da espécie é indicado para todo o Estado de Santa Catarina em altitudes inferiores a 1.000 metros, especialmente acima dos 500 metros, onde o inverno é fator limitante a outras espécies do gênero (EMBRAPA, 1986; GOLFARI et al., 1978). O plantio também é recomendado em regiões de ocorrência de geadas no Estado do Paraná (EMBRAPA, 1988).

Higa et al. (1997) confirmaram o potencial da espécie para a região Sul do Brasil. Resultados aos oito anos de idade, em Campo do Tenente - PR, apontaram a espécie, entre outras vinte do gênero, como uma das melhores em crescimento e resistência a geadas. Também Oliveira (1988) relata que *Eucalyptus dunnii*, junto com *Eucalyptus viminalis*, apresentaram crescimento melhor que outras trinta e uma espécies na região de Três Barras - SC.

A madeira de *Eucalyptus dunnii* é indicada para lenha, carvão, celulose, moirões, postes e madeira serrada. A densidade básica média da madeira é estimada entre 0,444 a 0,551 g cm⁻³ e possui 22 % de lignina (PEREIRA et al., 2000). Na Austrália, as indústrias madeireiras consideram a espécie de baixa qualidade para serraria, apresentando empenamento e retração durante a secagem (BENSON; HAGER, 1993).

4.3. *Eucalyptus globulus* Labill

A região de ocorrência natural de *Eucalyptus globulus* (Figura 10) fica entre os paralelos 38°26'S a 43°30'S, a principal é na parte oriental do Estado da Tasmânia, em populações distintas, ao longo da região costeira, até 20 km do litoral, com índices pluviométricos que podem ser tão baixos quanto 500 mm. No paralelo 43°S, estende-se até 60 km da costa, quando a altitude é superior a 500 metros e o índice pluviométrico anual é superior a 1000 mm. As árvores, nestas condições, podem atingir até 80 metros. Ocorre, ainda, em pequenas áreas no Extremo Sul do Estado de Victoria (ELDRIDGE et al., 1994).

Eucalyptus globulus é plantado em regiões de clima ameno, livres de ocorrência de geadas (temperaturas do ar menores que 6°C) e sem déficit hídrico severo, bastante utilizado em reflorestamentos no Chile, Portugal, Espanha e Austrália (ELDRIDGE et al., 1994). No Brasil, a espécie foi introduzida experimentalmente em outros Estados, com desenvolvimento insatisfatório, atribuído a condições climáticas desfavoráveis. No entanto, existe grande interesse pela espécie devido às características da madeira, como baixo teor de lignina, que confere grande rendimento na produção de celulose. A espécie tem sido usada na produção de híbridos, especialmente com *Eucalyptus grandis*, procurando combinar características de qualidade da madeira e crescimento (BISON et al., 2007). A madeira é amplamente utilizada na fabricação de papel e celulose.

