

WALDIR DE CARVALHO JUNIOR

**CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE PEDOPAISAGENS DO  
DOMÍNIO DOS MARES DE MORROS UTILIZANDO REDES NEURAIAS  
ARTIFICIAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C331c  
2005

Carvalho Junior, Waldir de, 1960-

Classificação supervisionada de pedopaisagens do domínio dos mares de Morros utilizando Redes Neurais Artificiais. / Waldir de Carvalho Junior. – Viçosa : UFV, 2005.

xvi, 143f. : il. ; 29cm.

Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referência bibliográficas : f. 125-130

1. Mapeamento do solo – Rio de Janeiro (Estado), noroeste. 2. Redes neurais (computação). 3. Mapeamento digital  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.47

À Thais, minha esposa e companheira, que soube compreender minhas dúvidas e escutar meus problemas, e meus filhos Bárbara e Thomaz, pois não pude lhes dar a atenção devida, mas que souberam compreender minha ausência.

A meus pais, pela oportunidade que me ofereceram de estudar e poder crescer como cidadão e com dignidade.

## AGRADECIMENTOS

**...”pela minha formação, eu devo isso à comunidade, pelo privilégio de não ter morrido quando criança, de ter podido estudar, enfim, por todos os privilégios que nós tivemos, acho que isso merece e nos obriga a uma devolução. Esta devolução é a nossa atividade, é a nossa ação para alterar esta realidade.”**

Aloísio Magalhães (**E Triunfo**, 1997, p.82)

Agradeço a todos os que participaram desta etapa de minha vida e os que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho se tornasse uma realidade.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Prof. Elpídio, pela disponibilidade de me acompanhar nesta trajetória, pelos conselhos e orientações e pela confiança em mim depositada.

Ao conselheiro Prof. Carlos Vieira, pelo apoio e ensinamentos, em campos da ciência que ainda não conhecia.

Ao Prof. João Ker, pelo apoio e orientações.

Ao Prof. Carlos Schaefer, em quem descobri um grande pesquisador e amigo, pelo apoio e confiança.

Aos demais professores, com os quais compartilhei aprendizagens enriquecedoras.

Aos colegas e amigos, com quem dividi experiências, dúvidas, receios e alegrias durante todo o curso. Em especial ao César Chagas, que compartilhou comigo todas as fases deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial à Luciana, que sempre me atendeu com atenção e tranquilidade.

Ao NUGEO (Núcleo de Geoprocessamento Prof. Aspiazú) pelos recursos de informática disponibilizados.

À minha mãe, D<sup>a</sup> Theresa, pelas correções e revisão do texto.

À UFV pela possibilidade de realização deste trabalho.

À EMBRAPA, pela oportunidade deste aperfeiçoamento profissional e humano.

## **BIOGRAFIA**

Waldir de Carvalho Junior é natural do Rio de Janeiro – RJ, onde iniciou seus estudos e concluiu o segundo grau em 1977.

Graduou-se, em fevereiro de 1985, no curso de Agronomia na Escola Superior de Agricultura de Lavras (hoje Universidade Federal de Lavras). Em seguida, por dois anos aplicou seus conhecimentos, labutando na terra. Em 1988 ingressou na EMGOPA, como pesquisador à disposição do Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS) da EMBRAPA, sediado em Goiânia (GO). Em 1990 ingressou, através de concurso, público no CNPS, onde trabalha até hoje.

Neste período, realizou entre 1993 e 1996, o curso de pós-graduação, a nível de mestrado, no Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Durante toda a sua experiência profissional, trabalhou com levantamentos de solos, interpretações de levantamentos e, após o curso de mestrado, pôde incorporar aos seus trabalhos, as técnicas modernas de geoprocessamento.

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE QUADROS .....	xiii
LISTA DE ANEXOS .....	xv
RESUMO .....	xvi
ABSTRACT .....	xviii
1. Introdução .....	1
2. Objetivos.....	2
3. Base Conceitual e Revisão Bibliográfica .....	3
3.1. Modelos .....	4
3.2. Sistemas .....	5
3.3. Paisagem.....	6
3.4. Pedologia.....	8
3.5. Geomorfologia .....	14
3.6. Classificação .....	19
3.6.1. Redes Neurais Artificiais .....	20
3.6.2. Máxima verossimilhança .....	25
3.7. Parametrização dos Atributos Geomorfométricos e Geoprocessamento.....	26
3.7.1. Modelo Digital de Elevação (MDE).....	28
3.7.2. Declividade .....	28
3.7.3. Aspecto.....	28
3.7.4. Superfícies de curvatura.....	28
3.7.5. Sentido do escoamento superficial .....	29
3.7.6. Escoamento superficial acumulado.....	30

3.7.7. Altimetria relativa de sub-bacias.....	31
3.7.8. Distância euclidiana da hidrografia. ....	32
<b>4. Material, Métodos e Procedimentos.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1. Material .....</b>	<b>33</b>
4.1.1. Breve histórico .....	33
4.1.2. Base cartográfica .....	35
4.1.3. Geologia .....	38
4.1.3.1. Contexto Geológico Regional.....	38
4.1.3.2. Neoproterozóico/Cambriano.....	39
4.1.3.2.1. Suíte Natividade (N?2 n).....	39
4.1.3.2.2. Suíte Varre-Sai (N?3 v).....	40
4.1.3.3. Meso/Neoproterozóico.....	40
4.1.3.3.1. Complexo Paraíba do Sul.....	40
4.1.4. Geomorfologia .....	46
4.1.5. Litologia .....	49
4.1.6. Solos .....	50
4.1.7. Clima .....	54
<b>4.2. Métodos e Procedimentos.....</b>	<b>56</b>
4.2.1. Os sistemas utilizados (Softwares).....	56
4.2.2. Interpolação para criação do modelo digital de elevação.....	56
4.2.3. Definição do tamanho da célula da grade do MDE e temas envolvidos. ....	58
4.2.4. Cálculo e remoção das depressões espúrias.....	59
4.2.5. Cálculo da declividade em porcentagem.....	60
4.2.6. Cálculo do Aspecto.....	60
4.2.7. Cálculo da superfície de curvatura.....	60
4.2.8. Cálculo do sentido do escoamento superficial.....	61
4.2.9. Cálculo do escoamento superficial acumulado .....	61
4.2.10. Cálculo da altimetria relativa de subbacias. ....	62
4.2.11. Cálculo da distância euclidiana em relação à drenagem. ....	64
4.2.12. Definição das unidades de paisagem. ....	64
4.2.13. Reconhecimento do padrão geomórfico das paisagens.....	65
4.2.14. Classificação das paisagens pela rede neural artificial. ....	65
<b>5. Resultados e discussão. ....</b>	<b>66</b>
5.1. Avaliação e definição da resolução da grade.....	66
5.2. Removendo as depressões espúrias do MDE.....	69
5.3. Os temas derivados do MDE e suas características gerais.....	69
5.3.1. Tema declividade em porcentagem. ....	70

5.3.2. Tema de Aspecto.....	72
5.3.3. Temas Curvatura e Perfil e Plano de curvatura.....	74
5.3.4. Tema do sentido do escoamento superficial.....	75
5.3.5. Tema escoamento superficial acumulado. ....	77
5.3.6. Tema da altimetria relativa das subbacias.....	78
5.4. Tema de precipitação.....	81
5.5. Tema de distância euclidiana. ....	82
5.6. Padrões geomórficos das unidades de paisagem. ....	84
5.6.1. Padrão geomórfico da paisagem do domínio dos Latossolos.....	84
5.6.2. Padrão geomórfico da paisagem do domínio dos Argissolos. ....	88
5.6.3. Padrão geomórfico da paisagem do domínio dos Gleissolos.....	91
5.6.4. Padrão geomórfico da paisagem do domínio dos Cambissolos. ....	95
5.6.5. Padrão geomórfico da paisagem do domínio dos Afloramentos. ....	100
5.7. Análise conjunta dos padrões geomórficos das unidades de paisagem. ....	104
5.8. Classificação supervisionada das paisagens.....	106
5.8.1. Definição da arquitetura e validação das RNA´s. ....	106
5.8.1.1. Padrões coletados criteriosamente.....	108
5.8.1.2. Padrões coletados aleatoriamente.....	111
5.8.2. A classificação pelas RNA´s e pelo Maxver.....	115
5.9. Discussão das classificações.....	117
6. Conclusões.....	122
7. Recomendações.....	123
8. Bibliografia .....	125
9. ANEXOS.....	131

