

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

IGOR OLIVEIRA RIBEIRO

ZONEAMENTOS EDAFOCLIMÁTICOS DE *Hevea brasiliensis*, *Pinus
elliotti* var. *elliottii* E *Schizolobium amazonicum*, UTILIZANDO ANÁLISE
MULTICRITÉRIO.

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2011

IGOR OLIVEIRA RIBEIRO

ZONEAMENTOS EDAFOCLIMÁTICOS DE *Hevea brasiliensis*, *Pinus
elliotti* var. *elliottii* E *Schizolobium amazonicum*, UTILIZANDO ANÁLISE
MULTICRITÉRIO.

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal
do Espírito Santo, como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2011

IGOR OLIVEIRA RIBEIRO

ZONEAMENTOS EDAFOCLIMÁTICOS DE *Hevea brasiliensis*, *Pinus
elliottivar.elliottii* E *Schizolobiumamazonicum*, UTILIZANDO ANÁLISE
MULTICRITÉRIO.

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 14 de Junho de 2011.

COMISSÃO EXAMINADORA

Fabricia Benda de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira
Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG
Conselheiro

Wesley A. Campanharo
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

"Se soubesse que o mundo acabaria amanhã, eu
ainda hoje plantaria uma árvore."

(Martín Luther King)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Lúgia Maria Mourão Oliveira e Arivald Santos Ribeiro, pelo exemplo de vida, ensinamentos concebidos e por sempre estarem ao meu lado, acreditando e confiando em minha capacidade. Mãe e Pai, muito obrigado pela confiança, apoio e compreensão, sem vocês não teria conquistado essa vitória.

As minhas irmãs, Ingrid Oliveira Ribeiro e Joice Santos Ribeiro, pela amizade, confiança e momentos de muita alegria em minha vida, amo vocês.

Aos meus amigos pela força, ótima convivência, pelos conhecimentos compartilhados e incentivos, os meus sinceros agradecimentos e quero dizer que estarei sempre junto de vocês.

A minha orientadora, Professora Fabricia Benda de Oliveira, pela convivência agradável, apoio, paciência, compreensão e pelos valiosos ensinamentos a mim concedidos durante este trabalho e vida acadêmica. Muito obrigado professora pela confiança e amizade que construímos ao longo destes anos.

Aos meus familiares e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha aprendizagem e conhecimentos sobre a vida que foram de grande valia para mais esta vitória. Agradeço a todos.

À pessoa responsável por me direcionar neste caminho da Engenharia Florestal, se não fosse por ele não estaria aqui hoje, ao meu primo e amigo Carlos Alberto Martinelli de Souza, Sassá (*in memoriam*). Que Deus o tenha!

RESUMO

Com o desenvolvimento da indústria no setor florestal, há a necessidade de se buscar por espécies florestais que acompanhem as tendências de mercado e, para isso, tem sido realizados estudos mais detalhados a fim de aumentar a base de informações sobre estas espécies. Este trabalho apresenta a metodologia utilizada para a determinação de áreas para implantação das culturas florestais *Hevea brasiliensis*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Schizolobium amazonicum*, no Estado do Espírito Santo, com o uso de análise multicritério e sistemas de informações geográficas. Fez-se uma ponderação dos critérios de acordo com o valor de importância, determinou-se as funções de pertinência *fuzzy* para cada critério, e uma análise final utilizando as variáveis em estudo. A partir da análise multicritério observou-se que o Estado apresenta áreas com aptidão edafoclimática para todas as espécies, sendo as áreas aptas ao plantio do pinus mais restrita quando comparada as de seringueira e paricá. Também, observou-se que as áreas aptas ao plantio da seringueira e paricá são semelhantes, por estas espécies possuírem faixas de exigências climáticas próximas. Concluiu-se que a lógica *fuzzy* permite obter resultados mais próximos a realidade natural, tornando o processo de conhecimento sobre as áreas aptas as culturas mais confiável e menos sujeito a erros.

Palavras-chave: fatores climáticos, critérios restritivos, lógica *fuzzy*.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SIGLAS	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo geral	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Sistemas de Informações Geográficas.....	4
2.2 Zoneamento edafoclimático	5
2.3 Análise multicritério	6
2.3.1 Padronização e análise dos critérios	7
2.3.2 Fatores utilizados na elaboração do zoneamento edafoclimático	8
2.3.2.1 Evapotranspiração.....	9
2.3.2.2 Deficiência hídrica e Excedente hídrico	9
2.3.2.3 Temperatura do ar	10
2.3.2.4 Precipitação	10
2.3.2.5 Solos do Estado do Espírito Santo	10
2.3.3 Critérios restritivos	12
2.4 Avaliação de pesos para os critérios	13
2.5 Combinação Linear Ponderada (WLC)	14
2.6 Espécies florestais	14
2.6.1 Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)	14
2.6.2 Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i>)	15
2.6.3 Pinus (<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i>)	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Caracterização da área de estudo	17
3.2 Materiais utilizados	18

3.2.1 Arquivos vetoriais.....	18
3.2.2 Softwares	18
3.3 Metodologia	18
3.4 Dados meteorológicos utilizados no estudo.....	19
3.5 Espacialização dos dados climáticos.....	21
3.6 Critérios restritivos	22
3.7 Fatores.....	22
3.8 Aptidão agrícola das espécies em estudo	23
3.9 Determinação dos pesos dos critérios	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1 Reclassificação dos fatores climáticos.....	28
4.2 Ponderação dos fatores.....	31
4.2.1 Justificativas das ponderações adotadas.....	32
4.3 Ponderação das variáveis.....	33
4.4 Zoneamento edafoclimático das espécies aplicando MCE.....	34
4.4.1 Seringueira.....	35
4.4.2 Paricá.....	37
4.4.3 Pinus	39
5. CONCLUSÕES	41
6. REFERÊNCIAS.....	42
ANEXO 1.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Largura mínima de APP a ser cumprida ao longo de qualquer curso d'água de acordo com a legislação.....	12
Tabela 2. Faixa de aptidão climática das espécies	24
Tabela 3. Pontos de controle das funções <i>fuzzy</i> dos fatores, para a Seringueira.....	24
Tabela 4. Pontos de controle das funções <i>fuzzy</i> dos fatores, para o Paricá	24
Tabela 5. Pontos de controle das funções <i>fuzzy</i> dos fatores, para o Pinus	25
Tabela 6. Normalização das classes de solo para cada espécie	26
Tabela 7. Escala de Saaty para comparadores.....	27
Tabela 8. Pesos estatísticos dos fatores.....	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Interpoladores com melhor desempenho para cada variável.....	21
Quadro 2 - Descrição das restrições adotadas	22
Quadro 3 - Fatores, funções <i>fuzzy</i> adotadas.....	23
Quadro 4 - Exigências edáficas das espécies.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> : Sigmoidal crescente (1 A), Sigmoidal decrescente (1 B), Sigmoidal crescente-decrescente (1 C) e Linear decrescente (1 D).....	8
Figura 2- Localização do Estado do Espírito Santo.....	17
Figura 3 - Distribuição espacial dos pontos de medição dos dados climáticos localizadas sobre o Estado do Espírito Santo e Estados vizinhos	20
Figura 4 - Reclassificação <i>fuzzy</i> para os fatores de acordo com as exigências das espécies seringueira e paricá.....	29
Figura 5 - Reclassificação <i>fuzzy</i> para os fatores de acordo com as exigências da espécie pinus	30
Figura 6 - Pesos e razão de consistência dos dados	31
Figura 7 - Função sigmoidal simétrica.....	33
Figura 8 - Função sigmoidal monotônica decrescente	33
Figura 9 - Função sigmoidal monotônica crescente	34
Figura 10 - Função sigmoidal monotônica crescente	34
Figura 11 - Zoneamento edafoclimático da seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>) para o Estado do Espírito Santo.....	36
Figura 12 - Zoneamento edafoclimático do paricá (<i>Schizolobiumamazonicum</i>) para o Estado do Espírito Santo.....	38
Figura 13 - Zoneamento edafoclimático do pinus (<i>Pinus elliottivar.elliottii</i>) para o Estado do Espírito Santo.....	40

LISTA DE SIGLAS

ANA — Agência Nacional de Águas.

EMBRAPA — Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

GEOBASES — Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo.

IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INCAPER — Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural.

INMET — Instituto Nacional de Meteorologia.

PIEBOES — Programa Integrado de Expansão da Borracha no Espírito Santo.

SEAG — Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca.

SIG — Sistemas de Informações Geográficas.

1. INTRODUÇÃO

Na sociedade atual a preocupação em realizar atividades florestais de alta sustentabilidade é cada vez maior, principalmente num país como o Brasil que possui uma enorme variação de condições edafoclimáticas que interferem na implantação e manejo de culturas florestais (DIAS et al., 2010).

Com o desenvolvimento do setor industrial brasileiro nos ramos: papel e celulose, borracha, serrados e painéis de madeira, ocorreu à necessidade de maior produção de matéria-prima (CASTRO, 2008). Neste contexto, é crescente a busca por espécies de potencial florestal que acompanhem as tendências de mercado, maiores produtividades e qualidade de sítios, entre outros aspectos. Desta forma, vêm se buscando estudos mais detalhados a fim de aumentar o volume de variáveis das bases de informações econômicas, ecológicas e silviculturais (NAPPO et al, 2005).

Com isso a coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos naturais, condições climáticas, de solo e relevo é um passo decisivo na identificação de locais aptos, ou seja, favoráveis para a implantação de povoamentos florestais de forma compatível com a legislação ambiental em vigor.

Neste sentido, a aplicação dos sistemas de informações geográficas (SIG) é de grande utilidade no planejamento e manejo ambiental em função da necessidade constante de monitoramento destas atividades (PAIVA et al., 2007).

No Estado do Espírito Santo as espécies seringueira (*Hevea brasiliensis*), pinus (*Pinus elliottii* var. *elliottii*) e paricá (*Schizolobium amazonicum*) apresentam grande potencial para suprir essas necessidades do mercado e vêm recebendo incentivos, por parte do governo estadual, para a sua expansão.

A seringueira fornece a matéria prima para a produção da borracha natural, e segundo Macedo et al. (2002), a produção desta não acompanhou o crescimento do seu consumo, tanto no mercado nacional como internacional, o que provocou uma estabilização da produção mundial e um aumento do preço, o que proporciona boas perspectivas para este mercado no Brasil. O Estado ocupa o quarto lugar no cultivo da seringueira em relação ao país, sendo uma cultura de destaque e que tem recebido a atenção do governo estadual.

O pinus é uma das essências florestais mais plantadas na região Sul e Sudeste do Brasil. Existem diversos usos para a madeira do pinus como a construção de barcos, produção de celulose de fibra longa e entre outros, mas o seu grande potencial está na produção de resina (CARPANEZZI et al., 1986).

O paricá possui um rápido crescimento, tem capacidade de se adaptar às diversas condições edafoclimáticas, tem madeira adequada para múltiplos usos (fabricação de móveis, laminados, compensado, etc.), o que o tornou uma das espécies nativas mais utilizadas em reflorestamento no país (LUNZ et al., 2010).

Do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise multicritériopara o Estado do Espírito Santo, com padronização *fuzzy*, para as espécies: *Hevea brasiliensis* (seringueira), *Pinus elliottii* (pinus) e *Schizolobiumamazonicum* (paricá), utilizando parâmetros climáticos e edáficos.

1.1 O problema e sua importância

Com o desenvolvimento da indústria nos diversos setores florestais, houve um aumento da busca por espécies florestais com grande potencial econômico a fim de suprir as necessidades de madeira em quantidade e qualidade.

No início do século XX o mercado de borracha natural brasileiro entrou em declínio devido ao desenvolvimento deste mercado no Sudeste da Ásia. Atualmente no Brasil, diversos governos estaduais tem incentivado o aumento do plantio da seringueira e da extração do látex devido à necessidade de borracha natural no mercado nacional e internacional (ROSSMANN & GAMEIRO, 2006). O Programa Integrado de Expansão da Borracha no Espírito Santo (Pieboes) busca aumentar para 75 mil hectares plantados de seringueira até o ano de 2025 (SEAG/ES, 2006).

Na busca por matéria-prima para abastecimento das indústrias madeireiras devido à demanda do mercado interno e externo, as empresas madeireiras têm buscado espécies de rápido crescimento, destacando-se entre estas o paricá. Devido as suas diversas opções de uso, bem como a elevada cotação no mercado interno e externo da sua madeira, esta despontou como a terceira espécie mais plantada no Brasil (AMATA, 2009).

Em relação ao Pinus, este tem perdido espaço no uso para produção de celulose de fibras longas devido ao alto teor de resina e ao alto custo do processo

de produção industrial (EMBRAPA, 2005). Porém, a resina produzida é bastante explorada na indústria naval e como matéria-prima nos diversos setores da indústria brasileira, como na fabricação de perfumes, tintas, móveis, escoras e outros (COELHO, 1989).

Neste contexto, o zoneamento edafoclimático é uma importante ferramenta no auxílio à otimização dos investimentos, organização e planejamento da agricultura e recursos naturais (SEDIYAMA et al., 2001).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Definir áreas com potencial para implantação das culturas de *Hevea brasiliensis*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Schizolobium amazonicum*, no Estado do Espírito Santo, por meio de dados edafoclimáticos, utilizando análise multicritério com padronização *fuzzy*.

1.2.2 Objetivos específicos

- Reclassificar os fatores climatológicos espacializados, temperatura do ar, precipitação, evapotranspiração potencial, deficiência hídrica, para o Estado do Espírito Santo, por meio de inferência *fuzzy*;
 - Determinar os fatores que interferem nas culturas em estudo;
 - Determinar as funções de pertinência *fuzzy* que se ajustam melhor para os diferentes fatores edafoclimáticos anuais;
 - Determinar as restrições às culturas estudadas;
 - Ponderar os fatores;
 - Análise multicritério dos mapas temáticos para escolha de áreas favoráveis às culturas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema de Informações Geográficas

Em sociedades organizadas, a observação e representação da superfície da Terra, bem como a coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos ambientais são atividades de fundamental importância desde a antiguidade. No entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel até a década de 60, quando surgiu o primeiro Sistema de Informações Geográficas (SIG), no Canadá, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais (CÂMARA e DAVIS, 2002).