Foto: Antônio Rioyey Higa

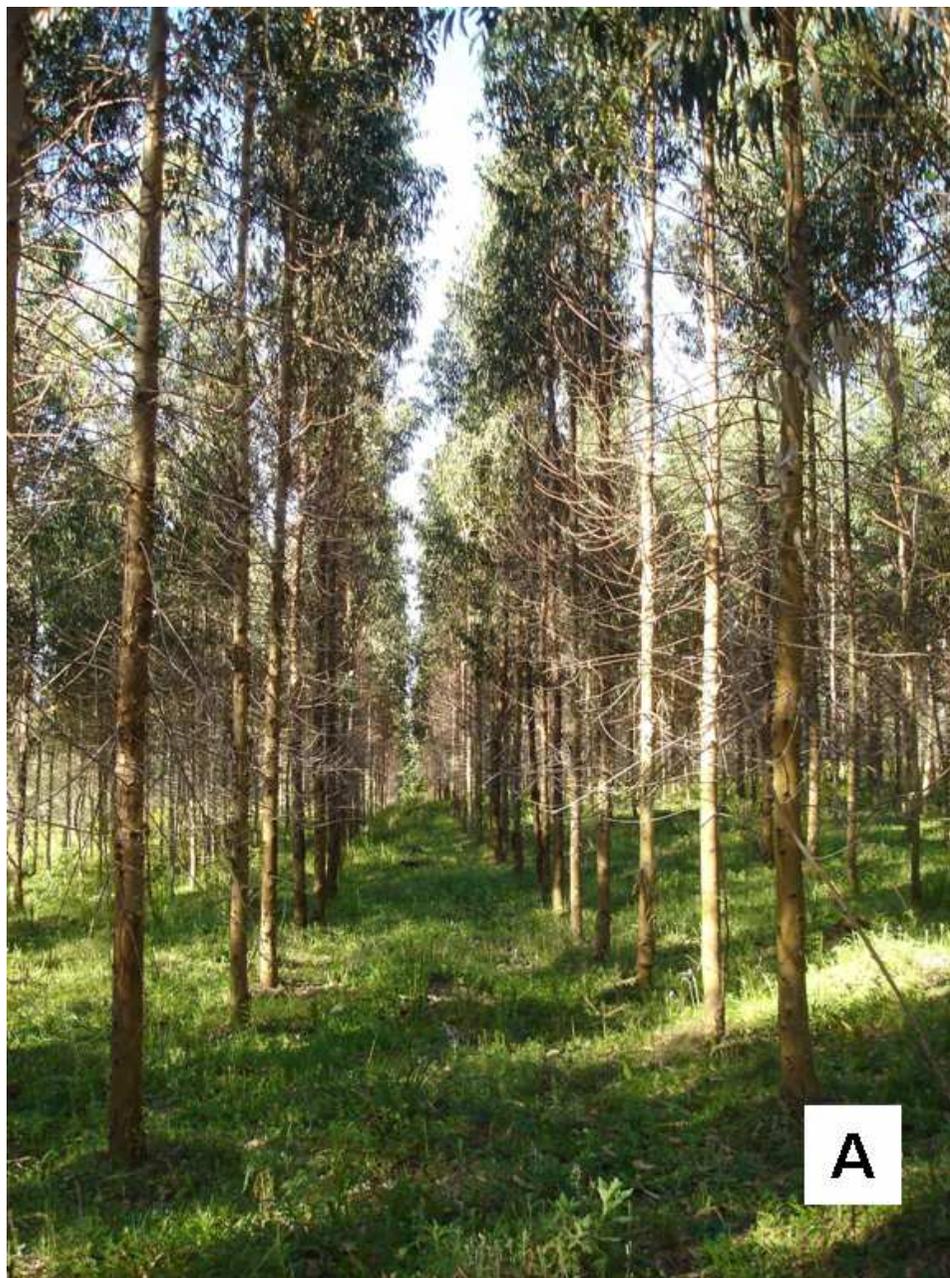


Foto: Rosana Clara Victoria Higa



Figura 10. (A) *Eucalyptus globulus*; (B) *Eucalyptus dunnii*.

Critérios para o zoneamento agroclimático do eucalipto

*Marcos Silveira Wrege
Rosana Clara Victoria Higa
Silvio Steinmetz
Flavio Gilberto Herter
Carlos Reisser Junior
Bernadete Radin
Ronaldo Matzenauer*

5.1. Exigências térmicas

No Estado do Rio Grande do Sul, a ocorrência de geada é um dos principais fatores de restrição à produção agrícola e florestal, principalmente às mudas de eucalipto, logo após serem plantadas no campo aberto, a partir de setembro. Mesmo nesta época, ainda ocorrem geadas tardias ou de primavera, que podem comprometer não apenas as mudas, mas também as árvores de baixo porte, com até dois anos. Além das geadas, a ocorrência de déficit hídrico também é um fator de risco importante para as plantas nesta fase, por não estarem suficientemente bem enraizadas. Com o passar do tempo e com o desenvolvimento das mudas, este risco vai perdendo a importância, sendo esta uma vantagem dos plantios florestais em relação às culturas anuais e até mesmo sobre as frutíferas. Porém, nos primeiros meses após o transplante, o eucalipto fica exposto à ocorrência de estiagens prolongadas, quando a distribuição das chuvas é irregular, podendo ser necessário o replante, em alguns casos, principalmente na Metade Sul do Estado, inclusive devido à presença de solos rasos nas regiões serranas e que, portanto, têm menor capacidade de armazenamento de água. Os problemas são mais evidentes no verão, quando o sistema solo-planta pode perder mais água por evapotranspiração.

As doenças causadas por fungos também prejudicam o desenvolvimento do eucalipto. Estas doenças têm sido mais comuns nas regiões de baixa altitude e de clima tropical (TURVEY, 1996).

Com base nestas informações, como critérios de riscos climáticos para o zoneamento agroclimático e edafoclimático, foram utilizados, o risco

de geadas e o risco de déficit hídrico, sendo o primeiro de maior restrição.

O risco de geada foi calculado utilizando a temperatura mínima do ar com dados obtidos das estações meteorológicas da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) e do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º Disme/INMET). Ambos os institutos perfazem uma rede de 32 estações meteorológicas, com dados climáticos diários e registro histórico superior a 30 anos, na maior parte das estações.