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Representação esquemática bi-dimensional das nove unidades de solos de áreas montanhosas (a partir de DALRYMPLE <i>et al.</i> , 1968).....	17
Figura 02. Modelo não-linear de neurônio. (Fonte: HAYKIN, 2001).....	21
Figura 03. Representação da direção das faces das vertentes ou aspecto.....	29
Figura 04. Esquema de sentido do escoamento superficial calculado pelo sistema de informação geográfica utilizado (ESRI, 1996a).....	30
Figura 05. Representação esquemática da geração da grade de escoamento superficial acumulado a partir da grade do sentido do escoamento superficial.....	31
Figura 06. Representação gráfica do cálculo da distância euclidiana de uma célula.....	32
Figura 07. Localização da mesorregião noroeste fluminense em relação ao estado do Rio de Janeiro, dos municípios de Natividade, Porciúncula e Varre-Sai, sobre imagem ASTER e o retângulo interno limitando a área de estudo.....	36
Figura 08. Folha Varre-Sai com feições vetoriais planialtimétricas.....	37
Figura 09. Parte da Carta Geológica do estado do Rio de Janeiro, com a delimitação da área de estudo (SILVA & CUNHA, 2001).....	46
Figura 10: Mapa de Litologia de parte do estado do Rio de Janeiro, com o limite da área de estudo.....	50
Figura 11. Mapa de solos da folha Varre-Sai com os símbolos de algumas unidades de mapa.....	51
Figura 12. Isoietas de precipitação média anual da mesorregião Noroeste fluminense..	55
Figura 13: Pré-processamento das feições vetoriais associadas à hidrografia.....	57
Figura 14. Esquema de avaliação do tamanho da célula para otimização da grade do MDE.....	59
Figura 15. Representação esquemática da arquitetura da RNA.....	66
Figura 16. Raiz quadrada da média da declividade ao quadrado em função da resolução do MDE dividido sucessivamente entre 240 e 7,5 m.....	67

Figura 17. Comparação entre as curvas de nível derivadas dos MDE's, de cor vermelha, e aquelas originais da folha topográfica Varre-Sai, de cor verde....	68
Figura 18. Visualização 3D com exagero vertical de 3x do MDE hidrologicamente correto com 20 m de resolução e suas características numéricas.....	70
Figura 19. Mapa de declividade de toda a área de estudo, classificado segundo Embrapa (1999).....	71
Figura 20. Histograma com as áreas absolutas de cada classe de declividade, para toda a área.....	72
Figura 21. Representação do tema Aspecto de toda a área de estudo, com as faces classificadas como norte (315 a 45°), leste (45 a 135°), sul (135 a 225°) e oeste (225 a 315°).....	73
Figura 22. Representação dos temas relativos à curvatura, perfil de curvatura e curvatura plana.....	74
Figura 23. Representação do tema de escoamento superficial da área de estudo.....	76
Figura 24. Distribuição das áreas de cada sentido de escoamento.....	77
Figura 25. Parte do tema escoamento superficial acumulado, sendo sobreposto pela drenagem vetorial.....	78
Figura 26. Bacias hidrográficas da área de estudo.....	79
Figura 27. Bacias de contribuição para cada segmento da drenagem representado por cores diferentes, para parte da área de estudo.....	80
Figura 28. Grade com valores de altimetria relativa, em metros, para as bacias de contribuição de cada segmento da drenagem.....	81
Figura 29. Representação do tema de precipitação média anual, em mm/ano, para toda a área de estudo.....	82
Figura 30. Distribuição percentual da área de cada classe de distância euclidiana a partir da hidrografia.....	83
Figura 31. Visualização de parte da área de estudo com as classes de distância euclidiana.....	83
Figura 32. Aspecto geral da unidade de paisagem dos Latossolos.....	84
Figura 33. Aspecto de área arada da unidade de paisagem dos Latossolos.....	85
Figura 34. Histogramas de distribuição dos valores numéricos dos temas envolvidos e pertencentes à unidade de paisagem de domínio dos Latossolos.....	87
Figura 35. Aspecto da degradação em forma de processos erosivos das terras da unidade de paisagem de domínio dos Argissolos.....	89
Figura 36. Outro aspecto dos processos erosivos de degradação das terras da unidade de paisagem de domínio dos argissolos.....	89
Figura 37. Histogramas de distribuição dos valores numéricos dos temas envolvidos e pertencentes à unidade de paisagem de domínio dos argissolos.....	92
Figura 38. Aspecto da unidade de paisagem dos Gleissolos associados ao final da encosta aluvial, em primeiro plano, e ao fundo o domínio colinoso da unidade de paisagem de domínio dos Latossolos.....	93
Figura 39. Aspecto da unidade de paisagem de domínio dos Gleissolos, em primeiro plano, e dos Argissolos ao fundo.....	93

Figura 40. Histogramas de distribuição dos valores numéricos dos temas envolvidos e pertencentes à unidade de paisagem de domínio dos Gleissolos.....	96
Figura 41. Aspecto da unidade de paisagem de domínio dos Cambissolos, em relevo forte ondulado e montanhoso.....	97
Figura 42. Histogramas de distribuição dos valores numéricos de alguns dos temas envolvidos e pertencentes à unidade de paisagem do domínio dos Cambissolos.....	99
Figura 43. Ao fundo observa-se aspecto da unidade de paisagem do domínio dos Afloramentos de Rocha.....	100
Figura 44. Histogramas de distribuição de valores de alguns dos atributos geomorfométricos da unidade de paisagem dos Afloramentos de Rocha.....	103
Figura 45 Padrão geomórfico das cinco unidades de paisagem (Os valores para cada média das variáveis foram re-escalados entre 0 e 1, pela proporção da classe com valor máximo de média sendo igual a 1 e com valor mínimo de média igual a 0, com o máximo indicado pelo topo da figura).....	105
Figura 46 Representação esquemática da RNA com 10, 7 e 5 neurônios nas camadas de entrada, oculta e de saída (respectivamente) e suas ligações...	111
Figura 47 Erro (SSE) com o aumento do número de neurônios na camada oculta, onde a cor azul representa o 1º treinamento e a rosa representa o 2º.....	112
Figura 48. Mapas de referência das paisagens e aqueles produzidos pelos classificadores supervisionados.....	116
Figura 49. Localização dos perfis NORJ 07 e NORJ 08 sobre a classificação obtida pela rede com 5 neurônios.....	118
Figura 50. Comparação entre a imagem de referência, a classificação pela RNA e pelo maxver.....	119
Figura 51. Topossequência esquemática dos solos na paisagem de domínio dos Latossolos.....	120
Figura 52. Comparação entre a imagem de referência e a classificação pela RNA com 16 neurônios.....	121
Figura 53. Topossequência representativa do sul da área de estudo, onde domina a P2 – Argissolos.....	122