Com o avanço da informática, o SIG é uma ferramenta cada vez mais comum, sendo aplicada em diversas áreas uma vez que possibilita armazenar, analisar e manipular geometrias e atributos de dados espaciais georreferenciados com o objetivo de auxiliar nas tomadas de decisões (CALIJURI e LORENTZ, 2003).

Segundo Ferreira (1997), o sistema de informação geográfica é considerado um instrumento capaz de indicar respostas em um curto espaço de tempo sobre diversas questões de planejamento urbano e rural, através do mapeamento e levantamento dos recursos renováveis, identificação das atividades que contribuem para as mudanças no meio ambiente e auxiliando no manejo e planejamento dos recursos naturais em determinadas regiões.

A capacidade do SIG de realizar análises complexas através da integração de um conjunto de dados georreferenciados, proporciona vantagens do ponto de vista qualitativo e quantitativo (BENDA, 2008). Segundo Burrough (1993), a capacidade de gerar respostas necessárias a um planejamento a partir da transformação e combinação de dados espaciais e não espaciais é a principal característica de um sistema de informações geográficas.

Num país de dimensão continental como o Brasil, que possui grande variabilidade climatológica e com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o SIG apresenta um enorme potencial (CÂMARA e DAVIS, 2002).

Neste contexto, o SIG apresenta grande aplicação no campo do planejamento em manejo ambiental, em função da necessidade constante de monitoramento nestas atividades (PAIVA et al., 2007).

Em agrometeorologia, uma das principais aplicações de um SIG é a de transformar dados numéricos, obtidos em pontos na superfície, em mapas interpolados a partir das informações originais, obtendo valores estimados para todas as localidades e gerando informações a respeito do comportamento espacial da variável (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

Portanto, a aplicação do SIG para a elaboração de zoneamento edafoclimático pode se revelar de grande utilidade, proporcionando resultados mais satisfatórios e gerando informações georreferenciadas na definição de áreas aptas ao cultivo de determinadas culturas, através da realização de procedimentos diversos a partir de dados coletados (SANTOS et al., 2000).

2.2 Zoneamento Edafoclimático

O zoneamento climático consiste em uma tarefa, baseada no levantamento dos fatores que influenciam a aptidão de culturas, que delimita regiões climaticamente homogêneas, além de identificar áreas de condições homogêneas de atividades e dos recursos naturais nela existente que sejam propícias ao cultivo de determinada cultura (CECÍLIO et al., 2003). Além disso, é uma ferramenta de planejamento e ação que possui o objetivo de reduzir o risco de perdas na agricultura em razão do desequilíbrio climático (REBOUÇAS, 2010).

Atualmente, na silvicultura globalizada, a busca por metodologias que visam melhorar a produção das culturas, em qualidade e quantidade, bem como a redução dos custos e dos riscos de insucesso na implantação das culturas, aumento dos lucros e a sustentabilidade, são constantes o que proporciona uma maior adequabilidade a realidade.

O zoneamento exige informações climáticas baseadas nos parâmetros do balanço hídrico climatológico, destacando-se a precipitação pluvial, a temperatura do ar e, nas exigências climáticas da cultura (EMBRAPA, 2007).

Segundo Pereira et al. (2002), a elaboração de um zoneamento agroclimático para determinada cultura depende de algumas etapas fundamentais, entre elas o

estudo das condições climáticas da região estudada com confecção de mapas climáticos, levantamento das faixas de aptidão climática da cultura a ser zoneada e a análise final com a confecção de mapas finais de zoneamento.

Diante disto, o zoneamento edafoclimático constitui uma tarefa de fundamental importância na organização dos programas de trabalho e suporte do planejamento da implantação de culturas, porém devido a grande variabilidade temporal e espacial dos elementos climáticos, segundo Sedyama et al. (2001) o zoneamento não é definitivo e deve ser atualizado constantemente incorporando novas metodologias de estudo e informações sobre as culturas..

2.3 Análise multicritério

O planejamento e organização de projetos ambientais trabalham com muitas variáveis que atuam interativamente e que devem ser analisadas de forma integrada. A Análise Multicritério combina critérios, que podem ser: fatores e restrições. Um fator é um critério relacionado ao grau de adequabilidade de uma atividade ou objetivo. Por outro lado, as restrições são limitadores das atividades em estudo. Com isso, a partir das medições e avaliações desses critérios são tomadas as devidas decisões (BENDA, 2008).

Os graus de adequabilidade de múltiplos critérios para determinado objetivo são obtidos a partir de regras de decisão, que são procedimentos e formas para a escolha dos critérios e de como estes serão combinados. (EASTMAN, 1997).

Muitos dos zoneamentos agroclimáticos para diferentes espécies são desenvolvidos utilizando a modelagem baseada na lógica booleana que é de fácil aplicação, mas na prática é considerada inapropriada, pois nessa classificação são obtidos resultados binários 0 ou 1, ou seja, falso ou verdadeiro (RIBEIRO et al, 2011).

Sabemos que é impossível determinar as fronteiras das unidades dos mapas de forma exata, o que reflete a existência de mudanças abruptas na paisagem, levando a áreas com características semelhantes colocadas em lados diferentes nas fronteiras de classificação (BURROUGH, 1989).

Zadeh (1965) propôs a modelagem *fuzzy* que possui uma caracterização mais ampla permitindo a codificação de conhecimentos inexatos, numa forma que se

aproxima muito aos processos de decisão, ou seja, funciona de forma não rígida. Essa pertinência se dá por uma transição gradual variando de 0 a 255 (ou 0 a 1), permitindo um aumento contínuo da adequabilidade, numa escala de mínima a máxima aptidão.

Com isso, pode-se observar que esta modelagem mostra resultados mais próximos da realidade natural, tornando o processo de conhecimento sobre as áreas aptas a uma determinada cultura mais confiável e menos sujeito a erros.

2.3.1 Padronização e análise dos critérios

O processo de normalização dos critérios consiste na padronização dos valores originais dos dados em uma mesma escala de valores, ou seja, escaloná-los em um mesmo padrão a fim de compatibilizá-los (BENDA, 2008).

Para a normalização dos critérios são utilizadas algumas funções de pertinência *fuzzy*, funções estas que serão selecionadas de forma que melhor se adequem em relação aos parâmetros em estudo. Entre elas, as mais utilizadas são: Sigmoidal, J-Shaped, Linear e Definida pelo usuário (RAMOS E MENDES, 2001).

Algumas dessas funções são mostradas na Figura 1 abaixo.

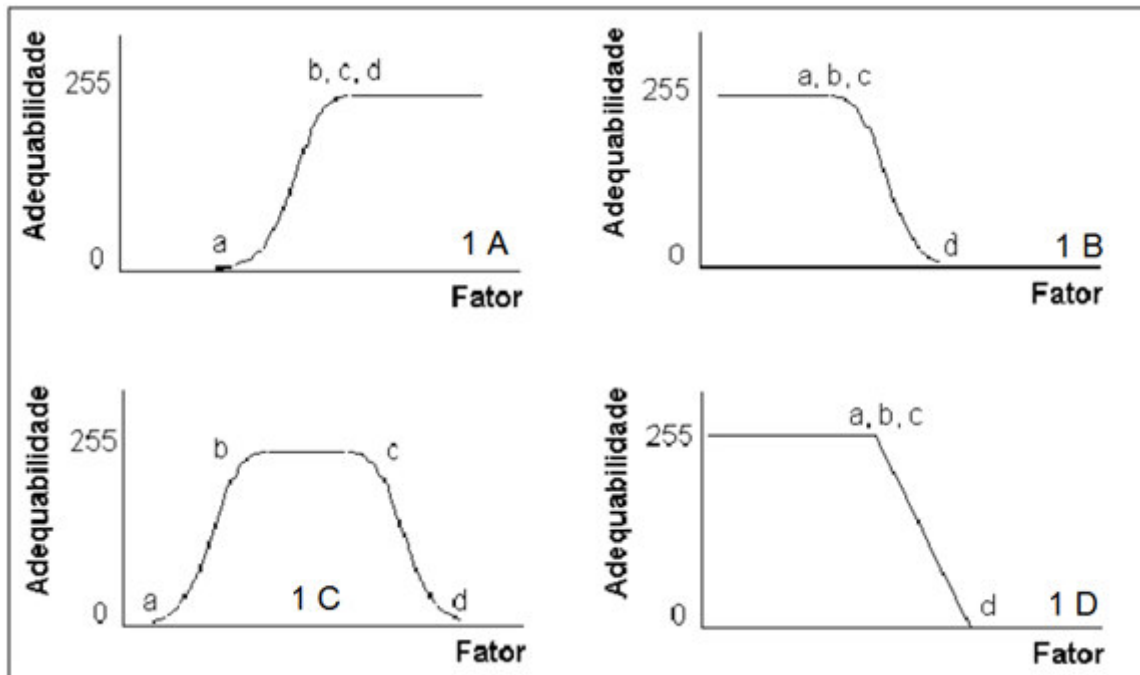


Figura 1 —Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy*: Sigmoidal crescente (1 A), Sigmoidal decrescente (1 B), Sigmoidal crescente-decrescente (1 C) e Linear decrescente (1 D).

Fonte: adaptado de Benda, 2008.

Os critérios restritivos foram mantidos no seu caráter booleano rígido [0 - 1]. Os fatores foram padronizados numa escala contínua de adequabilidade de 0 (menos adequada) a 255 (mais adequada), utilizando-se funções de pertinência *fuzzy*.

2.3.2 Fatores utilizados na elaboração do zoneamento edafoclimático

Segundo Camargo et al. (2003), para definir a aptidão do meio físico de uma região para determinada cultura dois fatores são decisivos: o climático, que geralmente é o primeiro a ser definido e, posteriormente, a pedologia com maior variabilidade espacial.

De maneira geral, a temperatura do ar e a deficiência hídrica são utilizadas como as principais exigências climáticas de uma cultura num zoneamento agroclimático para sua implantação em determinada região (ANDRADE JUNIOR et al., 2001).

O fator hídrico, também, é de fundamental importância na seleção de áreas aptas ao cultivo de determinadas culturas. Neste contexto, a determinação da

disponibilidade hídrica de uma região se faz necessária e, para isso, é realizado o balanço hídrico climatológico, que permite estimar parâmetros importantes como a deficiência hídrica do solo, excedente hídrico, armazenamento de água no solo, evapotranspiração potencial e real (CAMARGO, 1971).

2.3.2.1 Evapotranspiração

A evapotranspiração é a união de dois processos: evaporação, que consiste no transporte da água das superfícies líquidas (rios, lagos, etc.) para a atmosfera em forma de vapor; transpiração, que envolve a passagem da água retirada do solo pelas plantas para a atmosfera, através dos estômatos presentes nas folhas. (COLLISCHONN e TASSI, 2011).

Para um determinado tipo de cobertura vegetal, em crescimento ativo e sem restrição hídrica, ou seja, em condições ideais de umidade do solo a taxa de evapotranspiração que ocorre é chamada de Evapotranspiração Potencial, enquanto a taxa que ocorre para condições reais de umidade do solo, com ou sem restrição hídrica, é a Evapotranspiração Real. Portanto, a evapotranspiração real é sempre igual ou inferior à evapotranspiração potencial (COLLISCHONN e TASSI, 2011).

2.3.2.2 Deficiência hídrica e Excedente hídrico

A partir do cálculo do balanço hídrico é possível obter as deficiências hídricas, que correspondem à água que deixa de ser evapotranspirada, decorrente da resistência encontrada pela vegetação para extrair a água do solo, à medida que vai secando (CAMARGO et al., 2003).

Os excedentes hídricos, por outro lado, ocorrem quando o solo está com a capacidade máxima de retenção hídrica na zona das raízes, ou seja, quando o solo está em capacidade de campo. Com isso, observa-se que consiste no saldo positivo entre a precipitação e a evapotranspiração sendo de grande importância para o abastecimento do lençol freático através da drenagem profunda. (CAMARGO et al., 2003).

2.3.2.3 Temperatura do ar

A temperatura do ar representa o fator térmico, sendo utilizado como exigência climática na maioria dos zoneamentos agroclimáticos de uma cultura em uma determinada região (ASSAD et al., 2001).

A temperatura é um dos elementos do clima que mais condiciona o desenvolvimento da planta, tendo uma influência indireta sobre o seu crescimento e um efeito direto sobre a mesma nos processos regulatórios, como fotossíntese e evapotranspiração (LARCHER, 2004).

No entanto, para a obtenção desta variável existe uma grande dificuldade devido à má distribuição e ao reduzido número de estações meteorológicas. Diante disso, em locais onde não existem tais dados estes são obtidos através de equações de regressão (MEDEIROS et al, 2005).

Segundo Castro (2008), os dados de temperatura do ar, bem como os dados de precipitação, é um dos elementos fundamentais para a formulação do balanço hídrico de uma região e a falta deste limita os estudos de zoneamentos agroclimáticos.

2.3.2.4 Precipitação

Precipitação pluviométrica consiste no processo de entrada dos recursos hídricos gravitacionalmente na superfície terrestre pela condensação da água presente na atmosfera (OLIVEIRA, 2008).

Este fator influencia em determinadas atividades no preparo da área a ser cultivada, com uma estimativa de água necessária as culturas e no dimensionamento dos sistemas de irrigação (RICKLI et al., 2008).

A precipitação é um fator de fundamental importância para o planejamento agrícola, ou seja, é um dos fatores que podem determinar o sucesso ou fracasso de uma produção (LEITE et al, 2004). Tem grande influência sobre o rendimento das mais diversas culturas, por isso, conhecer o seu volume, distribuição espacial e temporal ao longo do ano é de fundamental importância, uma vez que influenciam em determinados processos produtivos agrícolas (OLIVEIRA, 2010).

2.3.2.5 Solos do Estado Espírito Santo

O Estado do Espírito Santo, segundo mapa de solos de IBGE (2005), em toda sua extensão possui diferentes classes pedológicas, sendo elas: afloramentos rochosos, argissolo amarelo, argissolo vermelho, argissolo vermelho-amarelo,

cambissoloháplico, gleissoloháplico, latossolo amarelo, latossolo vermelho-amarelo e neossoloquartzarênico.

As classes pedológicas presentes no Estado do Espírito Santo possuem determinadas características, como é mostrado abaixo.