O zoneamento agroclimático foi feito para três espécies de eucalipto, selecionadas conforme a importância econômica e a potencialidade de desenvolvimento, de acordo com as características climáticas do Estado do Rio Grande do Sul. As espécies selecionadas foram: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus globulus*. No último caso, também foi considerada a suscetibilidade à ocorrência de temperaturas elevadas, considerando-se que *Eucalyptus globulus* não tolera calor. Os limites de desenvolvimento térmico utilizados para calcular os riscos desfavoráveis são apresentados a seguir:

Eucalyptus grandis:

- Temperatura mínima: < 3°C
- Temperatura máxima: < 8°C

Eucalyptus dunnii:

- Temperatura mínima: < 0°C
- Temperatura máxima: < 8°C

Eucalyptus globulus:

- Temperatura mínima: < 0°C
- Temperatura máxima: < 8°C e > 23°C

Os riscos de geada são maiores entre os meses de abril a outubro, conforme a região, devendo-se evitar o plantio nesta época. Dessa forma, o período de formação de mudas e a época de plantio devem ser ajustados, para que ambos não sejam afetados pelas geadas. Para que o transplante seja feito até o mês de dezembro, segundo se recomenda, a produção de mudas deve ser feita ainda no período de ocorrência de geadas e, portanto, cuidados especiais devem ser tomados no viveiro.

As geadas influenciam também os microclimas, principalmente as geadas tardias. Geralmente, as depressões permitem o acúmulo de ar frio nas partes mais baixas, aumentando os riscos nestas regiões. A face Norte dos terrenos recebe maior radiação do sol e, portanto, permanece mais tempo com temperaturas maiores, sujeitando-se à ocorrência de geadas de menor intensidade. Ainda existem os corredores de geada, formados por

deslocamento de ar frio, que podem danificar mudas de eucalipto. Evitando o plantio em regiões com microclima favorável à ocorrência de geadas, ou selecionando clones tolerantes para esses setores, como por exemplo o *Eucalyptus dunnii*, pode-se reduzir os riscos de perdas.

A espécie com maior incremento volumétrico é o *Eucalyptus grandis*, se plantado nas condições edafoclimáticas favoráveis (GOLFARI et al., 1978; POYTON, 1974; ELFRIDGE et al., 1994), isto é, com baixa ocorrência de geadas e de estiagens. Nas zonas sujeitas à ocorrência de geadas, pode-se optar pelo plantio de *Eucalyptus dunnii*, que tem menor incremento volumétrico, mas é mais tolerante. A vantagem do *Eucalyptus globulus* frente às duas outras espécies é o rendimento industrial, muito superior, mesmo com menor incremento volumétrico; no entanto, às restrições climáticas são bem distintas e limitadas, existindo poucas áreas no Brasil onde pode ser plantado. Pode-se afirmar que o Estado do Rio Grande do Sul é o único do país com zona favorável ao desenvolvimento desta espécie, mesmo assim com sérias restrições em termos territoriais, segundo apontado neste trabalho. Não suporta temperaturas muito elevadas e é também bastante suscetível à ocorrência de geadas. Além de seguir o zoneamento edafoclimático para o plantio desta espécie, é fundamental a escolha do local correto na propriedade, observando o microclima mais ajustado às suas necessidades.

5.2. Exigências hídricas

O risco de déficit hídrico também é importante na definição das regiões para plantio das espécies de eucalipto, embora o Estado do Rio Grande do Sul tenha um regime hídrico com distribuição bem regular das chuvas. Mesmo assim, existem períodos em que ocorrem estiagens e períodos de seca associados com a presença de solos rasos e arenosos, muito comuns na Metade Sul do Estado, que prejudicam principalmente as mudas de eucalipto. Os solos das regiões serranas, comumente rasos, têm baixa capacidade de armazenamento de água e, havendo um período relativamente grande entre inter-chuvas, existe a possibilidade de prejudicar o desenvolvimento das mudas, principalmente no verão. Outras regiões, como a Metade Sul do Estado, apresentam solos arenosos, com baixa capacidade de armazenamento de água, sujeitos à ocorrência de períodos de déficit hídrico. A Fronteira Oeste é uma das regiões com problemas deste tipo onde, em 8 de cada 10 anos, podem ocorrer déficits de até 20 mm de precipitações no verão.

Talvez mais importante que o índice pluviométrico, é a distribuição das chuvas, que deve ser a mais regular possível. Para a sobrevivência do eucalipto, o mesmo deve receber, pelo menos, 500 mm (litros/m²) acumulados em um ano (DARROW, 1994; CROMER et al., 1993). Mas, para atingir uma produtividade razoável, deve ter um índice pluviométrico superior a 1000 mm (JOVANOVIĆ; BOOTH, 2002; BOOTH; PRYOR, 1991; POYTON, 1979).