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Evolução e percentuais da área plantada (lavouras permanentes e temporárias), do efetivo do rebanho bovino e da produção leiteira na Mesorregião Noroeste Fluminense.....	33
Quadro 02: Evolução e percentuais da área plantada (lavouras permanentes e temporárias), do efetivo do rebanho bovino e da produção leiteira no Estado do Rio de Janeiro.....	34
Quadro 03. Simbologia e descrição das unidades de mapeamento que compõem a Folha topográfica Varre-Sai.....	52
Quadro 04. Áreas e percentagens das unidades de mapeamento e das classes de solos da folha Varre-Sai.....	54
Quadro 05. Sintaxe utilizada no comando “ <i>TOPOGRID</i> ”.....	58
Quadro 06. Seqüência de sintaxes, ou comandos, para cálculo e remoção das depressões espúrias.....	60
Quadro 07. Valores de máximo, mínimo, média, desvio padrão e raiz da média em relação à resolução dos MDE's gerados.....	67
Quadro 08. Número de depressões espúrias em relação à resolução da grade do MDE.....	67
Quadro 09. Valores de número de células, área e percentual de cada classe de declive considerando toda a área de estudo.....	72
Quadro 10. Valores de número de células, área e porcentagem da direção das faces das vertentes de toda a área de estudo.....	73
Quadro 11. Número de células, área, porcentagem das classes de forma do terreno côncavo e convexo e valores de máximo e mínimo para os temas curvatura, perfil de curvatura e curvatura plana.....	75
Quadro 12. Bacias hidrográficas e respectivas áreas.....	79
Quadro 13. Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões dos temas de atributos numéricos relativos à unidade de paisagem dos Latossolos.....	85
Quadro 14. Distribuição percentual e das áreas de faces norte, leste, sul e oeste, para a unidade de paisagem dos Latossolos.....	86

Quadro 15. Distribuição das classes de valores do tema de escoamento acumulado para a unidade de paisagem dos Latossolos.....	86
Quadro 16. Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões dos temas de atributos numéricos relativos à unidade de paisagem dos Argissolos.....	90
Quadro 17. Distribuição percentual e de áreas das faces norte, leste, sul e oeste, para a unidade de paisagem dos Argissolos.....	90
Quadro 18. Distribuição de área e percentual de faixas de valores do tema de escoamento superficial acumulado.....	91
Quadro 19. Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões dos temas de atributos numéricos relativos à unidade de paisagem dos Gleissolos.....	94
Quadro 20. Distribuição percentual e de áreas das faces norte, leste, sul e oeste, para a unidade de paisagem dos Gleissolos.....	94
Quadro 21. Distribuição de área e percentual de faixas de valores do atributo de escoamento superficial acumulado para a unidade de paisagem dos Gleissolos.....	95
Quadro 22. Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões dos temas de atributos numéricos relativos à unidade de paisagem dos Cambissolos.....	97
Quadro 23. Distribuição percentual e de áreas das faces norte, leste, sul e oeste, para a unidade de paisagem dos Cambissolos.....	98
Quadro 24. Distribuição de área e percentual de faixas de valores do atributo de escoamento superficial acumulado para a unidade de paisagem dos Cambissolos.....	98
Quadro 25. Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões dos temas de atributos numéricos relativos à unidade de paisagem dos Afloramentos de Rocha.....	101
Quadro 26. Distribuição percentual e de áreas das faces norte, leste, sul e oeste, para a unidade de paisagem dos Afloramentos de Rocha.....	101
Quadro 27. Distribuição de área e percentual de faixas de valores do atributo de escoamento superficial acumulado para a unidade de paisagem dos Afloramentos de Rocha.....	102
Quadro 28. Média e desvio padrão das variáveis geomorfométricas para cada tipo de paisagem.....	104
Quadro 29. Número de padrões de treinamento e validação para cada unidade de paisagem obtidos de forma criteriosa e aleatória.....	107
Quadro 30. Matrizes de confusão, índices kappa e outros valores estatísticos da classificação do arquivo de validação pelas RNA's testadas e pelo maxver, em relação ao número de células.....	109
Quadro 31. Matriz de significância de Kappa para as RNA's e maxver testadas.....	110
Quadro 32. Matriz de significância do índice kappa para a validação dos classificadores testados.....	111
Quadro 33. Exatidão global e índice kappa do resultado da classificação da área de estudo pelos classificadores selecionados.....	115
Quadro 34. Descrição sumária dos perfis de solo contidos na área de estudo.....	117

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Tabelas de Vetorização (mapeamento topográfico sistemático) IBGE.....	133
Anexo 2 - Matrizes de confusão da validação das redes selecionadas e onde os padrões de treino foram colhidos aleatoriamente.....	136
Anexo 3 - Matriz de confusão, exatidão global e índice kappa relativos às classificações da área de estudo pelos classificadores selecionados (os valores referem-se ao número de células das grades geradas).....	141

## RESUMO

CARVALHO JUNIOR, Waldir, D.S. Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2005. **Classificação Supervisionada de Pedopaisagens do Domínio dos mares de Morros utilizando Redes Neurais Artificiais.** Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Conselheiros: João Carlos Ker e Carlos Antonio Oliveira Vieira.

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de compreender a organização dos solos de paisagens dos mares de morros, reconhecer seus padrões e subsidiar seu mapeamento. A área de estudo situa-se na Região Noroeste fluminense, englobada pela folha topográfica Varre Sai do IBGE, que abrange parte dos municípios de Natividade, Porciúncula e Varre Sai. Para isso foram avaliadas as feições geomorfométricas que definem um padrão geomórfico das paisagens, sendo composta por altimetria, altimetria relativa, aspecto, curvatura, curvatura plana, perfil de curvatura, declividade, sentido do escoamento, escoamento acumulado e distância euclidiana da drenagem, sendo todas estas feições obtidas por técnicas de geoprocessamento. Todos os atributos foram obtidos a partir do modelo digital de elevação e, em razão disso, os dados primários de elevação foram os mais precisos possíveis. Através destes atributos geomorfométricos elaborou-se um padrão geomorfométrico das paisagens definidas e foram conduzidas classificações supervisionadas, utilizando-se redes neurais artificiais e o algoritmo de máxima verossimilhança, para fins de comparação. Os resultados mostraram ser possível a utilização de redes neurais artificiais para a classificação de paisagens de áreas montanhosas sob dissecação homogênea, com uma exatidão global de 70%, um pouco acima daquela obtida pelo algoritmo de máxima verossimilhança, que obteve uma exatidão global de aproximadamente 66%. Este estudo mostrou que a utilização de técnicas de geoprocessamento para gerar os atributos geomorfométricos, aliados a classificadores supervisionados, pode subsidiar o delineamento dos levantamentos de solos, tornando-os mais rápidos, menos dependentes da experiência do mapeador e menos onerosos, diminuindo a subjetividade dos mesmos. Constitui-se de uma abordagem nova no Brasil, que deve ser estendida para outras áreas com informações mais precisas de altimetria, para testar a sua eficácia.

## ABSTRACT

CARVALHO JÚNIOR, Waldir, D.S. Universidade Federal de Viçosa, August of 2005.  
**Landscapes Supervised classification of Mountainous Areas using Artificial Neural Network.** Adviser: Elpídio hácio Fernandes Filho. Committee members: João Carlos Ker and Carlos Antonio Oliveira Vieira.

The present study was developed with the objective of understanding the soils organization on landscapes of mountainous areas, to recognize its patterns and to subsidize its surveys. The study area is in the Northwest Region of the State of Rio de Janeiro, included by the IBGE's topographical leaf "Varre Sai", that englobe part of the municipal districts of Natividade, Porciúncula and Varre Sai. For that they were appraised the geomorphometrics features that define a geomorphic signature of the landscapes, being composed by elevation, relative elevation, aspect, curvature, curvature planes, curvature profile, slope, flow direction, flow accumulation and drainage's euclidian distance, being all these features obtained by geoprocessing techniques. All the attributes were obtained from the digital elevation model and, in reason of that, the primary data of elevation were the most precise possible. Through these geomorphometric attributes a geomorphic signature of the defined landscapes was elaborated and supervised classifications were made, being used artificial neural network and the algorithm of maximum verisimilitude, for comparison ends. The results showed to be possible the use of artificial neural network for the classification of landscapes of mountainous areas, with a global accuracy of 70%, a little above that obtained by the algorithm of maximum verisimilitude, that obtained a global accuracy of approximately 66%. This study showed that the use of geoprocessamento techniques to generate the geomorphometrics attributes, aided with supervised classifiers, can subsidize the soils surveys, turning them faster, less dependents of the experience of the expert and less onerous, decreasing the subjectivity. It is constituted of an unpublished approach in Brazil, that should be extended for others areas with more precise elevation information, in order to test the effectiveness.