- **Afloramentos Rochosos:** os afloramentos de rochas não são classificados como classes de solo, ou seja, são materiais originais e não formações pedológicas. Isto se deve por representarem terrenos com exposições de diferentes rochas, desde mais brandas até fragmentos rochosos (NASCIMENTO et al., 2006);

De acordo com EMBRAPA (2009):

- **Argissolo amarelo:** são solos minerais, com horizonte B textural (Bt) de coloração amarelada. Em geral, ocorrem em relevo suave, profundos e bem drenados, com argila de alta atividade conjugada com saturação por bases baixa ou baixa atividade;

- **Argissolo vermelho:** essa classe possui horizonte B textural de coloração avermelhada. Encontrados em áreas montanhosas e apresentam boa fertilidade natural;

- **Argissolo vermelho-amarelo:** nesta classe o horizonte B textural possui coloração vermelho-amarelada ou amarelo-avermelhada. Possuem textura média/argilosa e são bem drenados, podendo ser encontrado em regiões de relevo suave a montanhoso e associados a latossolos;

- **CambissoloHáplico:** solos rasos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente (Bi), o que torna suas características influenciadas pelo material de origem. Horizonte A mais claro do que o horizonte A do solo húmico. Alto teor de silte e de moderadamente a bem drenados, baixo teor de saturação por bases no horizonte B e alta CTC no horizonte A. Ocorre em locais de declive acentuado e baixo potencial de fertilidade;

- **GleissoloHáplico:** constituídos por material mineral, hidromórficos, com horizonte glei abaixo de horizonte A ou E, e coloração esverdeada ou azulada devido as alterações ocorridas com os óxidos de ferro do solo em condições de encharcamento. Solos mal drenados, podendo apresentar argila de baixa ou alta atividade, e teores de alumínio elevado. Geralmente localizados em regiões de baixadas ou de drenagem e com baixa fertilidade;

• **Latossolo Amarelo:** nesta classe, os solos são constituídos por minerais, muito intemperizados, não hidromórficos, profundos e com horizonte B espesso. Coloração amarelada devido ao baixo teor de Fe_2O_3 , alta saturação de alumínio, apresentando estrutura granular pequena e possuem baixa permeabilidade. Podem ser encontrados, preferencialmente, em faixas litorâneas com baixa fertilidade;

• **Latossolo Vermelho-amarelo:** solos que apresentam coloração vermelho-amarelada ou amarelo-avermelhada, apresentando horizonte Blatossólico (Bw) e de grande expressão geográfica. Apresenta horizonte superficial bem desenvolvido e é rico em matéria orgânica, possuem baixa fertilidade sendo bastante utilizado para pastagens;

• **Neossolo Quartzarênico:** são solos minerais pouco desenvolvidos, mal drenados, rasos e com horizonte A sobre um horizonte C. Não há contato lítico dentro de 50 cm de profundidade. Textura arenosa e são essencialmente quartzosos, tendo nas frações de areia cerca de 95% ou mais de quartzo, e praticamente ausência de minerais primários.

2.3.3 Critérios restritivos

Dentre os parâmetros de restrição que serão utilizados na elaboração do zoneamento edafoclimático temos, segundo a legislação brasileira:

• **Hidrografia**(BRASIL, 1965): é considerada área de preservação permanente (APP) as áreas ao longo de qualquer curso d'água nas seguintes situações, mostradas na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 -Largura mínima de APP a ser cumprida ao longo de qualquer curso d'água de acordo com a legislação.

Largura do curso d'água (m)	APP (largura mínima em m)
< 10	30
10 a 50	50
50 a 200	100
200 a 600	200
> 600	500

Fonte: adaptado de BRASIL (1965) pelo autor.

No entanto, para este estudo foi considerado apenas que os cursos d'água possuem largura máxima de 10 metros, devido ao fato de que a representação vetorial deste dado é feita por linhas, que de acordo com a escala que foi adotada, todos os cursos d'água possuem largura máxima de 10 metros. Com isso, as áreas de preservação permanente possuem largura mínima de 30 metros.

No caso de nascentes, em qualquer situação topográfica, a área de APP deve ter um raio mínimo de 50 metros de largura.

- **Estradas**(BRASIL, 1979): Em zonas urbanas, suburbanas, de expansão urbana ou rural é proibida a construção de qualquer natureza em faixa de reserva de 15 metros, adjacente a cada lado da faixa de domínio da rodovia.

- **Topo de morros**(BRASIL, 1965): é considerada área de preservação permanente áreas de topo de morros, montes, montanhas, serras e encostas com declividade superior a 45°.

2.4 Avaliação de pesos para os critérios

Numa análise multicritério é necessário atribuir pesos a cada critério, a fim de quantificar a importância de cada um no processo de decisão (BENDA, 2008). Porém, a determinação deste grau de importância depende da experiência do especialista, sendo uma limitação desta análise (COSTA et al., 2005).

Para a definição dos pesos, Ramos (2000) apresenta alguns métodos baseados em: ordenamentos de critérios; escalas de pontos; distribuição de pontos; comparação de critérios par-a-par.

Segundo Costa et al. (2005), na análise multicritério os critérios booleanos podem ser incluídos juntamente com os fatores, o que contribui para a análise.

Com isso, neste trabalho utilizou-se o método baseado na comparação de pares, proposto por Saaty (1977). Determina, através de níveis hierárquicos dos critérios, um valor que priorizará um fator em relação a outro (GOMES et al., 2004). E, desenvolve um conjunto de pesos cujo somatório é a unidade (BENDA, 2008).

2.5 Combinação Linear Ponderada (WLC)

Com a determinação dos pesos dos critérios a serem utilizados no estudo é necessário efetuar a agregação dos dados para a obtenção dos mapas finais de adequabilidade (zoneamento edafoclimático).

Para isto, utilizou-se o método da combinação linear ponderada (WLC) que consiste em multiplicar os mapas de cada fator por um determinado peso e, em seguida, é efetuado o somatório de todos os mapas, obtendo-se o zoneamento edafoclimático para cada espécie (BENDA, 2008).

Porém, neste trabalho o procedimento foi modificado devido aos mapas booleanos utilizados, portanto, multiplicou-se a adequabilidade dos fatores pelo produto das restrições.

2.6 Espécies florestais

2.6.1 Seringueira (*Hevea brasiliensis*)

A seringueira, planta pertencente à família Euphorbiaceae (gênero *Hevea*), ocorre naturalmente na floresta amazônica, entre as latitudes de 3°N e 15°S, em clima tropical-equatorial úmido. Suas exigências climáticas são de temperaturas médias anuais elevadas e chuvas abundantes, possivelmente com estação hiberna amena e pouco chuvosa (CAMARGO et al., 2003). Porém, seu cultivo comercial estende-se desde as latitudes 24°N até 25°S, evidenciando grande capacidade de adaptação a diversas condições climáticas.

A borracha natural, produzida a partir da matéria prima desta espécie, o látex, é de grande importância nos diversos setores da sociedade, sendo utilizada como isolante térmico, na produção de artefatos e entre outras obras de engenharia. Além disso, esta espécie protege e regenera o solo, é uma das plantas que mais retira o gás carbônico da atmosfera, além de produzir uma madeira de ótima qualidade (VAREJÃO, 2010).

No Brasil, o Estado do Espírito Santo ocupa o quarto lugar no cultivo da seringueira e, tem recebido a atenção do governo que pretende aumentar a área plantada de 10 mil hectares para 75 mil hectares, tornando-se a segunda espécie florestal de importância no Estado (SEAG/ES, 2006). Com isso, serão gerados cerca

de 20 mil empregos diretos e indiretos. Além disso, a seringueira tem sido utilizada na recuperação de áreas degradadas no Estado (VAREJÃO, 2010).

2.6.2 Paricá (*Schizolobium amazonicum*)

O Paricá, planta pertencente à família Caesalpiniaceae (gênero *Schizolobium*), é uma espécie nativa da região amazônica brasileira, de grande porte, sendo uma espécie muito utilizada para reflorestamentos, principalmente nos Estados do Pará e Maranhão, com cerca de 80 mil hectares de área plantada (ABRAF, 2009).

Esta espécie possui um rápido crescimento, fuste reto, capacidade de se adaptar às diversas condições edafoclimáticas, madeira com cotação elevada no mercado interno e externo, além de ser uma madeira adequada para múltiplos usos como fabricação de forros, palitos e, principalmente, laminados e compensados (CARVALHO, 1994).

Vem sendo estudado para a fabricação de polpa celulósica e papel de fibra curta, pois se trata de uma madeira de cor branco-palha, fibras com tamanho entre 1,10 e 1,59, madeira leve, com peso úmido de 650 kg/m e peso específico básico a 12% de umidade entre 320 e 400 kg/m³ (ROSSI et al., 2001). Possui um alto teor de lignina (35%), mas pode ser facilmente deslignificada, é de fácil branqueamento e produz papel de boa qualidade e resistência (SOUZA et al., 2003).

Porém, ainda é pouco utilizado no setor de celulose já que a produção no país é feita a partir de espécies exóticas em plantios de empresas (*Eucalyptus*, *Pinus*) (PEREIRA et al., 1982).

Diante deste potencial do Paricá, instituições de pesquisa e ensino, bem como empresas madeireiras que cultivam esta espécie passaram a aumentar os seus estudos. Entretanto, obter informações e resultados desses estudos é difícil, pois estão dispersos na literatura, ou, ainda, por não serem publicados (ROSA, 2006).

2.6.3 Pinus (*Pinus elliottii* var. *elliottii*)

O pinus, de ocorrência natural do Sul dos Estados Unidos, requer clima fresco com disponibilidade de umidade constante durante o ano. É indicado para plantio em toda região Sudeste, porém, a fim de se ter um melhor rendimento da extração de resina recomenda-se plantar em regiões com temperaturas mais elevadas (EMBRAPA, 2005).

Com o avanço da tecnologia e a ampliação das alternativas de uso, devido o seu rápido crescimento e boa qualidade da madeira, o pinus tornou-se uma espécie cada vez mais demandada no setor florestal, contando na região Sul do país com uma área planta de 1,8 milhões de hectares (EMBRAPA, 2005).

A madeira de pinus tem densidade média de $0,53 \text{ g/cm}^3$, podendo ter múltiplos usos sendo os principais em construção de barcos, produção de celulose de fibra longa e produção de resina (CARPANEZZI et al., 1986).

3.MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O presente trabalho foi realizado utilizando-se dados do Estado do Espírito Santo (Figura 2), localizado na região Sudeste do Brasil, com uma área total aproximada de 46.184,1 km² e um total de 78 municípios. Tem como limites o oceano Atlântico a leste, a Bahia a norte, Minas Gerais a oeste e o Estado do Rio de Janeiro a sul, situando-se geograficamente entre os meridianos 39°38' e 41°50' de longitude oeste e entre os paralelos 17°52' e 21°19' de latitude sul.



Figura 2 —Localização do Estado do Espírito Santo.

Fonte:Autor (2011).

A maior parte do Estado caracteriza-se como um planalto, com altitude média de 600 a 700 metros e ocorrem basicamente dois tipos de clima, o tropical chuvoso e o mesotérmico úmido.

O Estado, de acordo com a classificação de Köppen, está situado em uma área de clima úmido (A e C), além de subtipos climáticos como Aw (clima tropical com estação seca de inverno), Am (clima de monção), Cf (clima oceânico) e Cw (clima temperado úmido com inverno seco). (SIQUEIRA et al., 2004).

3.2 Materiais utilizados

3.2.1 Arquivos vetoriais

No presente trabalho, como critérios restritivos, foram utilizados os seguintes vetores:

- Hidrografia — Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES);
- Sistema Viário — Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES);
- Solos do Espírito Santo — adaptado de IBGE, 2005.

3.2.2 Softwares

Para realizar o processamento e análise dos dados deste trabalho, foram utilizados os seguintes *softwares*:

- Software GIS ArcGIS 10.0, ©Environmental Systems Research Institute, Inc. — utilizado na elaboração dos mapas base e para o layout final das imagens raster;
- Software GIS IDRISI Andes, Version 15.0, ©The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis — utilizado nas análises espaciais das imagens raster.

3.3 Metodologia

Neste trabalho, primeiramente, os parâmetros em estudo oriundos do banco de dados de balanço hídrico climatológico de Castro (2008) foram espacializados para o Estado utilizando o *software* ArcGIS 10.0, dando origem aos mapas temáticos de cada variável. Estes foram importados para o *software* IDRISI Andes, uma vez que serviram de base para a análise espacial com inferência *fuzzy*.

Para cada parâmetro (fator) determinaram-se as funções de pertinência *fuzzy* que melhor se adequavam a cada um. A partir disso, as faixas de aptidão de cada fator para cada espécie foram reclassificadas numa escala que oscila entre 0 e

255. Após a determinação das funções e reclassificação, realizou-se a *fuzzificação* de cada fator em estudo.

Ainda, foram gerados os mapas dos critérios restritivos em caráter booleano [0 – 1] no *software* ArcGIS 10.0 e, posteriormente, importados em formato raster para o *software* IDRISI Andes onde foram utilizados para realizar a análise multicritério.

No *software* IDRISI Andes através do módulo WEIGHT, determinou-se os pesos de cada fator, a fim de estabelecer seus níveis de influência sobre cada espécie em estudo. Por fim, foi realizada a análise multicritério (MCE) utilizando os mapas com padrozição *fuzzy* de cada fator para cada espécie com seus respectivos pesos e os mapas dos critérios restritivos, gerando os mapas de zoneamento edafoclimático para cada cultura.

3.4 Dados meteorológicos utilizados no estudo

Para a realização do presente trabalho, utilizou-se o banco de dados de balanço hídrico climatológico do estudo sobre diferentes espécies de Pinus de Castro (2008), que possui um período de 30 anos de dados (1977-2006) obtidos em 110 pontos de medição de temperatura média do ar e de precipitação pluviométrica pertencentes ao Instituto Capixaba de Pesquisas e Extensão Rural (INCAPER), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional das Águas (ANA), localizados dentro e fora do Estado do Espírito Santo.

O balanço hídrico climatológico, obtido a partir de dados meteorológicos médios de uma região, permite uma avaliação de sua disponibilidade hídrica a partir da determinação de alguns parâmetros como deficiência hídrica, excedente hídrico, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real (HEWLETT, 1982). Além disso, utilizaram-se séries históricas de temperaturas médias do ar e de precipitação pluviométrica como parâmetro no zoneamento (CASTRO, 2008).