Foto: Rosana Clara Victoria Higa



Figura 11. Plantação clonal de *Eucalyptus grandis* após ocorrência de geada severa.

Critérios para o zoneamento edáfico do eucalipto

*Carlos Alberto Flores
Marilice Cordeiro Garrastazu
Vilmar Luciano Mattei*

Utilizaram-se os levantamentos de solos dos Municípios integrantes do Corede Sul, na escala aproximada de 1:100.000, segundo a compilação realizada por Cunha et al. (2006). Foram abordados vários aspectos relacionados aos solos ocorrentes na região, sendo classificados segundo um número mínimo de características edáficas importantes para o estabelecimento e desenvolvimento do eucalipto, tais como textura, profundidade efetiva, relevo, drenagem, fertilidade, pedregosidade e/ou rochosidade.

6.1. Textura

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

6.2. Profundidade efetiva

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

muito fraturado (basalto, arenito, etc.). São exemplos de impedimentos a presença de lençol freático, substrato rochoso, camadas compactadas, pedregosidade e fragipans. Consideraram-se as classes de profundidade efetiva recomendadas por Santos (2006) para levantamentos de solos com pequenas modificações (**Tabela 3**).

Tabela 3. Classes de profundidade efetiva do solo empregadas na avaliação da aptidão edáfica do eucalipto na Região do Corede Sul - RS.

Classes	Profundidade efetiva (cm)
Muito profundo	> 200
Profundo	100 - 200
Pouco profundo	50 - 100
Raso	< 50
Muito raso	< 25

6.3. Relevo

O relevo (**Tabela 4**) regula os movimentos da água ao longo da vertente, tanto na superfície como no interior do solo, agindo sobre seu regime hídrico e, conseqüentemente, sobre os fenômenos de percolação interna e ações correlatas – lixiviação de solutos, transporte de partículas coloidais em suspensão no meio líquido – e ainda naqueles fenômenos em que a presença da água é imprescindível – hidrólise, hidratação, dissolução.

Quanto mais íngreme for o terreno, menor a possibilidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, do fluxo interno dela, e maior a quantidade de água que escorre na superfície (enxurrada) e a energia cinética produzida, potencializando o processo erosivo. Solos situados em relevo íngreme geralmente são menos profundos e apresentam menor capacidade de retenção de água. Em uma mesma situação climática, as plantas podem se apresentar com desenvolvimento diferenciado, especialmente as espécies florestais. A informação de profundidade pode também fornecer subsídios ao emprego de implementos e máquinas agrícolas, nas diversas fases do cultivo, além de inferir a respeito da susceptibilidade à erosão. As classes de relevo utilizadas no zoneamento edáfico para eucalipto são as utilizadas por Santos (2006) em levantamentos de solos.

Tabela 4. Classes de relevo empregadas na avaliação da aptidão edáfica do eucalipto na Região do Corede Sul, RS.

Classes	Declividades (%)
Plano	0 – 3
Suave ondulado	3 – 8
Ondulado	8 – 20
Forte ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	> 75

6.4. Drenagem

O solo é constituído por partículas de vários tamanhos, desde as muito pequenas, como as de argila, até as de tamanho dessimétrico, como os cascalhos e as muito grandes como os matacões. O volume de espaços vazios existentes entre as partículas individuais e agregados constitui a porosidade do solo e, esta é que determina a capacidade dele de armazenar e transmitir líquidos e gases. Os dados de granulometria dos horizontes, juntamente com a cor destes, possibilitam inferir, respectivamente, sobre a porosidade do solo e sua permeabilidade. Poros grandes e médios são importantes, respectivamente, na aeração e infiltração de água e na condução desta através do solo; os de tamanho pequeno são importantes no armazenamento da água.

O principal problema referente à drenagem deficiente de alguns solos é a falta de oxigênio prejudicando a respiração das raízes. Quando é muito acentuada, devido à respiração anaeróbia podem ocorrer acúmulos de compostos, como etanol, etileno e metano, tóxicos quando presentes em teores elevados. O ferro e o manganês, uma vez reduzidos para as formas bivalentes, apresentam também toxicidade para as plantas. Este somatório de fenômenos limita o uso de solos com horizonte glei (Gleissolos) e/ou caracteres tais como: gleico, plíntico, abruptico sendo tanto mais limitantes quanto mais superficiais ocorrerem (KOZLOWSKI et al., 1991)

Na interpretação dos levantamentos de solos para fins do zoneamento edáfico do eucalipto (**Tabela 5**), são apresentadas classes de drenagem relacionadas com as classes definidas em Santos (2006). As classes de drenagem referem-se à quantidade e rapidez com que a água recebida pelo solo infiltra e escoar, afetando as condições hídricas do mesmo (duração do período em que permanece úmido ou encharcado).