## 1. Introdução

Os estudos relacionados ao meio ambiente são complexos, abrangendo aspectos bióticos e abióticos que interagem com um alto grau de associatividade. Todavia, os levantamentos de recursos naturais, hoje indispensáveis ao sucesso de projetos de desenvolvimento sustentado, buscam estratificar o ambiente em unidades geoambientais homogêneas, como, por exemplo, nos mapas de solos, permitindo assim focar suas condições ecológicas limitantes, e por conseqüência determinar o seu potencial de uso. No entanto, os trabalhos de levantamento de solos, que consistem em reconhecer, analisar, classificar e delimitar em mapas as diferentes unidades de solos (RIZZO,1991), são onerosos e demorados.

Sendo o solo um dos principais constituintes das paisagens rurais, o estudo de suas inter-relações com outros fatores ambientais pode contribuir para um melhor conhecimento do meio ambiente, através da utilização de sensores remotos e de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com diminuição dos custos se comparado aos levantamentos de solos tradicionais.

Nos últimos anos, em função do aumento da população mundial, o homem tem ampliado sensivelmente as áreas de plantio visando a acompanhar a crescente necessidade de alimentos. Assim, surge um grande desafio à ciência: o de manter a produção agrícola em níveis tais que sustentem uma população mundial em crescimento, sem degradar o meio-ambiente. Tal desafio se aplica principalmente no Brasil e nos países mais pobres, pois segundo o Centro de Políticas Sociais da Fundação Getúlio Vargas, nosso país possui 56 milhões de miseráveis (33% da população), que são pessoas que vivem com menos de R\$ 79,00 por mês (Jornal do Brasil, 2004). Neste contexto, as práticas agrícolas sustentáveis e produtivas podem mudar este cenário, buscando um futuro mais condigno para a população brasileira, em termos de saúde e alimentação.

Para tal objetivo, são necessários planejamentos agropecuários conservacionistas confiáveis, o que, naturalmente, requer extraordinária quantidade de informações manuseadas de forma integrada. Segundo DONZELI *et al.* (1992), "a grande quantidade de informações e a sua dinâmica espaço/temporal são características deste enfoque e requerem uma fonte de coleta de dados que atenda àquelas exigências de forma ágil e de custo relativamente baixo". Nestes termos, as ferramentas disponíveis nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), constituem importantes ferramentas que podem ser utilizadas para atender a tais objetivos.

No que concerne a levantamentos de solos, que constituem um verdadeiro banco de dados de recursos naturais, muitas agências nacionais, como a USDA Soil Conservation

Service, a Canadian National and Provincial Agency e a Dutch Soil Survey Institute (atualmente parte do Staring Institute for Integrated Land, Water and Rural Survey) usam os SIG's como técnicas para mapear e prover informações sobre os solos e outros parâmetros de interesse para diferentes tipos de usuários (MAGUIRE *et al.*, 1991).

Nesse sentido, a relevância da presente tese está na enorme carência de informações sobre o solo e seu ambiente como meio natural de produção de alimentos e fibras. Faltam, também, informações sobre a relação das características do solo com a paisagem, particularmente relacionados com a descapitalização do campo, com o decréscimo em produtividade e área plantada, afetando, conseqüentemente, a qualidade de vida do produtor rural. Considerando a importância da agricultura familiar para a ocupação e geração de renda, é fundamental a realização de estudos sobre o ambiente em que essas propriedades se encontram, a fim de possibilitar o desenvolvimento e o uso sustentável das mesmas.

O conceito mais aceito de desenvolvimento sustentável, e endossado internacionalmente, é o apresentado pela Comissão Brundtland, o qual contém dois conceitos chaves: o de "necessidades", sobretudo as necessidades essenciais dos pobres do mundo, que devem receber a máxima prioridade; e a noção das limitações que o estágio da tecnologia e da organização social impõe ao meio ambiente, impedindo-o de atender a elas (CMMAD, 1991).

Assim formulado, o conceito de sustentabilidade passa a ter uma dimensão social peculiar, preocupando-se com a capacidade de reprodução do sistema e também com as "externalidades" geradas (como pobreza). Pensa-se não apenas no futuro da humanidade mas no presente e suas mazelas (SANTOS, 1996).

Na visão de GLADWIN *et al.* (1995), o debate sobre o significado de desenvolvimento sustentável continuará e deve continuar por longo tempo, uma vez que ele representa um processo de aquisição do desenvolvimento humano de uma maneira inclusiva, conectada, eqüitativa, prudente e segura. Inclusividade implica no desenvolvimento humano através do tempo e espaço. Conectividade engloba a interdependência ecológica, social e econômica. Eqüidade sugere imparcialidade entre gerações, intragerações e entre espécies. Prudência conota deveres de cuidar e preservar tecnologicamente, cientificamente e politicamente. Segurança demanda a resolução de problemas crônicos e a proteção contra acidentes nocivos.

## **2. Objetivos**

Estudar as inter-relações entre solos e paisagens rurais do Domínio dos Mares de Morros na Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, especificamente em parte dos

municípios de Varre-Sai, Porciúncula e Natividade, buscando reconhecer o arrançamento, e a distribuição de seus componentes geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos e climáticos, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento e classificadores supervisionados (redes neurais artificiais e máxima verossimilhança), onde espera-se que diferentes tipos de paisagem possam ser identificáveis, em algum grau, pelas feições geomórficas.

Pode-se dividir os objetivos, mais especificamente, em:

- ☞ Compreender o funcionamento e a organização de solos, através do estudo em pedoambiente representativo, como base para a estratificação ambiental, no sentido de possibilitar o reconhecimento espacial dos padrões e seu mapeamento;
- ☞ Através de técnicas de geoprocessamento, elaborar processos de extração de informações variadas sobre o padrão geomorfométrico<sup>1</sup> das unidades de paisagem; e
- ☞ Definir as feições geomorfológicas das unidades de paisagem de “mar de morros” (baseado no modelo de catena de DALRYMPLE *et al.*, 1968), obtê-las por técnicas de geoprocessamento e, através da utilização de um classificador por rede neural artificial e outro por máxima verossimilhança, realizar a classificação das paisagens da área de estudo, compará-las e definir seus padrões geomorfométricos.

### **3. Base Conceitual e Revisão Bibliográfica**

Este capítulo tem por objetivo definir conceitos que são utilizados e discutidos no trabalho, pois trata de conceitos diversos relacionados ao meio ambiente, passando por disciplinas que se conectam de alguma forma. Dentre os conceitos utilizados destacam-se a utilização de modelos, de sistemas, de paisagens, de pedologia, de geomorfologia e da relação entre o solo e a paisagem, além do conceito de classificação supervisionada e de classificadores como Redes Neurais Artificiais e o algoritmo de máxima verossimilhança. Na segunda parte deste capítulo, enfoca-se uma revisão bibliográfica dos trabalhos sobre modelos digitais de elevação, sua utilização e aspectos de estudos da relação solo-paisagem.

---

<sup>1</sup> Padrão geomórfico é similar à “padrão espectral” utilizada em processamento de imagens de sensores remotos, e definida como um conjunto de medidas que descreve a forma topográfica o suficiente para se distinguir geomorficamente as paisagens consideradas (BROWN *et al.*, 1998).

### 3.1. Modelos

Os conceitos relacionados com os sistemas e modelos encontram-se subjacentes em todos os procedimentos da modelagem de sistemas ambientais, e expressam perspectivas ligadas com as maneiras de se conceber a estruturação e funcionamento dos fenômenos da natureza, tendo como base as visões-de-mundo (CHRISTOFOLETTI, 1999). Assim, a modelagem de sistemas pedológicos pode ser abordada de forma holística, que envolve as visões-de-mundo e a complexidade, ou de forma reducionista, que envolve parte de uma paisagem ou de seus elementos constituintes.