A descrição e localização dos postos pluviométricos e estações meteorológicas utilizadas estão em Anexo 1.

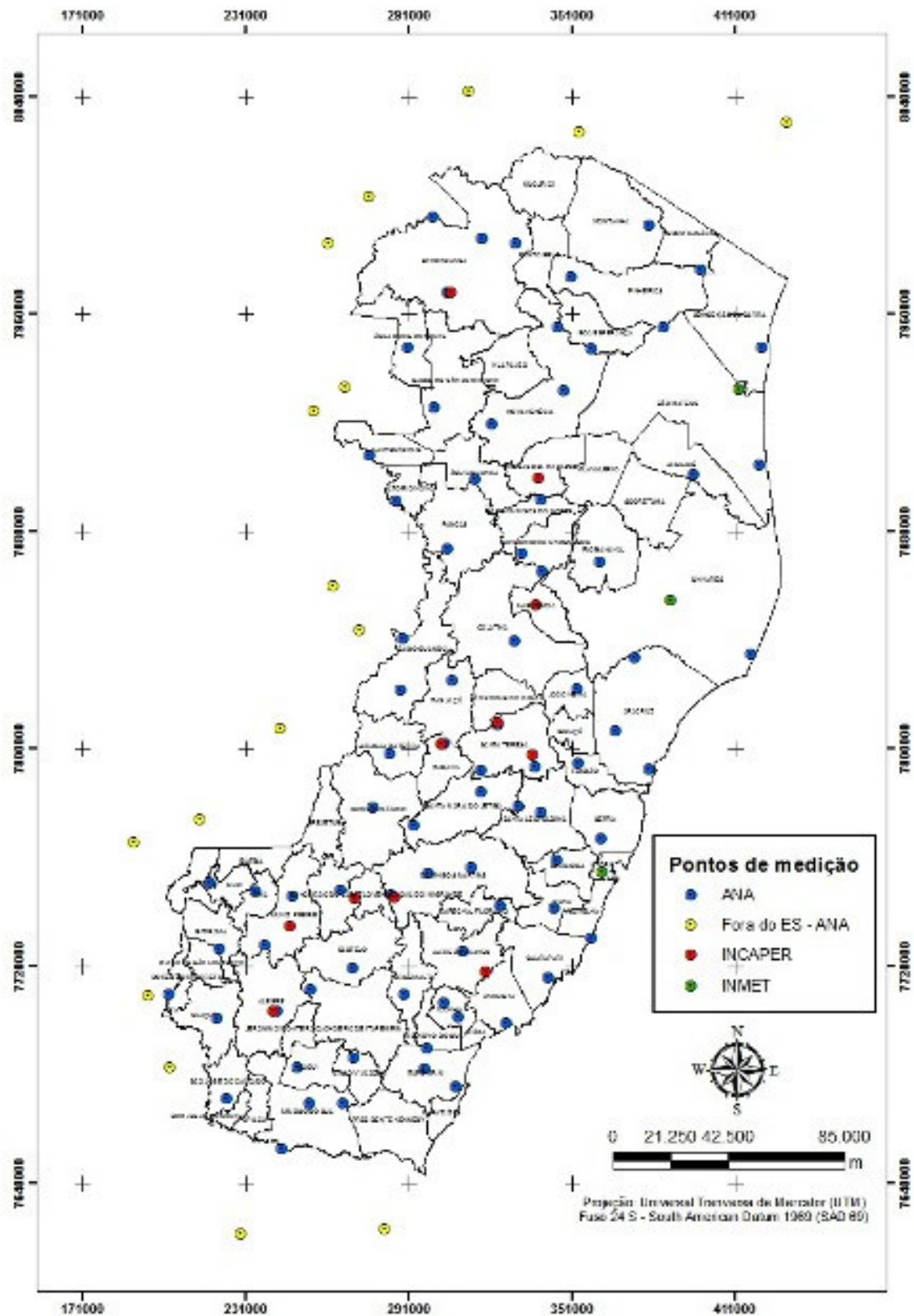


Figura 3 — Distribuição espacial dos pontos de medição dos dados climáticos localizadas sobre o Estado do Espírito Santo e Estados vizinhos.

Fonte: adaptado de Castro (2008).

3.5 Espacialização dos dados climáticos

Após o levantamento dos dados das variáveis em estudo, precipitação (P), temperatura média do ar (T) evapotranspiração potencial (ETP) e real (ER), deficiência hídrica anual (DEF) e excedente hídrico (EXC) estas foram espacializadas para o Estado do Espírito Santo, através do software ArcGIS10.0 dando origem aos mapas temáticos de cada variável.

Os dados foram espacializados de acordo com estudos feitos por Castro (2008), em que determinados interpoladores apresentaram melhor desempenho para as variáveis em estudo, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Interpoladores com melhor desempenho para cada variável.

Variável	Interpolador	Parâmetros do semivariograma			
		C_0	$C+C_0$	a	
Precipitação	Krigagem Linear	23125,990	35000,925	105 km	
ETP	Krigagem Linear	30411,236	32500,229	155,9 km	
DEF	Krigagem Esférica	2984,601	21387,410	134,5 km	
Variável	Interpolador	Parâmetros da equação			
		β_0	β_1	β_2	β_3
Temperatura do ar	Regressão linear múltipla	-12,9848	-0,0071	0,4690	-1,1761

C_0 = efeito pepita; $C+C_0$ = patamar; a = alcance.

Fonte: adaptado de Castro (2008).

Para a interpolação dos dados anuais de temperatura média do ar, utilizou-se a mesma equação de regressão linear utilizada nos estudos de Castro (2008) (Equação 1) que teve como variáveis independentes a altitude, a latitude e a longitude das estações e como variável dependente a temperatura do ar.

$$\gamma_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Alt} + \beta_2 \text{Lat} + \beta_3 \text{Long} + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que: γ_i = temperaturas normais (médias, máximas e mínimas) mensais ($i=1, 2, \dots, 12$) e anual ($i=13$) estimadas em °C;

Alt = altitude (m);

Lat = latitude, em graus e décimos (entrada com valores negativos);

Long = longitude em graus e décimos (entrada com valores negativos);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e β_3 = parâmetros de regressão; e

ϵ_i = erro aleatório.

Com isso, foram gerados os mapas temáticos de cada fator para o Estado, que serão utilizados no software IDRISI Andes para combinação linear ponderada.

3.6 Critérios restritivos

Os critérios restritivos representam os locais ou áreas em que de forma alguma pode ocorrer a implantação de culturas devido a determinadas condições. Assim, as restrições foram consideradas de acordo com o quadro abaixo.

Quadro 2 – Descrição das restrições adotadas.

ID	Descrição
R1	Distância mínima de 30m (“buffer”) de qualquer coleção hídrica ou curso d’água. ^(a)
R2	Distância mínima de 15m (“buffer”) do sistema viário. ^(b)
R3	Áreas com declividade $\geq 45^\circ$. ^(a)

Fonte: ^(a)BRASIL (1965); ^(b)BRASIL (1979).

3.7 Fatores

Os fatores estão relacionados ao grau de aptidão de determinada área para a implantação das culturas, levando em consideração o valor de importância de cada um e a adequabilidade nos locais fora das restrições absolutas. Portanto, tais fatores

foram reclassificados ou normalizados a partir de determinadas funções *fuzzy*, como mostra o quadro abaixo.

Quadro 3 –Fatores, funções *fuzzy* adotadas.

ID	Fator	Função <i>fuzzy</i>
F1	Temperatura do ar	Sigmoidal simétrica
F2	DEF	Sigmoidalmonotônica decrescente
F3	Precipitação	Sigmoidal monotônica crescente
F4	ETP	Sigmoidal monotônica crescente
F5	Solos	Escala [0 – 255]

DEF = deficiência hídrica; ETP = evapotranspiração potencial.

Fonte: Autor (2011).

3.8 Aptidão agrícola das espécies em estudo

Segundo Pereira et al. (2002), a elaboração de um zoneamento agroclimático para determinada cultura depende de algumas etapas fundamentais, entre elas o estudo das condições climáticas da região estudada com confecção de mapas climáticos, levantamento das faixas de aptidão climática da cultura a ser zoneada e a análise final com a confecção de mapas finais de zoneamento.

De acordo com as necessidades dos fatores térmicos, hídricos e edáficos exigidos pelas espécies para seu desenvolvimento, o zoneamento edafoclimático destas terão classes de aptidão que variam em um intervalo de 0 a 255, em que a faixa 255 representa áreas que expressam o máximo potencial da cultura, sendo que 0 a área é considerada inapta, ou seja, não atende as exigências edafoclimáticas da cultura.

Com base na literatura, foram estabelecidos os parâmetros das exigências climáticas de cada espécie, mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 -Faixa de aptidão climática das espécies.

Espécies	Aspectos Climáticos			
	P (mm)	Ta (°C)	ETP (mm)	DEF (mm)
<i>Hevea brasiliensis</i>	1300 a 3000 ^(a)	$20 \geq Ta \leq 25$ ^(a)	≥ 900 ^(b)	≤ 150 ^(b)
<i>Schizolobiumamazonicum</i>	1600 a 3000 ^(c)	$20 \geq Ta \leq 26$	-	≤ 180 ^(d)
<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	>900	$15 \geq Ta \leq 24$ ^(e)	-	≤ 50 ^(f)

Fonte: ^(a)HEVEABRASIL (2007);^(b)CIAGRO (2009); ^(c)CRESPO et al. (1995); ^(d)MARTORANO et al. (2010); ^(e)CARPANEZZI et al. (1986); ^(f)GOLFARlet al. (1978).

A partir dos parâmetros das exigências climáticas que foram estabelecidos para cada espécie, foram determinados os pontos de controle das funções de pertinência *fuzzy* de cada fator, como mostramos tabelas abaixo.

Tabela 3 - Pontos de controle das funções *fuzzy* dos fatores, para a Seringueira.

Fatores	Pontos de controle			
	a	b	c	d
Precipitação	0	1300mm	3000mm	3000mm
Temperatura	0	20°C	25°C	26°C
ETP	0	900mm	900mm	900mm
Deficiência hídrica	150mm	150mm	150mm	360mm

Fonte: Autor (2011).

Tabela 4 - Pontos de controle das funções *fuzzy* dos fatores, para o Paricá.

Fatores	Pontos de controle			
	a	b	c	d
Precipitação	0	1600mm	3000mm	3000mm
Temperatura*	0	20°C	26°C	26°C
ETP	-	-	-	-

Deficiência hídrica	180mm	180mm	180mm	360mm
---------------------	-------	-------	-------	-------

* No estudo do Paricá, para o fator temperatura utilizou-se a função de pertinência sigmoideal monotônica crescente.

- sem dados.

Fonte: Autor (2011).

Tabela 5 - Pontos de controle das funções *fuzzy* dos fatores, para o Pinus.

Fatores	Pontos de controle			
	a	b	c	d
Precipitação	0	900mm	1600mm	1600mm
Temperatura	0	15°C	24°C	26°C
ETP	-	-	-	-
Deficiência hídrica	50mm	50mm	50mm	360mm

- sem dados.

Fonte: Autor (2011).

As variáveis foram escalonadas para o intervalo de 0 a 255, isto é, converteram-se os valores originais em faixas de adequabilidade devido a necessidade de se uniformizar os dados para que possam ser cruzados e gerar um mapa final (BENDA, 2008).

Com base na literatura, foram estabelecidos os parâmetros das exigências edáfica de cada espécie, mostrados no Quadro 4.

Quadro 4 -Exigências edáficas das espécies.

Espécies	Adequabilidade	Aspectos Edáficos
<i>Hevea brasiliensis</i>	Alta	Solos de textura leve, profundos e bem drenados, ligeiramente ácidos ^(a) ; Latossolos ^(b) .
	Média	Latossolospodzólicos.
	Baixa	Solos argilosos, mal drenados, rasos, hidromórficos.

<i>Schizolobiumamazonicum</i>	Alta	Podzólico vermelho-amarelo distrófico e eutrófico com textura argilosa e em terra roxa, profundos ^(c) .
	Média	Solos areno-argilosos com média e alta fertilidade natural ^(c) .
	Baixa	Areia quartzosa.
<i>Pinus elliottivar.elliottii</i>	Alta	Solos de textura arenosa, média e argilosa.
	Baixa	Neossoloquartzarênico e solos arenosos; áreas com solos que apresentam profundidade inferior a 50 cm ou com solos muito pedregosos.

Fonte: ^(a)IAPAR (2004); ^(b)CUNHA et al. (2000); ^(c)ROSSI et al. (2001).

De acordo com as exigências edáficas das espécies e do levantamento das características dos solos presentes no Estado do Espírito Santo, foi efetuada uma normalização das classes pedológicas através do escalonamento de 0 a 255, onde 0 seria o solo menos adequado e, 255 o solo com maior adequabilidade para cada espécie, como mostra a tabela 6.

Essa reclassificação levou em consideração algumas características utilizadas na classificação dos solos, sendo as principais para este estudo as seguintes: textura (granulometria), profundidade, atividade da fração argila edrenagem. Com base na comparação das exigências edáficas de cada espécie com as características de cada solo, foi efetuada a valoração da adequabilidade, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 6- Normalização das classes de solo para cada espécie.

Classe de solo	Valores atribuídos		
	Seringueira	Paricá	Pinus
Afloramentos Rochosos	0	0	0
Argissolo-amarelo	220	190	190
Argissolo-vermelho	160	220	220
Argissolo vermelho-amarelo	190	255	255
Cambissoloháplico	64	64	64
Gleissoloháplico	0	0	64
Latossolo amarelo	255	128	128

Latossolo vermelho-amarelo	255	160	160
Neossoloquartzarênico	64	0	0

Fonte: Autor (2011).

3.9 Ponderação das variáveis

Para cada variável o peso foi estimado, na matriz de comparação par-a-par através do método AHP (Processo de hierarquização analítica), presente no software IDRISI Andes 15.0 através do módulo WEIGHT, que utiliza a escala de SAATY (1977) (Tabela 8).

Tabela 7 – Escala de Saaty para comparadores.