Um modelo é, segundo WILLE (1985), inicialmente uma abstração mental da realidade, e pode ser analógico ou matemático. O modelo serve para ajudar a eliminar soluções indesejáveis dentro de certas considerações. As limitações dos modelos são as dificuldades conceituais quanto à escolha de critérios para avaliar as alternativas possíveis. Ocorre também que os algoritmos freqüentemente têm que ser simplificados e podem limitar a descrição do mundo real, envolvendo uma abordagem reducionista.

Os modelos podem ser: determinísticos - que definem relações exatamente previsíveis entre variáveis dependentes ou não e deduzindo conseqüências únicas - ; probabilísticos ou estocásticos - que envolvem variáveis juntamente com componentes aleatórios e deduzindo resultantes também flutuantes - ; ou de desenho experimental - que envolve o reconhecimento de que, dentro de determinada amplitude dos dados de observação, existem certas partes componentes significativas dos sistemas, as quais podem ser identificadas e analisadas pelo emprego de um desenho (projeto) experimental adequado (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Segundo HAAN *et al.* (1982), os modelos hidrológicos inevitavelmente requerem simplificações ou abstrações, que consistem em colocar uma parte do mundo real em consideração sobre um modelo de estrutura simples. Os modelos devem ser de predição acurada, simples, consistentes e sensitivos às mudanças nos valores dos parâmetros.

Para que um modelo de representação do mundo real seja o mais adequado possível, dentro de um contexto dado (local ou regional), é necessário distinguir os atores no meio da aparente desordem da natureza, a fim de fazer aparecer a ordem subjacente. Neste aspecto, a cartografia ajuda a compreender as regras da organização dos fenômenos (RAUNET, 1989).

A caracterização dos modelos de solos através da análise da relação solo-paisagem é uma ciência em desenvolvimento, que tem suas raízes nos trabalhos de DOKUCHAEV, SIBIRTUV, HILGARD e outros (HOLE & CAMPBELL, 1985).

### 3.2. Sistemas

Um sistema, ambiental ou não, representa um conjunto organizado de elementos e de interações entre os elementos, e possui uso antigo no conhecimento científico. Na geomorfologia, este conceito foi introduzido por CHORLEY (1962), e vários aspectos foram considerados em trabalhos subseqüentes por CHRISTOFOLETTI (1979) e STRAHLER (1980), entre outros.

A caracterização morfológica dos sistemas envolve uma série de medidas a partir dos modelos gerados, podendo incluir área e perímetro das bacias de drenagem, forma das bacias, amplitude altimétrica, comprimento da bacia e dos canais e densidade de drenagem, entre outros, que caracterizam determinado ambiente. Além destas medidas, atualmente outros atributos derivados dos modelos digitais de elevação também podem ser considerados.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1999), um sistema é um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem em componentes ou variáveis (isto é, fenômenos passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis uns com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão. No caso de sistemas pedológicos, as relações entre o solo e a paisagem podem ser discutidas através de seus atributos pedológicos e geomorfológicos.

Os sistemas podem ser considerados como isolados - os que dadas as condições iniciais, não sofrem mais nenhuma perda nem recebem energia ou matéria do ambiente que os circunda; ou não-isolados, aqueles que mantêm relações com os demais sistemas do universo no qual funcionam. Podendo ser subdivididos em fechados (quando há permuta de energia mas não de matéria) ou abertos (nos quais ocorrem constantes trocas de energia e matéria). Assim, podemos considerar o planeta Terra como um sistema não-isolado fechado, pois recebe energia solar e também a perde por meio da radiação para as camadas extra-atmosféricas, mas não recebe nem perde matéria de outros planetas ou astros, a não ser em proporções insignificantes ou quase nulas. Já os sistemas não-isolados abertos são os mais comuns, podendo ser exemplificados por uma bacia hidrográfica, uma vertente, uma cidade, etc (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A estrutura de um sistema é a maneira pela qual seus elementos estão arranjados, isto é, uma noção estática, num dado momento, em oposição às noções de interação, de fluxo, de processo e de evolução, que são aspectos dinâmicos. A característica dos elementos (unidades pedofisiográficas) que compõem a paisagem pode ser analisada de maneira quantitativa ou qualitativa, como por exemplo, litologia, solos, regime hídrico, etc (RAUNET, 1989). Em nossa escala temporal podemos considerar que os sistemas

pedofisiográficos possuem características fixas. Porém, considerando intervalos de tempo ecologicamente significativos, os ecossistemas são dinâmicos e podem ser estudados, por exemplo, pelo emprego de técnicas de sensoriamento remoto (HALL *et al.*, 1991).

### 3.3. Paisagem

O uso do termo paisagem está relacionado ao vocábulo germânico “Landschaft”, usado desde a idade média, designando uma região de dimensão média, ou o território onde se desenvolve a vida de pequenas comunidades humanas. O termo paisagem também está relacionado com a palavra italiana “Paesaggio”, introduzido a propósito de pinturas elaboradas a partir da natureza durante a Renascença, significando “o que se vê no espaço”; “aquilo que o olhar abrange ... em um único golpe de vista”; “o campo da visão” (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Segundo HOLE & CAMPBELL (1985), a palavra é de origem germânica “die Landschaft” e possuía um sentido de qualidade ou de amizade (paisagem do sentimento). Na verdade, existem vários conceitos, sob vários pontos de vista, o que deixa uma certa dúvida ao se trabalhar cientificamente esta palavra. Assim, o termo solo-paisagem é de valor como termo de introdução geral, mas talvez não específico.

Ainda segundo este autor, possui dois sentidos básicos: um é a visão ou aparência do ambiente percebido pelo homem; e outro é um tipo de região ou um pedaço de terra restrito. O primeiro é mais abrangente e o solo é uma parte menor constituinte.

O conceito de paisagem como uma região assume que se podem desenhar limites separando uma parte da paisagem de outra. Porém, apenas limites arbitrários podem ser desenhados, em razão da enorme complexidade dos componentes, quando mudanças espaciais nas propriedades das paisagens não coincidem inteiramente. No máximo uma área de transição, baseada em um número de propriedades da paisagem que se alteram, poderia ser delineado.

Outro conceito diz que a paisagem é um pedaço de área que possui certas características que, em nossas mentes, se não na realidade, a definem ou configuram fora de outros pedaços de área (HOLE & CAMPBELL, 1985).

Em termos ambientais, o conceito de paisagem é integrador por si mesmo, combinando componentes climáticos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos e biológicos. Uma paisagem em uma determinada região é um sistema espaço-temporal aberto, que possui limites e pode ser decomposta em elementos que interagem em maior ou menor grau. Em todo sistema existe mudança, com entrada e saída de componentes (água, sólidos, ...) o que acarreta a evolução da paisagem (RAUNET, 1989).

Corroborando com RAUNET (op cit.), RIZZO (1991) diz que a paisagem é composta por solo, substrato litológico, clima, relevo e vegetação, existindo uma relação direta entre as características dos solos e sua distribuição nos diversos setores geomorfológicos da paisagem.

Segundo HOLE & CAMPBELL (1985), a paisagem possui uma estrutura pedológica (modelo), com características como tamanho, área e arranjo de seus solos componentes, e pode ser considerada um terreno suficientemente distinto para ser delimitada pelo conhecimento do observador.

As paisagens rurais referem-se como produto e indicador do desenvolvimento rural. Nestas paisagens, a percepção varia com as específicas tecnologias adotadas e seu conseqüente benefício ou detrimento (impacto) da própria paisagem (MANSVELT, 1997).

A análise da paisagem requer alguma forma de organizar a informação espacialmente, principalmente através de mapas que enfoquem a natureza física da paisagem. Deste modo, diferenças de local para local de alguma qualidade inerente da paisagem, como por exemplo o solo, indicam variação nos fatores de formação através do tempo e do espaço (tanto individualmente quanto em combinação), sendo isto uma regra universal (HOLE & CAMPBELL, 1985). Pode-se levar em consideração também que algumas propriedades das paisagens tendem a variar juntas.

Mapas são comumente usados em várias disciplinas para mostrar a distribuição espacial de determinado fenômeno. O objetivo de um mapa é transmitir a informação espaço-temporal do mundo real para um usuário e obter-se uma perspectiva da realidade. Assim, diz-se que “um mapa vale mais que mil palavras” (VITEK *et al.*, 1996).

O modelo básico de representação considera uma variação contínua dentro de uma paisagem e uma variação descontínua nas bordas de uma paisagem para outra. Desta forma, a paisagem é formada por uma série discreta, inter-relacionada de solos com formas e tamanhos variados, sendo que cada um exibe propriedades espaciais individuais.

Para qualquer volume de solo ou unidade de paisagem podem ser elaboradas várias medidas de propriedades dos solos (físicas, químicas, mineralógicas) e de características da paisagem (relevo, declividade e vertente, etc). As medidas são feitas de acordo com os propósitos do trabalho, levando-se em consideração tempo, custo, acesso, além de outros fatores. Por exemplo, a ocorrência de manganês no solo está relacionada a variações em modelos formados pela interação entre drenagem, relevo, vertente, vegetação, material de origem e posição. Estes modelos por sua vez, estão relacionados e interconectados com outros elementos da paisagem. Então, uma dada distribuição pode ser vista como o resultado da superimposição de muitos fatores contribuintes, e pode também contribuir para a distribuição de outras propriedades (HOLE & CAMPBELL, 1985).

Mapas da paisagem física possuem precisão (nível de detalhe representado no mapa) e acurácia (grau de correspondência entre o mapa e as condições atuais observadas em pontos específicos do terreno). Contudo, dicotomias no mapeamento de paisagens, ou de algum tema específico, podem ser observadas, como, por exemplo, conflitos entre o “mapeador” e o “usuário do mapa”, entre um “mapa como base de dados” e um “mapa como artifício de comunicação”, entre as “unidades de mapa uniformes” e as “unidades de mapa compostos”, além de “propósitos especiais e gerais”.

Segundo HOLE & CAMPBELL (1985), podemos estruturar alguns conceitos sobre paisagem, a saber:

- ☞ Uma paisagem é uma região distinta o suficiente para ser definida por um observador instruído.
- ☞ Muitas paisagens naturais têm resistido ao longo de centenas de anos, em condições próximas de um equilíbrio estável e dinâmico.
- ☞ Em uma paisagem estável e dinâmica, a comunidade biótica ou seus ciclos sucessionais, tem deixado características impressas no solo, até pelo menos 1 m de profundidade.
- ☞ Uma região que está ou já foi ocupado pelo homem, tem seus limites aproximadamente coincidentes com a unidade de paisagem pedológica.
- ☞ Tais características podem ser observadas e medidas. São elas: sendo número, tamanho, forma e arranjo dos componentes do solo, caracterizados nos horizontes, grau de homogeneidade interna, declividade, idade, ...
- ☞ As características presentes num solo são a chave para as antigas relações funcionais entre os corpos de solos e os fatores ambientais, e constitui a base para prever o comportamento futuro.

### **3.4. Pedologia**

A pedologia, ciência relativamente nova (150 anos) se comparada com mineralogia, botânica e zoologia, teve como fundadores ou precursores DOKUCHAEV (1846-1903) na Rússia e E. W. HILGARD (1833-1916) nos EUA, e trata do estudo do solo em seu ambiente natural, sua formação e evolução.

Segundo BIRKELAND (1974), solos, para engenheiros, são materiais superficiais inconsolidados e, para alguns cientistas de solos, são, principalmente, o meio para o crescimento das plantas. Para a pedologia, o solo é descrito como um corpo natural constituído de camadas ou horizontes minerais e/ou orgânicos de espessura variável, que

difere do material de origem pelas propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas e suas características biológicas.

O solo é uma coleção de corpos naturais, constituído por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmico, formado por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta. Contém matéria viva e pode ser vegetado na natureza, onde ocorre. Ocasionalmente podem ter sido modificados por atividades humanas. Quando examinado a partir da superfície, consiste de seções aproximadamente paralelas – denominadas horizontes ou camadas – que se distinguem do material de origem, inicial, como resultado de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria e têm a habilidade de suportar o desenvolvimento do sistema radicular das espécies vegetais, em um ambiente natural (EMBRAPA, 1999).

O solo tem como limite superior a atmosfera. Os limites laterais são os contatos com outras espécies de solos vizinhos, ou com afloramentos de rocha, materiais detríticos inconsolidados, aterros ou encontros com terrenos sob espelhos d'água permanente. O limite inferior do solo é questão um tanto indefinida; em geral, envolve implicações referentes a gradual decréscimo de atividade biológica microrgânica e enraizamento vegetal, empobrecimento em constituintes orgânicos, decréscimo de alteração e decomposição de constituintes minerais, enfim, ganho em afinidade de constituintes e propriedades em relação ao substrato sólido ou inconsolidado que o suporta (EMBRAPA, 1999).

Os levantamentos de solos são investigações de campo e de laboratório que se propõem a avaliar os recursos de solo de uma área para fins gerais ou específicos e contemplam, necessariamente, as seguintes etapas: caracterização morfológica, física, química e mineralógica dos solos, a classificação em sistemas definidos e sua distribuição no espaço (SANTOS, 1978).

Mais recentemente, pesquisas em metodologias de mapeamento têm direcionado sua atenção para técnicas inovadoras, utilizando conhecimentos disponíveis em geoestatística, SIG's, Sensoriamento Remoto por satélite, processamento digital, recursos de vídeo imagem, radar de penetração e laser, buscando uma melhoria do processo de coleta de dados e organização das etapas do levantamento de solos como um verdadeiro sistema de informação, aqui entendido como coleta, análise e geração de informação (ZINCK, 1990).

O rápido progresso no uso de sensoriamento remoto impulsionou o desenvolvimento de métodos de processamento e análise digital de dados da superfície da terrestre. Avanços mais significativos são esperados em função da contínua integração das tecnologias de sensoriamento remoto, SIG's e o sistema de posicionamento global (GPS) (HOFFER, 1994).

Segundo HUDSON (1992), uma nova abordagem do levantamento de solos é o crescente uso de modelos solo-paisagem combinado com uma hierarquia dos levantamentos, que se está tornando reconhecida como novo paradigma do levantamento de solos, e para entendimento e predição de modelos naturais de solo.

O estudo da correlação entre diferentes associações de classes de solos e a vegetação, através de sensoriamento remoto, auxiliou na definição de um conjunto de características do solo, importante não só para o seu mapeamento, como também para a indicação de uso e manejo (PEREIRA *et al.*, 1991). Nesta mesma linha, segundo TREITZ e HOWARTH (2000), numa abordagem de ecossistema para classificação das terras, unidades de terreno coerentes podem ser definidas por um complexo de fatores, incluindo vegetação, forma da paisagem e drenagem. Na classificação digital de imagens de sensores remotos, regras de decisão baseadas no espectro ou radiância dos elementos das paisagens são utilizadas para definir as unidades ecológicas.

Segundo BRABANT (1989), pode-se distinguir e ordenar o conhecimento dos solos em 5 níveis hierarquizados, a partir de estudos em escalas de paisagens até aqueles de parcelas de campo cultivadas. Esta distinção e hierarquização está fundamentada na seguinte proposição: existe uma relação estreita entre a natureza dos solos, o material de origem, as formas do modelado (relevo) e a vegetação natural.