Valores	Importância mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: SANTOS (2007).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Reclassificação dos fatores climáticos

Com base nos mapas temáticos dos fatores climáticos gerados no *software* ArcGIS 10.0, a partir do banco de dados de Castro (2008), estes foram importados para o *software* IDRISI Andes onde foram reclassificados de acordo com as exigências de cada espécie, aplicando as funções *fuzzy* definidas para cada fator (Figura 4 e 5).

Os mapas temáticos mostram as áreas com aptidão para a implantação das culturas no Estado de acordo com as faixas de temperatura média do ar, deficiência hídrica, precipitação, evapotranspiração potencial e, também, de acordo com os tipos de solo que permitem um melhor desenvolvimento das espécies.

Observa-se que em relação aos fatores de temperatura média do ar e deficiência hídrica, o Estado do Espírito Santo em toda a sua extensão possui condições favoráveis à implantação de todas as espécies em estudo. Por outro lado, em relação ao fator precipitação, não existem áreas que sejam totalmente aptas ao plantio do Paricá. Isto se deve as médias pluviométricas do Estado, que possui precipitação média anual acumulada entre 1000 e 1550 mm, como mostram estudos de Castro (2008).

Em relação ao fator solo, observa-se que o Estado possui diferentes tipos de solos com características que atendem as necessidades para o desenvolvimento de todas as espécies em estudo, sendo poucas as áreas com baixa ou nenhuma aptidão, como em locais com afloramentos rochosos.

Por existirem poucos estudos que determinam a influência e as faixas de evapotranspiração potencial favoráveis ao desenvolvimento das espécies de *Schizolobium amazonicum* e *Pinus elliottii* var. *elliotti*, este fator não foi estudado neste trabalho para estas culturas.

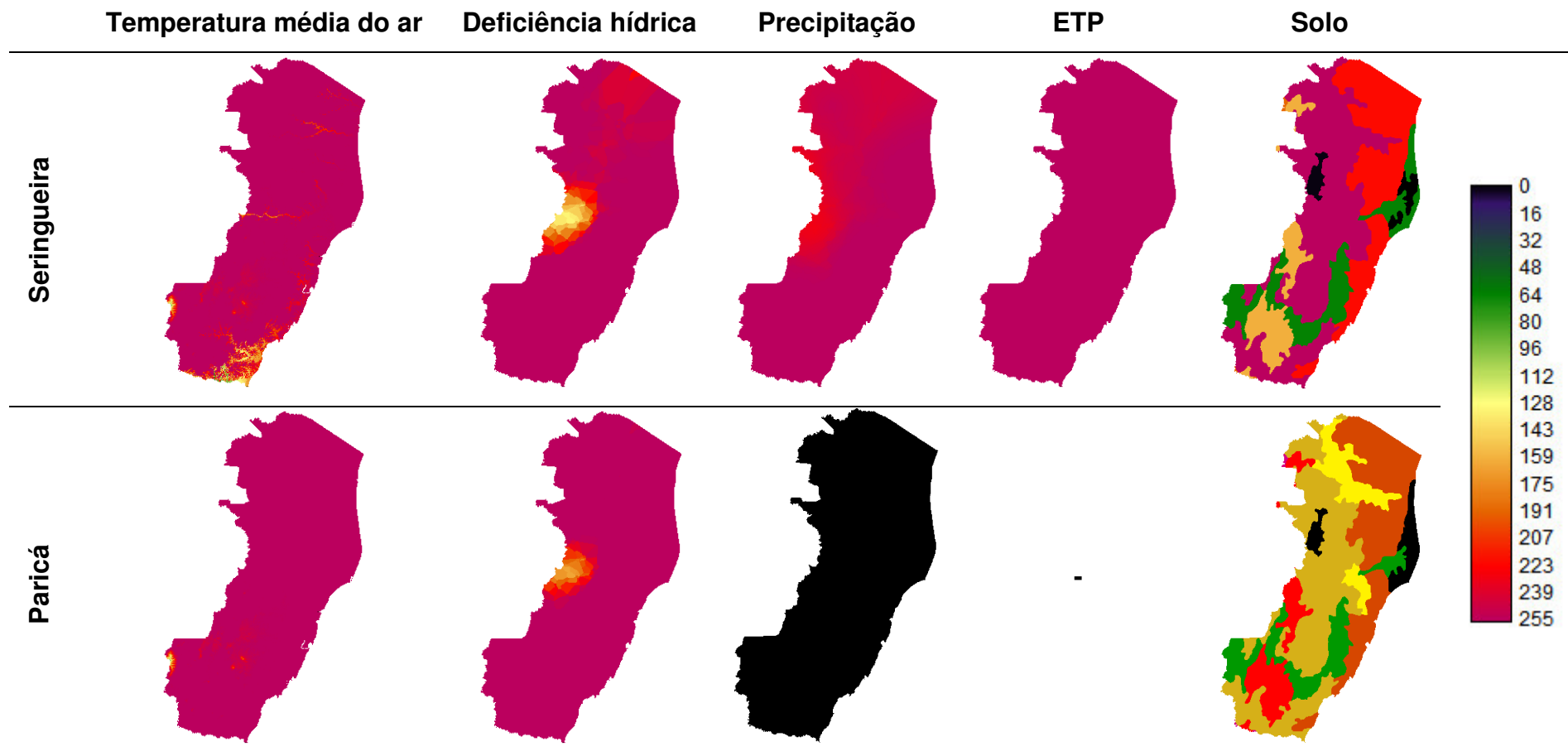


Figura 4 – Reclassificação *fuzzy* para os fatores de acordo com as exigências das espécies seringueira e paricá.

Fonte: Autor (2011)

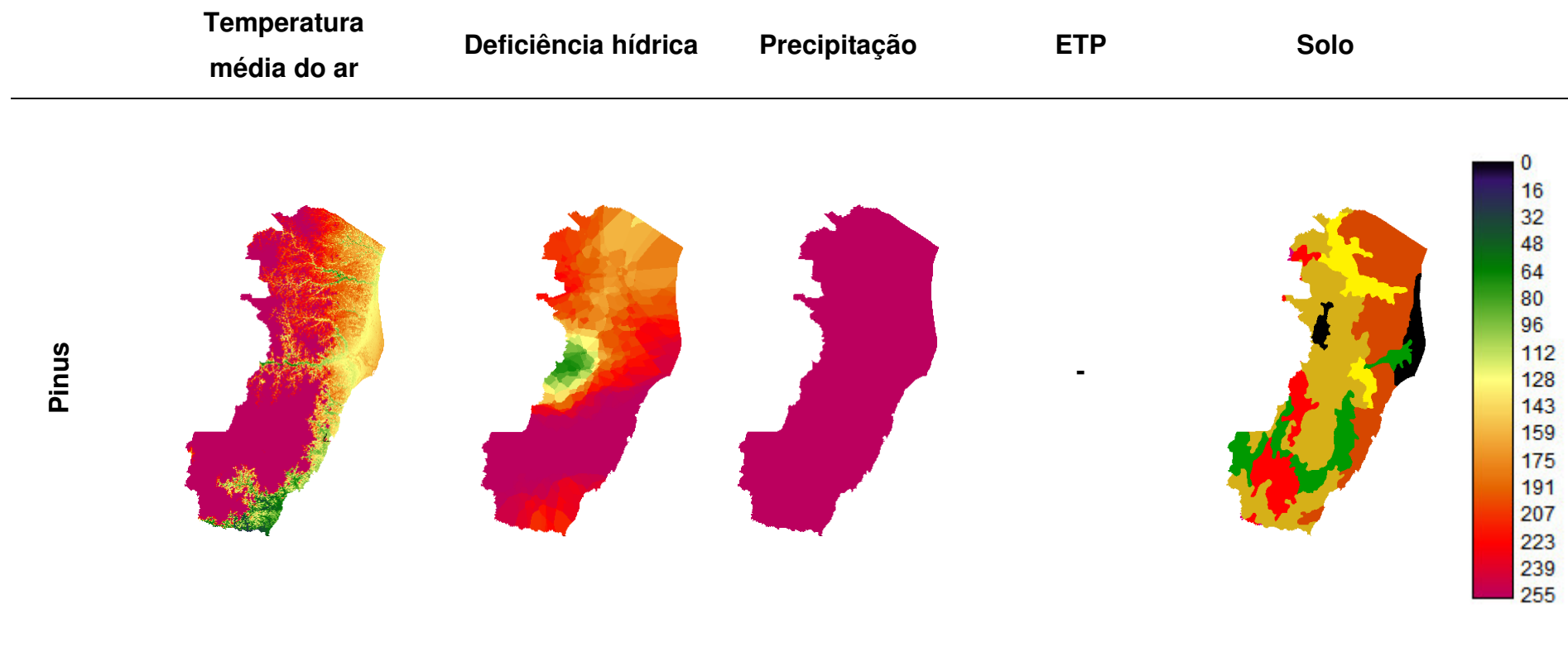


Figura 5 – Reclassificação *fuzzy* para os fatores de acordo com as exigências da espécie pinus.

Fonte: Autor (2011)

4.2 Ponderação dos fatores

Para cada espécie foi determinado o peso de cada fator, o que proporcionou determinar o grau de influência de cada um, com base na escala de Saaty (1977).

Os pesos e a ordem de importância de cada fator para cada espécie são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 8 – Pesos dos fatores.

Fatores	Importância	Seringueira	Paricá	Pinus
Temperatura	1	0,3621	0,3950	0,3950
Deficiência hídrica	2	0,3621	0,3950	0,3950
Precipitação	3	0,1607	0,1626	0,1626
ETP	4	0,0762	-	-
Solo	5	0,0389	0,0473	0,0473

Fonte: Autor (2011).

A Razão de consistência foi de 0,03, ou seja, menor que 0,10 que torna os pesos calculados para este modelo aceitáveis.

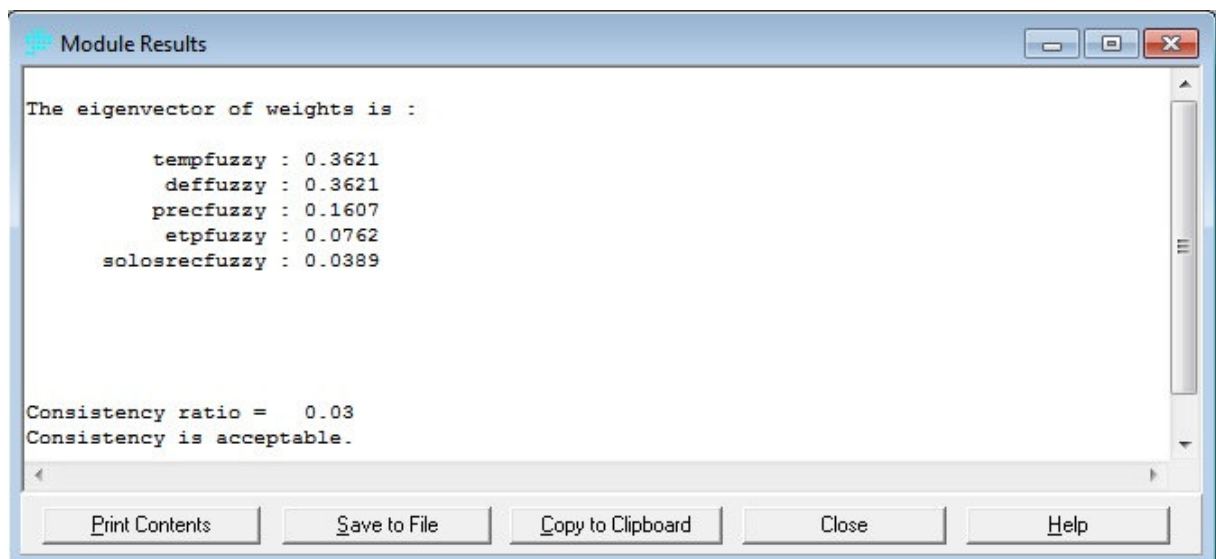


Figura 6 – Pesos e razão de consistência dos dados.

Fonte: Autor (2011).

4.2.1 Justificativas das ponderações adotadas

- **Fator temperatura do ar e deficiência hídrica: 1**

Os fatores temperatura do ar e deficiência hídrica são de igual importância, pois são considerados os principais fatores climáticos num zoneamento e exercem forte influência no desenvolvimento das culturas.

- **Fator temperatura do ar e fator precipitação: 3**

O fator temperatura do ar é moderadamente mais importante do que o fator precipitação, pois o efeito na ausência deste pode ser reduzido com a utilização da irrigação e, também, independe da precipitação para ser determinado.

- **Fator temperatura do ar e fator evapotranspiração: 5**

O fator temperatura do ar é fortemente mais importante que o fator evapotranspiração, uma vez que exerce maior influência sobre a planta e a evapotranspiração é influenciada pela temperatura.

- **Fator temperatura do ar e fator solo: 7**

O fator temperatura do ar é muito fortemente mais importante que o fator solo, uma vez que com o manejo e tratamentos culturais adequados o solo pode se tornar mais apto à determinada cultura.

- **Fator deficiência hídrica e fator precipitação: 3**

O fator deficiência hídrica é moderadamente mais importante do que o fator precipitação, uma vez que exerce maior influência no desenvolvimento da planta apesar do fator precipitação influenciar a deficiência hídrica.

- **Fator deficiência hídrica e fator evapotranspiração: 5**

O fator deficiência hídrica é fortemente mais importante que o fator evapotranspiração, uma vez que exerce maior influência sobre a planta e é considerado um dos principais fatores para um zoneamento.

- **Fator deficiência hídrica e fator solo: 7**

Fator deficiência hídrica é muito fortemente mais importante que o fator solo, uma vez que com o manejo e tratamentos culturais adequados o solo pode se tornar mais apto à determinada cultura, enquanto que a deficiência hídrica depende das condições climáticas.

- **Fator evapotranspiração e fator solo: 5**

Fator deficiência hídrica é muito fortemente mais importante que o fator solo, uma vez que com o manejo e tratamentos culturais adequados o solo pode se tornar

mais apto à determinada cultura, enquanto que a evapotranspiração é influenciada pelas condições térmicas e hídricas do clima.

4.3 Determinação das funções de pertinência para cada fator

• Fator temperatura do ar

A normalização deste fator foi feita com base nas exigências de cada espécie em estudo, com isso, utilizou-se a função *fuzzysigmoidal simétrica*, presente no IDRISIAndes (Figura 7), tendo como pontos de controle os valores citados nas tabelas 3, 4 e 5.

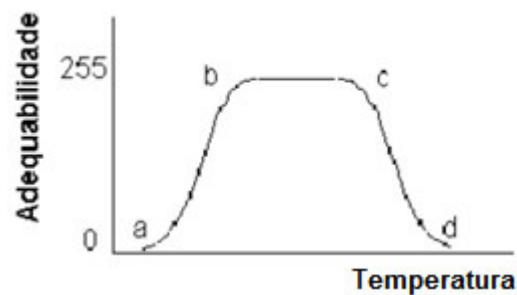


Figura 7 – Função *sigmoidal simétrica*.

Fonte: Eastman (1997).

• Fator deficiência hídrica

A normalização deste fator foi feita com base nas exigências de cada espécie em estudo, com isso, utilizou-se a função *fuzzysigmoidalmonotônica decrescente*, presente no IDRISI Andes (Figura 8), tendo como pontos de controle os valores citados nas tabelas 3, 4 e 5.

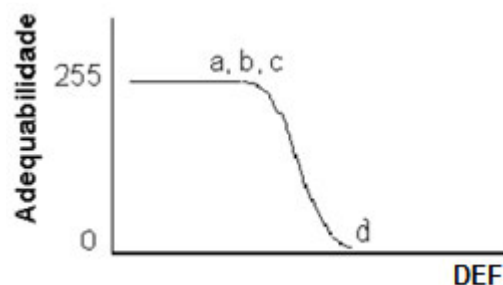


Figura 8 – Função *sigmoidalmonotônica decrescente*.

Fonte: Eastman (1997).

• Fator precipitação

A normalização deste fator foi feita com base nas exigências de cada espécie em estudo, com isso, utilizou-se a função *fuzzysigmoidalmonotônica crescente*, presente no IDRISI Andes (Figura 9), tendo como pontos de controle os valores citados nas tabelas 3, 4 e 5.

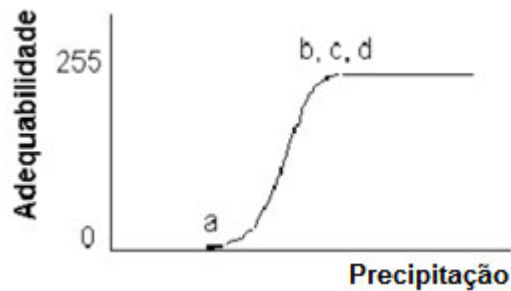


Figura 9 - Função *sigmoidal monotônica crescente*.

Fonte: Eastman (1997).

• Fator evapotranspiração (ETP)

A normalização deste fator foi feita com base nas exigências de cada espécie em estudo, com isso, utilizou-se a função *fuzzysigmoidal monotônica crescente*, presente no IDRISI Andes (Figura 10), tendo como pontos de controle os valores citados nas tabelas 3, 4 e 5.

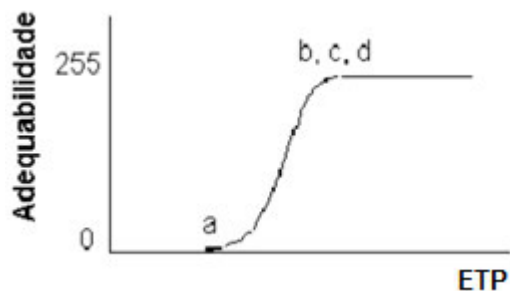


Figura 10 – Função *sigmoidalmonotônica crescente*

Fonte: Eastman (1997).

4.4 Zoneamento edafoclimático das espécies, aplicando MCE

As figuras 11 a 13 apresentam os mapas temáticos de zoneamento edafoclimático das espécies *Hevea brasiliensis*, *Schizolobiumamazonicum*, *Pinus*

elliottivar. elliottii, respectivamente para todo o Estado do Espírito Santo, a partir de análise multicritério, considerando fatores e restrições discutidos anteriormente.

4.4.1 Seringueira

Observando a figura 11, a seringueira é uma espécie com boa aptidão edafoclimática, com áreas de aptidão que se estendem do norte até o sul do Estado, percorrendo toda a faixa litorânea, com exceção de algumas áreas localizadas nos municípios de Linhares, São Mateus e Jaguaré que são locais com condições edáficas pouco favoráveis à implantação da seringueira.

É importante observar que a região norte de Itaguaçu, Baixo Guandu e região oeste de Colatina são áreas com pouca aptidão para a heveicultura, devido ao fato de serem regiões com pouca precipitação e alta deficiência hídrica, como já havia sido demonstrado por Pilau et al. (2007).

Além disso, através da análise do mapa, observa-se que os principais municípios produtores de borracha natural atualmente no Estado (São Mateus, Guarapari, Serra, Sooretama) estão situados em áreas com alta aptidão a heveicultura, comprovando o que Rossman(2007) já havia observado.

De acordo com o mapa de zoneamento da seringueira, as áreas aptas a sua implantação concentram-se em regiões onde a altitude é menor que 500 metros, que são locais onde a temperatura do ar são mais elevadas.

Grande parte do Estado, segundo dados de IBGE (2005) é composto predominantemente por latossolos, que possuem características que favorecem o desenvolvimento da seringueira.

Com relação aos critérios restritivos em estudo, baseados na legislação brasileira, levando em consideração as áreas com declividade maior ou igual a 45º, as margens dos principais rios do Estado, como Rio Itapemirim e Rio Doce, bem como as principais rodovias estaduais observa-se que estes critérios ocupam áreas relativamente significantes, diminuindo as áreas aptas a heveicultura e, também, as demais espécies.

É importante ressaltar que se levarmos em consideração toda a malha viária e hidrográfica, bem como todas as áreas de preservação permanente do Estado, as áreas para o plantio da seringueira diminuiriam consideravelmente.

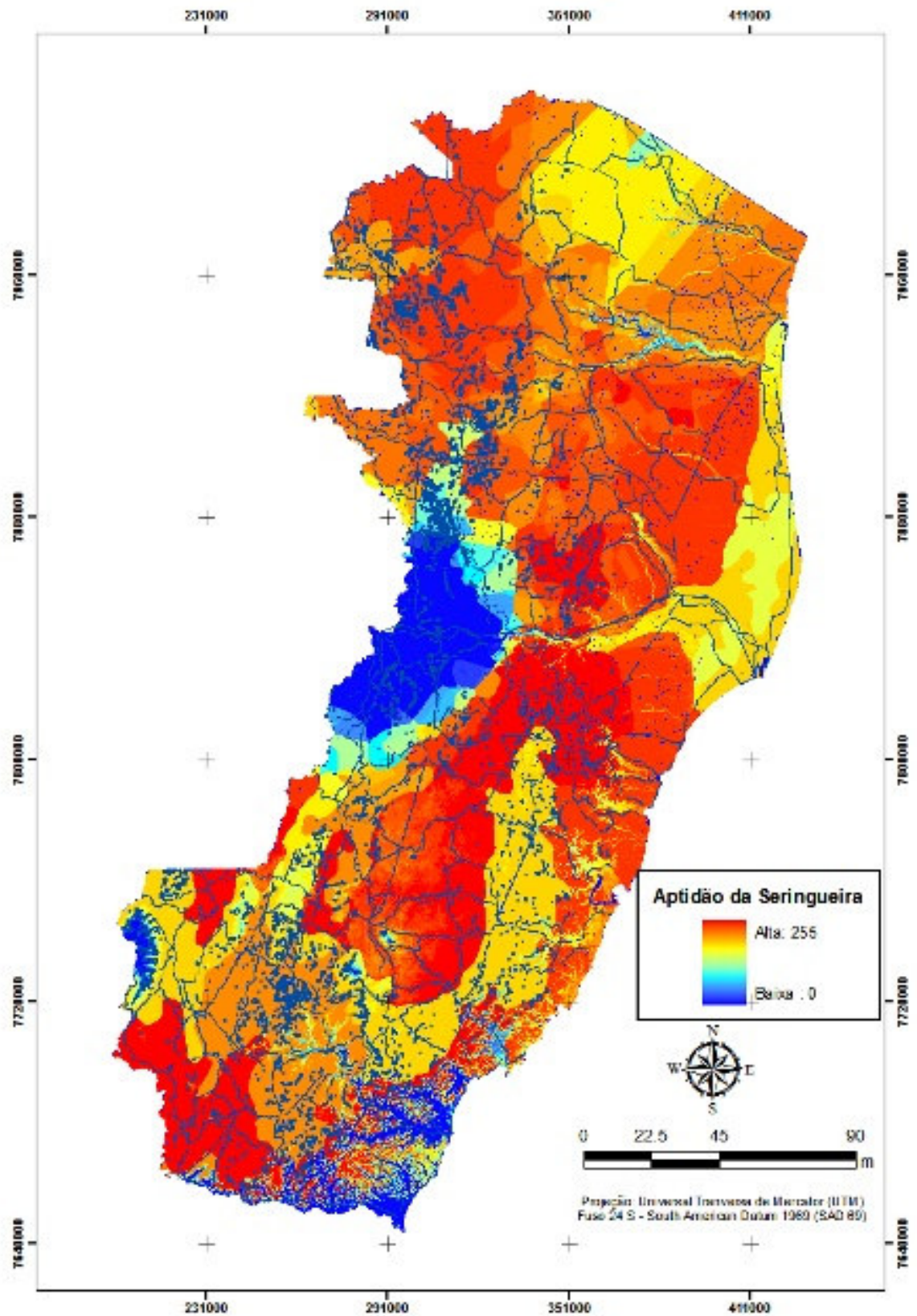


Figura 11 – Zoneamento edafoclimático da seringueira (*Hevea brasiliensis*) para o Estado do Espírito Santo.

Fonte: Autor (2011).

4.4.2 Paricá

Na figura 12, observa-se que a região Cento-Sul e Norte do Estado do Espírito Santo são regiões com boa aptidão para a implantação da cultura do paricá. Por ser uma espécie capaz de tolerar deficiências hídricas de até 180 mm e temperaturas médias elevadas, esta possui grande faixa de aptidão em todo o Estado, com exceção de locais que possuem solos com baixo potencial e altas deficiências hídricas (>200 mm).

As áreas climaticamente aptas a esta espécie quando comparadas as de seringueira, são semelhantes devido ao fato de possuírem exigências climáticas muito próximas. O que diferencia a aptidão de determinada área entre estas espécies são os fatores solo e precipitação, em que os solos do Estado possuem características que melhor atendem as exigências da seringueira.

Ainda em relação ao fator solo, observa-se que o Estado possui poucas áreas em que predominam o tipo argissolo (extremo norte e sul), que são solos que melhor atendem as necessidades de desenvolvimento do paricá. É por este motivo, que as faixas de aptidão para a cultura desta espécie é menor quando comparado com as da seringueira.

Esta espécie possui um ótimo desenvolvimento em regiões em que a precipitação pluviométrica média anual é superior a 1600 mm, o que não ocorre no Estado do Espírito Santo, que segundo estudos de Castro (2008) possui uma precipitação média anual máxima de 1550 mm. Com isso, a adequabilidade desta espécie em relação a este fator é muito baixa.

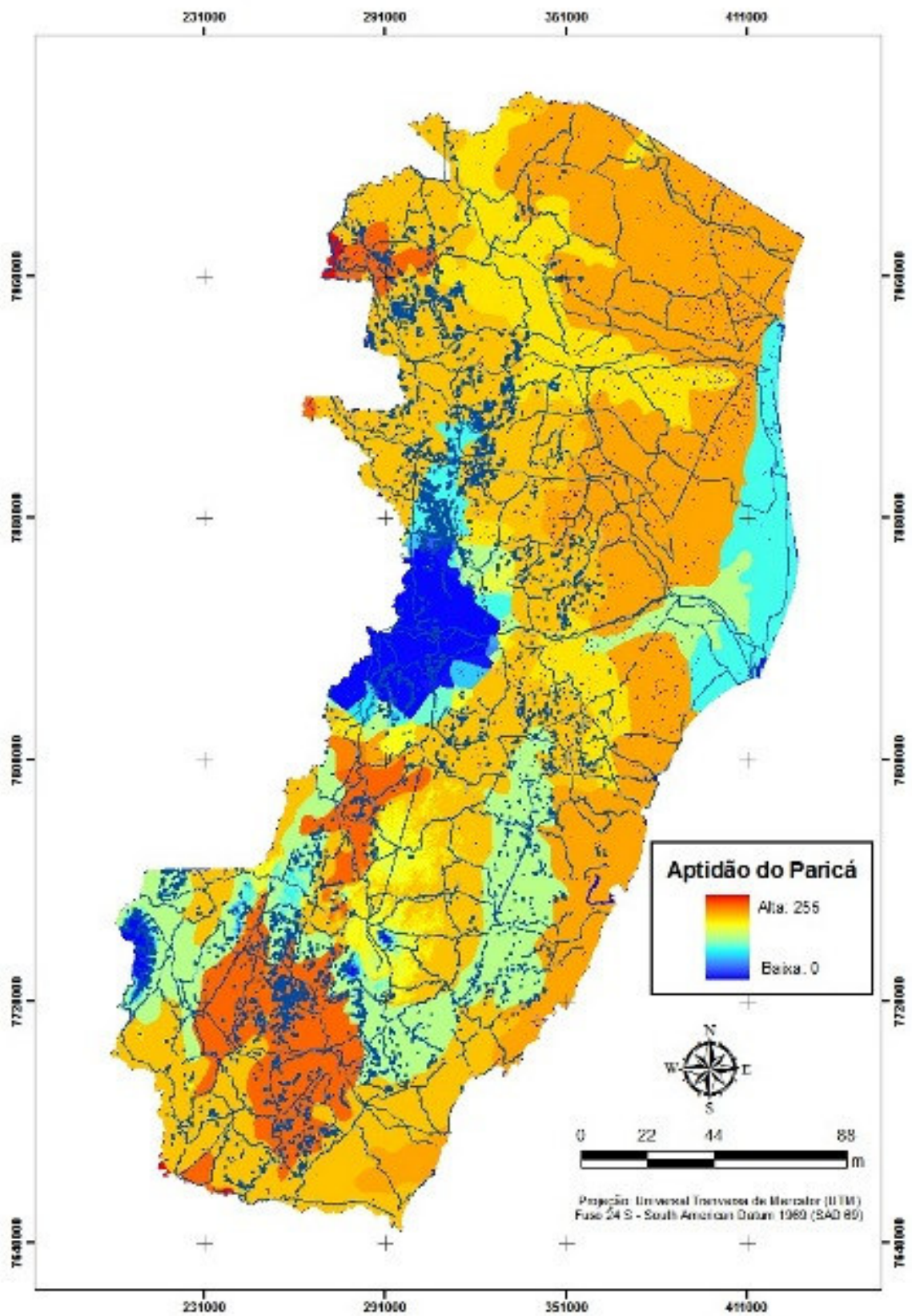


Figura 12 – Zoneamento edafoclimático do paricá (*Schizolobium amazonicum*) para o Estado do Espírito Santo.