No nível de estudos detalhados em sítios representativos, que constitui o segundo nível hierárquico segundo BRABANT (1989), as toposseqüências constituem-se no método mais adaptado, com identificação de horizontes e sua disposição na paisagem. Este tipo de estudo já é bastante difundido no Brasil, conforme vários estudos efetuados, entre os quais podemos citar o de BLANCANEUX *et al.* (1998).

De acordo com HOLE & CAMPBELL (1985), William Morris Davis (1850-1930) publicou muitos trabalhos sobre os “ciclos de erosão” com aproximações dedutivas, e seu aluno Curtis F. Marbut (1863-1935) preferiu o caráter indutivo baseado numa descrição acurada e interpretações de perfis de solos. Este foi líder do USSOIL SURVEY por 22 anos, introduzindo conceitos russos na classificação americana.

WYSOCKI *et al.* (1999) definem que a pedologia é uma ciência da terra. A variabilidade espacial dos solos em parte de uma paisagem é governada pelos processos de formação de solos que, por sua vez, estão interativamente condicionados pela litologia, clima, biologia e relevo através do tempo geológico.

Para compreender, interpretar e transferir adequadamente os conhecimentos dos recursos de solo de uma área para outra, um modelo sistemático solo/geomorfológico da paisagem deve ser aplicado.

O solo forma um continuum sobre a superfície da terra, sendo a interface de processos atmosféricos, biológicos e geológicos. Geomorfologia de solos é o estudo

científico da origem, distribuição e evolução dos solos, paisagens e depósitos superficiais e dos processos que os criam e/ou os alteram (WYSOCKI *et al.*, 1999).

Assim, segundo HOLE & CAMPBELL (1985), o intrincado modelado dos solos na superfície da terra, tem sido mapeado com algum grau de generalização, utilizando pelo menos uma definição do que é um corpo de solo. A geografia de solos está ligada à natureza e gênese de corpos de solos, e suas interações entre si e outras entidades ambientais, incluindo o homem.

Segundo RIZZO (1991), o solo é um dos principais constituintes da paisagem, considerada aqui como um todo constituído por substrato litológico, clima, relevo e organismos. Para se estudar o solo devidamente, deve-se compreendê-lo dentro do contexto geral da superfície da terra, por exemplo, a associação entre distribuição espacial de determinadas classes de solo com posições e formas de relevo, independente da escala.

A pedogênese, ou estudo da gênese dos solos, requer o entendimento da história da paisagem. Desta forma, o estudo do solo e o da geomorfologia se complementam em trabalhos de mapeamento e de gênese.

Classicamente, DOKUCHAEV equacionou o solo da seguinte forma: Solo = f (clima, organismos, material de origem, tempo e topografia). Com algumas alterações, porém embasados nesta equação, alguns autores propuseram novas fórmulas, valorizando aspectos das paisagens e dos solos e com utilizações mais restritas em termos espaciais. Quando se considera um fator como variante e os outros estáveis, tem-se a climofunção, a biofunção, a toposfunção, a litofunção e a cronofunção. Implícitas no modelo desenvolvido por DOKUCHAEV estão as relações distintas entre os ecossistemas (fator biológico), paisagens (topografia), sedimentos superficiais (material de origem) e evolução da paisagem (tempo).

Embora as funções derivadas sejam poucas e poder-se questionar o quanto os fatores são quantitativamente utilizados, esta abordagem é básica para a pesquisa geomorfológica.

Os solos não existem isoladamente, mas estão organizados e inter-relacionados dentro da paisagem. A pedologia também está subordinada à geomorfologia, pois a evolução geomorfológica fornece um quadro à formação e evolução dos solos.

Assim, os principais processos responsáveis pelo desenvolvimento de perfis de solo são aqueles que culminam na formação de horizontes, que podem ser: formação de horizonte A, translocação de Fe e Al e de partículas de argila. Neste aspecto, a água é o agente dominante como catalisador, mediador e transportador na maioria dos sistemas naturais da terra. A morfologia do solo se forma preferencialmente em resposta à prevalência de determinadas condições de umidade. Os padrões de solos numa paisagem resultam de diferentes condições de umidade e da dinâmica prevalecente do fluxo da água.

Segundo BIRKELAND (1974), o efeito do clima é considerado como o mais importante, e os outros fatores são igualmente importantes na descrição da variação do solo na paisagem.

A influência do material de origem no intemperismo e na formação do solo depende da estabilidade do material; assim, o material de origem vai influenciar na mineralogia das argilas. O solo pode ser considerado em uma fase estável quando uma energia está sendo aplicada ao sistema e reações acontecem, mas as propriedades do solo não mudam, ou sua taxa de mudança é demasiadamente lenta para ser medida.

Desta forma, alguns atributos dos solos fornecem indicações relativas à maturidade do solo. Dentre eles pode-se citar a espessura do solum, teor de argila, relação silte/argila, delta pH, CTC/100g de argila com correção para matéria orgânica e saturação por bases (V %), sempre do horizonte diagnóstico (RIZZO, 1991). Por exemplo, os valores de delta pH podem ser associados à evolução mineralógica dos solos, pois refletem o balanço das cargas líquidas do sistema coloidal, que por sua vez, está relacionado à atividade das cargas superficiais dos minerais de argila. Quanto mais próximo de zero (0) ou negativo indica solo mais evoluído mineralogicamente.

Segundo (RIZZO, 1991) existe relação direta entre as características dos solos e suas distribuições nos setores geomorfológicos.

Segundo BIRKELAND (1974), os solos podem ser classificados pela sua posição numa seção estratigráfica ou numa paisagem, em 3 tipos: solos relíquia, que estão na superfície da terra desde a sua formação; solos enterrados, formados em épocas passadas e que foram recobertos por depósitos mais jovens e não foram afetados pela pedogênese atual; e solos exumados, que foram criados, enterrados e depois expostos novamente pela erosão.

Os processos de formação de solos ou de pedogênese, envolvem o intemperismo de minerais primários ou não, e suas propriedades resultantes. Desta forma, propriedades do solo associadas à matéria orgânica podem-se desenvolver rapidamente, enquanto aquelas associadas com o intemperismo de minerais primários são de desenvolvimento mais lento.

Propriedades e características que podem ser relacionadas ao intemperismo e desenvolvimento do solo com o tempo são:

- ☞ matéria orgânica do horizonte A e propriedades associadas
- ☞ desenvolvimento de B textural
- ☞ desenvolvimento de cor do B
- ☞ enriquecimento e remoção de  $\text{CaCO}_3$
- ☞ mineralogia da argila (intemperizado ou não, um mineral de argila se alterará em função de sua estabilidade na solução do solo)
- ☞ as próprias classes de solos (EMBRAPA, 1999)

Os processos de intemperismo podem ser físicos e químicos (hidrólise, quelação, oxidação, hidratação e desidratação, troca iônica), e seus produtos podem ser removidos do sistema pela água de lixiviação ou reagir no sistema, para formar uma variedade de produtos amorfos e cristalinos. Os produtos mais comuns destes processos são os minerais de argila e os óxidos-hidróxidos de Fe e Al, que por sua vez refletem o efeito de longo prazo do ambiente químico e de lixiviação do solo (BIRKELAND, 1974).

Segundo WYSOCKI *et al.* (1999) a formação do solo ocorre pela interação de 4 processos: adição, remoção, translocação e transformação. A interação pode ser entendida como o relacionamento espacial e a dinâmica dentro de uma paisagem e os processos podem criar e modificar as formas, os sedimentos e os solos.

Levando-se em consideração a equação proposta por DOKUCHAEV, pode-se analisar a relação do solo com seus fatores de formação. Assim, segundo BIRKELAND (1974), a topografia controla muito da distribuição dos solos na paisagem, e muitas das diferenças nos solos são devidas à combinação com microclima, pedogênese e processos geológicos superficiais. A orientação da vertente afeta o microclima e o solo. A declividade afeta o escoamento ou não da água (erosão). As áreas mais elevadas ou mais rebaixadas podem ser de acumulação ou de perda de solos e também o nível do lençol freático varia nestas condições.