Fonte: Autor (2011).

4.4.3 Pinus

Conforme pode ser observado na figura 13, a espécie de Pinus em estudo é mais indicada a ser implantada em áreas da região Sul do Estado, com altitudes acima de 500 metros onde as temperaturas são mais amenas e a deficiência hídrica é menor, confirmando o que Castro (2008) recomendou para o Estado.

Por ser uma espécie com pouca tolerância à deficiência hídrica (até 50 mm), observa-se que possui baixa aptidão na maior parte do Estado, pois este apresenta deficiências hídricas elevadas em grande parte do território (CASTRO, 2008).

Observa-se que a região norte de Itaguaçu, Baixo Guandu e região oeste de Colatina são áreas com pouca aptidão para esta cultura e, também, para as demais. Isto porque esta região possui altas deficiências hídricas, temperaturas elevadas (maiores que 22°C) e, principalmente no caso do pinus, devido a baixa altitude do local.

De acordo com estudo de Castro (2008), as áreas aptas ao plantio da espécie *Pinus elliotii* var. *elliottii* é a segunda maior quando comparada com as de *Pinus oocarpa*, *Pinus taeda* *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, demonstrando o grande potencial do Estado para esta cultura.

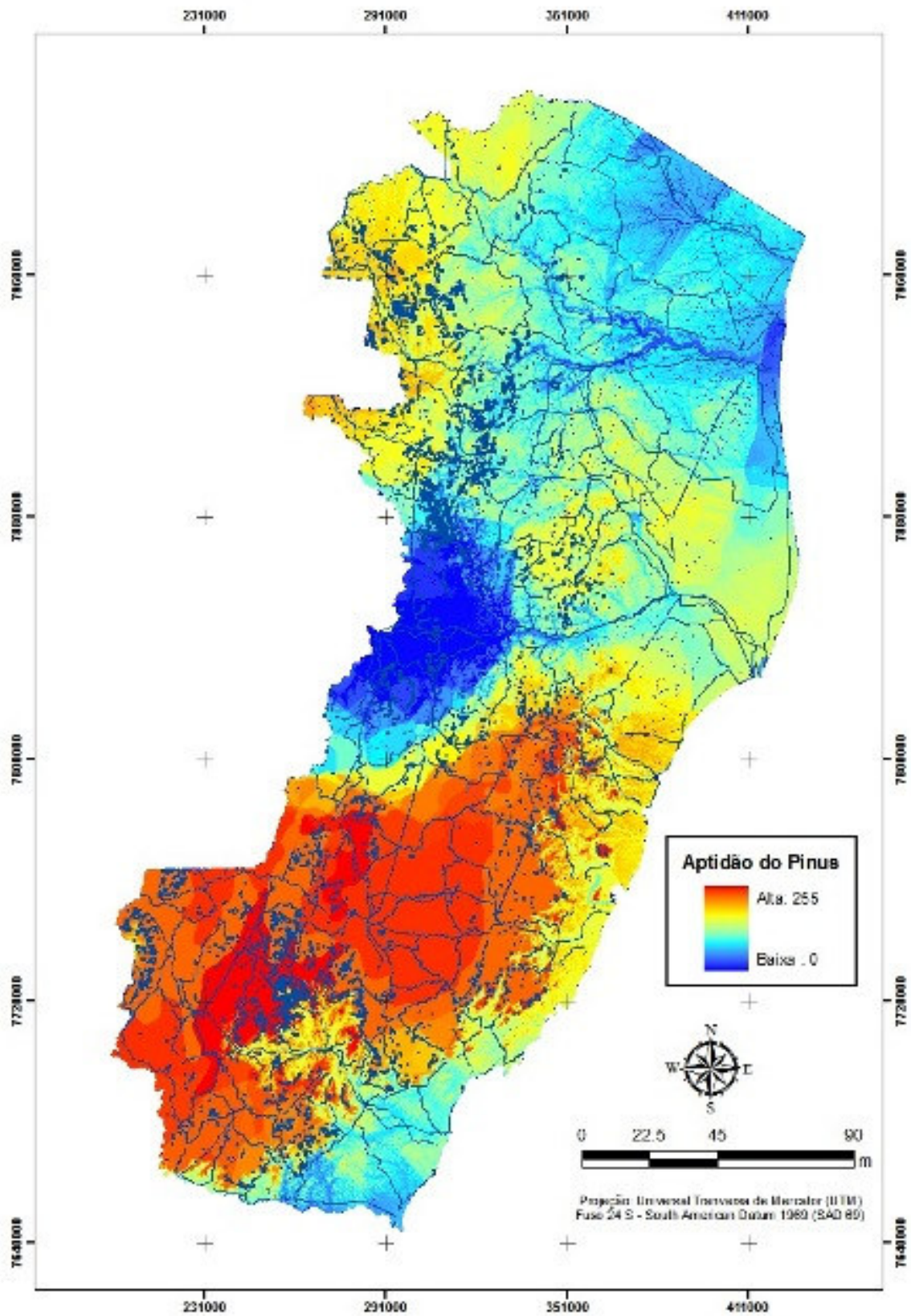


Figura 13 – Zoneamento edafoclimático do pinus (*Pinus Elliottivar. Elliottii*) para o Estado do Espírito Santo.

Fonte: Autor (2011).

5. CONCLUSÕES

Com base na análise dos dados e interpretação dos resultados, obtidos a partir do que foi proposto e das condições específicas deste trabalho, conclui-se que:

- a escolha das funções de pertinência *fuzzy* que melhor se adequavam aos fatores edafoclimáticos em estudo, foi de fundamental importância para se obter resultados coerentes com a realidade;
- a determinação dos pesos que determinaram a influência de cada fator sobre a aptidão das espécies, proporcionou resultados próximos a realidade;
- o Estado do Espírito Santo possui áreas com aptidão edafoclimática para todas as espécies, de acordo com os fatores utilizados para estes zoneamentos;
- a determinação de áreas como margens de rios e estradas, áreas declivosas, onde não podem ser implantadas nenhum tipo de atividade agrícola, proporcionou resultados mais coerentes com a legislação ambiental;
- as áreas com melhor aptidão para a seringueira e paricá são semelhantes, porém para o paricá as áreas são mais restritas, devido ao fator solo e pelas condições pluviométricas médias do Estado que não atendem adequadamente as necessidades da espécie;
- são necessários mais estudos sobre as exigências edafoclimáticas do paricá, uma vez que a literatura carece dessas informações.
- a espécie Pinuspor não ser tolerante à altas deficiências hídricas, a sua área de implantação é mais restrita (região Sul) quando comparada com a seringueira e paricá.
- a análise multicritério utilizando a lógica *fuzzy*, proporciona resultados mais próximos a realidade quando comparado com o zoneamento booleano, por permitir a codificação de conhecimentos inexatos e, conseqüentemente, não causar mudanças abruptas na paisagem que levariam locais semelhantes a terem classificações diferentes.

6. REFERÊNCIAS

ABRAF. Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2008. Brasília-DF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, p. 120, 2009.

AMATA. Revisão sobre paricá: *Schizolobiumamazonicum* Huber ex Ducke. 2009. Disponível em: <http://www.amatabrasil.com.br/pt/operacoes/Revisao_Parica_23-09-09.pdf>. Acesso em 28 mai. 2011.

ANDRADE JUNIOR, A. S. de. et al. Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e de soja no Estado do Piauí. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 544-520, 2001.

ASSAD, E. D. et al. Zoneamento agroclimático para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no Estado de Goiás e sudoeste do Estado da Bahia. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 510-518, 2001.

BENDA, F. Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos dos Goytacazes/RJ utilizando sistemas de informação geográfica. 2008. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2008.

BRASIL. Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 16 set. 1965, p. 9529. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/>>. Acesso em: 01 jun. 2011.

BRASIL. Lei nº 6766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 20 dez. 1979, p. 19457. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/>>. Acesso em: 01 jun. 2011.

BURROUGH, P.A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science*, OsneyMead, UK, v.40, p.477-492, 1989.

BURROUGH, P. A. Principles of geographical information system for land resources assessment – Monograph on Soil and Resource. Oxford: Claredon, 1993. 194p.

CALIJURI, M. L.; LORENTZ, J. F. Apostila do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Análise Multi-critério. Viçosa: UFV, 2003. 73p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Capítulo 1: Apresentação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. e MONTEIRO, A.M.V. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. 2002.

CÂMARA, G.; MEDEIROS J.S.de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. (Ed.). *Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura*, Brasília: EMBRAPA-CPA, p.1-11, 1998.

CAMARGO, Â.P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1971. 28p. (Boletim Técnico, 116).

CAMARGO, A.P; MARIN, F.R; CAMARGO, M.B.P. Zoneamento climático da heveicultura no Brasil. Campinas – SP, Embrapa Monitoramento por satélite. Documento 24, p. 19,2003.

CARPANEZZI, A. A. et al. Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná. Brasília; EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, p. 89, 1986.

CARVALHO, P.E.R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, Brasília-DF: EMBRAPA-SPI, p 639, 1994.

CASTRO, F. S. Zoneamento agroclimático para a cultura do Pinus no Estado do Espírito Santo. Alegre, 2008. 101f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

CECILIO, R.A. et al. Zoneamento climático associado ao potencial de cultivo das culturas do café, cana-de-açúcar e amendoim nas sub-bacias do alto e médio São Francisco em Minas Gerais. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 39-45, 2003.

CIIAGRO. Zoneamento macro - Aptidão ecológica da cultura da seringueira. Governo do Estado de São Paulo. 2009. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/znmt_macro_21.html>. Acesso em: 28 mai. 2011.

COELHO, S. Dólares, gota a gota. Globo Rural, p.76-79, maio. 1989.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. Introduzindo Hidrologia: apostila. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, v.8, p 76-95, mar. de 2011. Disponível em: <http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/apostila_hidrologia/cap%208%20-%20Evapotranspira%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 28/05/2011.

COSTA, T.C.C. et al. Favorabilidade de terras para a agricultura familiar por meio da análise multicritério. Revista Geografia, Universidade Federal de Londrina, Departamento de Geociências, Londrina, v. 14, n. 2, p. 5-47. 2005.

CRESPO, T. R.; MINNICK, G.; VARGAS, J. Evaluación de algunas leguminosas en el trópico de Cochabamba, Bolivia. In: EVANS, D. O.; SZOTT, L. T., ed. Nitrogen fixing trees for acid soils: proceedings of a workshop. Morrilton: NFTA / Winroch International, 1995. p. 103-112.

CUNHA, T. J. F. et al. Influência da diferenciação pedológica no desenvolvimento da seringueira no município de Oratórios, MG. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, p. 145-155, 2000.

DIAS, B.A.S et al. Zoneamento ecológico para cinco espécies arbóreas no Estado de Minas Gerais. 2010. Trabalho acadêmico – Introdução aos Sistemas de Informações Geográficas – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

EASTMAN, J.R. et al. Rasters procedures for multicriteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering and RemoteSensing*, Bethesda, v.61, n.5, p.539-547, 1995.

EASTMAN, J. R. IDRISI Andes for Windows. Version 15.0. Worcester-MA, Graduate School for Geography, Clark University, 1997. 192 p.

EMBRAPA. Zoneamento agroclimático facilita o planejamento agrícola.2007. Disponível em: <<http://www.cpatu.embrapa.br/noticias/2007/agosto/2a-semana/zoneamento-agroclimatico-facilita-o-planejamento-agricola-1>>. Acesso em 22 mai. 2011.

EMBRAPA – Embrapa Florestas. Sistema de produção. 2005. Disponível em; <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/apresentacao.htm>>. Acesso em 30 mai. 2011.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Ed. 2. Rio de Janeiro: EMBRAPA – SPI, 2009.

FERREIRA, C.C.M. Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais. 158 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil; (2ª aproximação). Belo Horizonte, Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (PRODEPEF, Série Técnica, 11).

GOMES, L. F. A. M. et al. Tomada de decisões em cenários complexos. São Paulo: Pioneira, 2004

HEVEABRASIL. *Hevea brasiliensis* (Seringueira). 2007. Disponível em: <www.heveabrasil.com/noticias/hevea_brasiliensis_fotos.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2011.

HEWLETT, J.D. Principles of Forest Hydrology. Athens: The University of Georgia. Press, p 183, 1982.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Pará. O cultivo da seringueira (*Hevea spp.*). Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. 2004. Disponível em: <http://www.iapar.br/zip_pdf/cultsering.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2011.

IBGE. Mapa interativo de solos do Brasil. 2005. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 2 jun. 2011.

INCAPER. Governo lança Programa de Expansão da Heveicultura durante o V Simpósio Capixaba de Seringueira. 2009. Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br/?a=noticias/2009/abril/noticias_14_04_2009>. Acesso em : 20 mai 2011.

LARCHER, W. Ecofisiologia Vegetal. São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, 2004.

LEITE, C.C. Análise da precipitação pluviométrica no Estado do Paraná utilizando o SUFFER 5.0. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza. Anais eletrônicos... Disponível em: <<http://www.cbmet.com/edicoes.php?cgid=22>>. Acesso em 30 mai. 2011.

LUNZ, A.M. et al. Ocorrência de *Pantophthalmuskertesziense* *P. chuni* (Diptera: Pantophthalmidae) em paricá, no Estado do Pará. Revista Pesquisa Florestal Brasileira. Revista Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 30, n. 61, p. 71-74, 2010.

MACEDO, R. L. G. et al. Introdução de clones de seringueira no Nordeste do Estado de Minas Gerais. Cerne, Lavras, v.8, n.1, p. 124-133, 2002.

MARTORANO, L.G. et al. Condições topobioclimática associadas à ocorrência de taxi-branco (*Sclerolobium panuculatum* Vogel) e paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) preferenciais para implantação de plantios florestais no Estado do Pará. In: XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do solo e da água, 18., 2010. Teresina - PI. Anais... Piauí, 2010.

MEDEIROS, S. de S. et al. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 247-255, 2005.

NAPPO, M. E.; NAPPO, A.E.; PAIVA, H.N. Zoneamento Ecológico de Pequena Escala para Nove Espécies Arbóreas de Interesse Florestal no Estado de Minas Gerais. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*. Volume 5. 14p. 2005

NASCIMENTO, F.R. do.; CUNHA, S.B.; ROSA, M. de F. Classes de solos e unidades morfo-pedológicas na Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú – Ceará. Goiânia. Anais...Goiânia-GO, 2006. Disponível em: <<http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/016.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2011.

OLIVEIRA, A.G. A questão do valor do clima: reflexões em torno de um valor conceitual para a precipitação pluviométrica na produção agrícola. 2010. 150f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

OLIVEIRA, A. S. de. Precipitação pluviométrica. In: *Fundamentos de Meteorologia e Climatologia*. Bahia, 2008. cap 11. Disponível em: <http://www.ufrb.edu.br/neas/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=36>. Acesso em: 30 mai. 2011.

PAIVA, Y. G. et al. Zoneamento agroecológico de pequena escala para *Toona ciliata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim – ES, utilizando dados SRTM. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26, INPE, p. 1785-1792, abril 2007.

PEREIRA, A. P.; MELO, C. F. M.; ALVES, S. de M. O paricá(*Schizolobiumamazonicum*): características gerais da espécie e suas possibilidades na indústria de celulose e papel. *Silvicultura em São Paulo*, v. 16A, n. 2, p. 1340-1344, 1982.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba:Agropecuária, 2002. 478 p.

PILAU, F.G. et al. Zoneamento Agroclimático da heveicultura para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Piracicaba, v.15, n.2, p. 161-168, 2007

RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença. *Revista Engenharia Civil*, Minho, Portugal, n. 10, Universidade do Minho, 2001. p. 7-29.

RAMOS, R. A. R. *Localização Industrial: um modelo para o noroeste de Portugal*. Tese (doutorado) - Braga: Minho-Portugal, Universidade do Minho, In: RAMOS & RAMOS, 2000.

REBOUÇAS, F. Zoneamento agroclimático. Texto disponibilizado em 21 set. 2010. In: InfoEscola Navegando e Aprendendo. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/geografia/zoneamento-agroclimatico/>>. Acesso em: 29 maio 2011.

RIBEIRO, I. O. et al. Zoneamento Agroclimático da Seringueira para o Estado do Espírito Santo aplicando lógica Fuzzy. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba-PR. Anais... INPE, 2011. p.1851.

RICKLI, L.I.; CATANEO, A.; FILHO, J.S. das V. Comparação de três métodos para estimativa dos parâmetros da distribuição gama em dados diários de precipitação pluviométrica. *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu, n. 2, v. 23, p. 53-61, 2008.

ROSA, L. dos S. Ecologia e silvicultura do Paricá (*Schizolobiumamazonicum* Huber ex Ducke) na Amazônia brasileira. Revista de Ciências Agrárias, Belém-PA, n. 45, p.135-174, 2006.

ROSSI, L. M. B. et al. Aspectos silviculturais e socioeconômicos de uma espécie de uso múltiplo: o caso de *Schizolobiumamazonicum* (Hub.) Ducke. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 8., 2000, Nova Prata. Anais... Nova Prata: Prefeitura Municipal ; Santa Maria: UFSM, 2001 p. 271-279. 1 CD-ROM.

ROSSMANN, H.; GAMEIRO, A.H. O futuro da heveicultura brasileira. Revista Florestar Estatístico, São Paulo – SP, v. 9, n. 18, p. 14-19, nov. 2006.

ROSSMANN, H. Panorama nacional da heveicultura. 2007. Disponível em <www.incaper.es.gov.br/congresso_seringueira/downloads/apresentacao_palestras/Heiko/palestra.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2011.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*. n.15, p.234-281, 1977.

SANTOS, A.R et al. Zoneamento agroclimático para a cultura do café conilon (*Coffeacanephora*) e arábica (*Coffea arabica*) na Bacia do Itapemirim, ES, Brasil. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, n.8 v.1 p.19-37, 2000.

SANTOS, A. R. ArcGIS 9.1 total: aplicações para dados espaciais. Ed 1, Vitória, ES: Fundagres, 2007.

SEAG/ES. Silvicultura. 2006. Disponível em <<http://www.seag.es.gov.br/silvicultura.htm>> acesso em: 20/05/2011.

SEDIYAMA, G.C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 501-509, 2001.

SIQUEIRA, J. D. P. et al. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do Estado do Espírito Santo. Floresta, Edição especial, nov/2004, p. 3-67.

SOUZA, C.R. de. et al. Paricá: *Schizolobiumparahyba* var. *amazonicum*(Huber x Ducke) Barneby. Manaus-AM: EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2003, p. 12. (Embrapa Amazônia Ocidental. Circular técnica, 18). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/676209>. Acesso em: 02 jun. 2011.

VAREJÃO, P. Governo incentiva a produção de seringueira no Norte do Estado. 2010. Disponível em: <http://www.es.gov.br/site/noticias/show.aspx?noticiald=99713835>>. Acesso em: 24 mai. 2011.

VAREJÃO, P. Incaper realiza VI Simpósio Capixaba sobre Seringueira. 2010. Disponível em: <http://www.es.gov.br/site/noticias/show.aspx?noticiald=99709461>>. Acesso em: 25 jun. 2011.

ZADEH, L.A. Fuzzy sets and systems. Systems theory. New York, Brooklyn Institute, 1965. p. 29-39.

ANEXOS

Anexo 1 – Estações meteorológicas e postos pluviométricos de onde foram retirados os dados para o estudo.

Estação	Responsável	Municípios	Altitude (m)	Latitude	Longitude
01839000	ANA	Pedro Canário	66	-18°18'	-39°57'
01839001	ANA	Conceição da Barra	3	-18°33'	-39°45'
01839006	ANA	São Mateus	6	-18°57'	-39°46'
01840000	ANA	Águia Branca	180	-18°59'	-40°45'
01840003	ANA	São Mateus	90	-18°29'	-40°05'
01840004	ANA	Barra de S. Francisco	192	-18°45'	-40°53'
01840007	ANA	Água Doce do Norte	280	-18°32'	-40°59'
01840008	ANA	Jaguaré	60	-18°58'	-39°59'
01840009	ANA	Ecoporanga	190	-18°07'	-40°53'
01840010	ANA	Nova Venécia	300	-18°48'	-40°41'
01840011	ANA	Ecoporanga	200	-18°11'	-40°43'
01840012	ANA	Montanha	96	-18°09'	-40°08'
01840013	ANA	Ecoporanga	300	-18°21'	-40°50'
01840015	ANA	Ecoporanga	400	-18°12'	-40°36'
01840016	ANA	Nova Venécia	96	-18°29'	-40°28'
01840017	ANA	Pinheiros	100	-18°19'	-40°24'
01840019	ANA	Nova Venécia	80	-18°42'	-40°26'
01840020	ANA	Boa Esperança	100	-18°33'	-40°20'
01841009	ANA	Mantenópolis	900	-18°54'	-41°07'
01841010	ANA	Água Doce do Norte	500	-18°24'	-41°02'
01939002	ANA	Linhares	3	-19°34'	-39°47'
01940000	ANA	Itarana	165	-19°52'	-40°52'
01940001	ANA	Santa Tereza	149	-19°48'	-40°40'
01940002	ANA	Aracruz	5	-19°57'	-40°09'
01940005	ANA	João Neiva	50	-19°41'	-40°24'
01940006	ANA	Colatina	40	-19°31'	-40°37'
01940007	ANA	Fundão	50	-19°56'	-40°24'
01940009	ANA	Pancas	135	-19°13'	-40°51'
01940010	ANA	Santa Tereza	675	-19°57'	-40°33'
01940012	ANA	Itaguaçu	70	-19°39'	-40°50'
01940013	ANA	Governador Lindenberg	170	-19°14'	-40°35'

Anexo 1– Cont.

01940016	ANA	São Domingos do Norte	70	-19°03'	-40°31'
01940020	ANA	Santa Tereza	690	-19°57'	-40°44'
01940021	ANA	Aracruz	58	-19°49'	-40°16'
01940022	ANA	Aracruz	50	-19°35'	-40°11'
01940023	ANA	Rio Bananal	95	-19°16'	-40°19'
01940025	ANA	Governador Lindenberg	80	-19°17'	-40°31'
01941003	ANA	Baixo Guandu	70	-19°31'	-41°00'
01941008	ANA	Laranja da Terra	250	-19°54'	-41°03'
01941009	ANA	Baixo Guandu	160	-19°41'	-41°01'
01941012	ANA	Alto Rio Novo	600	-19°03'	-41°01'
02040001	ANA	Viana	80	-20°24'	-40°29'
02040003	ANA	Serra	70	-20°11'	-40°19'
02040004	ANA	Guarapari	6	-20°39'	-40°30'
02040005	ANA	Iconha	25	-20°47'	-40°49'
02040006	ANA	Itapemirim	40	-20°57'	-40°57'
02040007	ANA	Santa Maria de Jetibá	710	-20°01'	-40°44'
02040008	ANA	Santa Maria de Jetibá	940	-20°08'	-40°58'
02040009	ANA	Anchieta	6	-20°48'	-40°39'
02040010	ANA	Santa Leopoldina	160	-20°06'	-40°32'
02040011	ANA	Alfredo Chaves	515	-20°33'	-40°49'
02040012	ANA	Marechal Floriano	544	-20°24'	-40°40'
02040013	ANA	Rio Novo do Sul	80	-20°52'	-40°56'
02040014	ANA	Cariacica	200	-20°15'	-40°28'
02040015	ANA	Domingos Martins	640	-20°17'	-40°47'
02040017	ANA	Iconha	265	-20°43'	-40°53'
02040018	ANA	Santa Maria de Jetibá	410	-20°04'	-40°36'
02040022	ANA	Vila Velha	3	-20°31'	-40°22'
02040023	ANA	Domingos Martins	804	-20°28'	-40°56'
02041000	ANA	Atílio Vivácqua	76	-20°54'	-41°12'
02041001	ANA	Guaçuí	576	-20°46'	-41°40'
02041002	ANA	Castelo	107	-20°36'	-41°12'
02041003	ANA	Alegre	127	-20°25'	-41°28'
02041010	ANA	Vargem Alta	580	-20°42'	-41°01'
02041011	ANA	Conceição do Castelo	600	-20°21'	-41°14'
02041013	ANA	Lúna	615	-20°20'	-41°32'
02041014	ANA	Dores do Rio Preto	772	-20°41'	-41°50'
02041015	ANA	Muqui	600	-20°56'	-41°24'
02041016	ANA	Ibitirama	794	-20°32'	-41°40'

Anexo 1 – Cont.

02041017	ANA	Irupi	920	-20°19'	-41°42'
02041018	ANA	Muniz Freire	580	-20°22'	-41°24'
02041019	ANA	Muniz Freire	380	-20°31'	-41°30'
02041020	ANA	Domingos Martins	1075	-20°22'	-41°03'
02041021	ANA	Cachoeiro de Itapemirim	180	-20°40'	-41°21'
02041023	ANA	Afonso Cláudio	300	-20°04'	-41°07'
02140000	ANA	Itapemirim	4	-21°00'	-40°50'
02141014	ANA	Mimoso do Sul	59	-21°12'	-41°27'
02141015	ANA	Mimoso do Sul	67	-21°03'	-41°21'
02141016	ANA	São José do Calçado	150	-21°02'	-41°39'
02141017	ANA	Mimoso do Sul	120	-21°03'	-41°14'
-	INCAPER	Alegre	138	-20°45'	-41°28'
-	INCAPER	Alfredo Chaves	35	-20°37'	-40°44'
-	INCAPER	Domingos Martins	950	-20°22'	-41°03'
-	INCAPER	Ecoporanga	250	-18°22'	-40°49'
-	INCAPER	Venda Nova do Imigrante	727	-20°22'	-41°11'
-	INCAPER	Itarana	245	-19°52'	-40°52'
-	INMET	Linhares	28	-19°24'	-40°04'
-	INCAPER	Marilândia	104	-19°24'	-40°32'
-	INCAPER	Muniz Freire	575	-20°28'	-41°25'
-	INCAPER	Santa Tereza	648	-19°54'	-40°33'
-	INCAPER	São Gabriel da Palha	120	-18°59'	-40°32'
-	INCAPER	São J. de Petrópolis	150	-19°47'	-40°40'
-	INMET	São Mateus	25	-18°42'	-39°50'
-	INMET	Vitória	36	-20°17'	-40°19'
01740000	ANA	Carlos Chagas (MG)	146	-17°42'	-40°45'
01740001	ANA	Nanuque (MG)	92	-17°50'	-40°22'
01841006	ANA	Mantena (MG)	360	-18°41'	-41°12'
01841007	ANA	Ataléia (MG)	210	-18°12'	-41°15'
01841008	ANA	Ataléia (MG)	250	-18°02'	-41°06'
01841018	ANA	Central de Minas (MG)	260	-18°45'	-41°18'
01941004	ANA	Resplendor (MG)	130	-19°20'	-41°14'
01941010	ANA	Aimóres (MG)	115	-19°29'	-41°09'
01941019	ANA	Mutum (MG)	250	-19°48'	-41°26'
02041005	ANA	Caiana (MG)	747	-20°41'	-41°55'
02041008	ANA	Manhuaçu (MG)	458	-20°06'	-41°43'
02041048	ANA	Manhuaçu (MG)	540	-20°10'	-41°57'
02041046	ANA	Natividade (RJ)	650	-20°55'	-41°51'

Anexo 1– Cont.

02141001	ANA	São João da Barra (RJ)	15	-21°29'	-41°06'
02141003	ANA	Campos dos Goyt. (RJ)	20	-21°29'	-41°36'
01739006	ANA	Nova Viçosa (BA)	59	-17°48'	-39°39'

ANA: Agência Nacional de Águas; INCAPER: Instituto Capixaba de Pesquisas e Extensão Rural; INMET: Instituto Nacional de Meteorologia.

Fonte: CASTRO (2008).