A relação entre o solo e o clima é considerada a mais importante na determinação de muitas propriedades dos solos. Inclusive, nos Estados Unidos da América (EUA), muitas classes de solos estão restritas a certas regiões climáticas (SSDS, 1993).

Temperatura e umidade são os dois aspectos mais importantes do clima, pois a umidade (água) está envolvida na maioria dos processos físicos, químicos e biológicos, e a temperatura influencia na taxa dos processos. A relação entre temperatura e precipitação, pode nos levar a questionamentos e informações relevantes, como por exemplo: a época em que chove mais é a mais quente do ano?.

As principais propriedades mineralógicas e morfológicas dos solos que podem ser correlacionadas ao clima são, segundo BIRKELAND (1974), o conteúdo de matéria orgânica; conteúdo de argila; tipo de mineral de argila, cor,  $\text{CaCO}_3$  (ausência ou presença e profundidade).

Para se estudar a relação com paleoclimas, somente podemos usar propriedades estáveis dos solos, ou seja, aquelas que não variam ou variam muito pouco com o tempo. Assim, um solo que passou de condições regulares de alta lixiviação e ambiente relativamente ácido, resultando na formação da caulinita e que após esta fase passou para um ambiente seco (árido) continua com a caulinita, o que evidencia um paleoclima mais úmido.

### 3.5. Geomorfologia

Geomorfologia, segundo EASTERBROOK (1969), é o estudo da origem e evolução das feições topográficas através dos processos físicos e químicos que ocorrem na superfície da terra ou próximo a ela.

DANIELS e HAMMER (1992) comentam que a geomorfologia de solos é a aplicação de técnicas e idéias do campo da geologia na investigação dos solos e, definem ser a disciplina que estuda as feições da superfície da terra: seu caráter, origem e evolução.

DANIELS e HAMMER (1992) consideram a geomorfologia como parte da ciência que trata das feições superficiais do globo, sua forma, natureza, origem e desenvolvimento, e as mudanças pela qual está passando.

HOWELL (1957) define a geomorfologia como o exame sistemático das formas da terra e sua interpretação como informação da história geológica. Em termos lingüísticos, o vocábulo é formado pelos radicais gregos geo (significa terra), morfo (significa forma) e logia (significa estudo), sendo então, o estudo da forma da terra.

Dentro desta disciplina, vários termos e formas de estudo têm sido desenvolvidos. Segundo EASTERBROOK (1969), WILLIAM MORRIS DAVIS (1850-1930) um dos primeiros estudiosos da geomorfologia, reconhecia que a origem e a evolução da topografia era dependente da estrutura geológica e dos processos geomórficos. Quanto à estrutura geológica, não só as falhas, dobras e a elevação da crosta influenciavam a forma da terra, mas também outros fatores relacionados às características físicas e químicas das rochas, como resistência ao intemperismo químico e mecânico, estratificação, foliação e deformidades.

Os processos geomórficos imprimem feições distintas às paisagens e desenvolvem características conjuntas ao relevo. O escoamento da água, geleiras, lençol de água subterrânea, ondas e correntes, ventos, intemperismo, vulcanismo e diatrofismo (deformação da superfície da terra por forças de tensão e compressão) são fatores que vão imprimir sua marca na paisagem.

A relação entre o rio e seus vales é reconhecida desde LEONARDO DA VINCI (1452-1519) que dizia que os vales são cortados pelos rios, não porque já estavam lá, mas sim porque o rio fez o próprio vale. Já PLAYFAIR (1802) diz que o curso do rio é determinante por: (1) declividade inicial da terra, (2) diferenças na resistência das rochas e (3) erosão no início das bacias (EASTERBROOK, 1969).

O método científico em geomorfologia parte da observação dos fatos, ou seja, determina os fatos relevantes como forma, tamanho, associação com outras feições, composição e orientação; segue pelo desenvolvimento de múltiplas hipóteses, onde os dados já coletados e várias interpretações vêm à mente, buscando testar as interpretações

diante dos fatos e rejeitando algumas delas; e termina com o teste das hipóteses, que busca novas informações que irão suportar ou rejeitar as hipóteses não afastadas anteriormente (EASTERBROOK, 1969).

Dentre os termos utilizados em geomorfologia, um dos mais discutidos e que possui amplo emprego é o de superfícies geomórficas, consideradas como um plano bi-dimensional, com largura e comprimento, mas sem espessura. A superfície geomórfica é definida no espaço e no tempo; é a forma da terra ou grupo de formas que representam um episódio de desenvolvimento da paisagem. A superfície geomórfica pode ser construcional ou erosional, côncava ou convexa, plana ou declivosa, ou linear (DANIELS e HAMMER, 1992).

A terminologia adotada em geomorfologia engloba, entre outros, os conceitos já discutidos e, segundo WYSOCKI *et al.* (1999), pode-se citar as seguintes:

- ☞ Superfície geomórfica – uma parte definível da superfície da terra que se forma durante um dado tempo e sob um conjunto comum de processos erosionais e deposicionais. Pode incluir muitas formas da terra, mas é uma feição mapeável com bordas identificáveis.
- ☞ Formas da terra (*landforms*) – qualquer feição física reconhecível na superfície da terra, que possui uma forma característica (composição e estrutura interna), produzida por processos naturais. São as feições da terra que juntas compõem a superfície da terra.
- ☞ Paisagem (*landscape*) – uma porção da superfície da terra que os olhos podem compreender numa simples observação. Uma coleção ou população de formas da terra que pode ser observada numa simples olhada. Numa mesma paisagem, formas da terra individuais podem diferir tanto na idade quanto na origem.
- ☞ Delineamento de solo – um polígono individual mostrado num mapa de solo com um símbolo e nome de uma unidade de mapa, que define um corpo tri-dimensional de um solo com área, forma e localização específicas na paisagem.
- ☞ Unidades de mapa de solo – o agregado de todos os delineamentos de solos de um levantamento de solos que tenha um conjunto similar de características estabelecidas. Cada delineamento (polígono) de uma unidade de mapa é identificado pelo mesmo símbolo e nome no mapa de solos.

Geomorfologia de solos é uma ciência que estuda os solos na paisagem. O *pedon* é a unidade de solo mais comumente descrita, amostrada e classificada pelos pedólogos. As paisagens possuem limites naturais que restringem ou controlam a transferência de massa e energia. Exemplos dos limites entre paisagens são os divisores topográficos, contato entre diferentes rochas ou sedimentos, inflexões no gradiente de declividade, e contatos entre formas de diferentes idades, origens e estrutura interna.

Os delineamentos de solos desenhados num mapa estão mais fortemente ligados a processos geomórficos do que a pedons individuais. Os delineamentos num levantamento de solos são unidades de paisagem. Os limites definem diferenças observáveis na morfologia do solo como tipo de horizonte, espessura, cor do solo, textura e estrutura através da paisagem (WYSOCKI *et al.*, 1999).

A Catena é um conceito fundamental que explica os modelos de solos em áreas montanhosas. O termo descreve uma seqüência repetida de solos que ocorrem desde o topo de uma elevação até o vale adjacente e distingue dois tipos de Catenas. O primeiro tipo ocorre em elevações desenvolvidas sobre um mesmo tipo de rocha (material de origem). Mesmo com idêntico material de origem, ele observou uma mudança seqüencial nos solos ao longo da vertente e atribuiu a seqüência de solos a variações na drenagem subsuperficial, transporte lateral de sedimentos, e translocação de materiais na superfície ou através do solo. O segundo tipo contém uma área com mais de um tipo de material de origem, onde os mesmos processos do primeiro ocorrem, mas diferenças estratigráficas no material de origem aumentam a complexidade do modelo de solos (WYSOCKI *et al.*, 1999).

Assim, o conceito de catena é tanto um modelo de solo-paisagem quanto um modelo geomórfico. A mudança seqüencial na morfologia do solo através da paisagem está ligada ao processo de evolução da paisagem de áreas montanhosas tanto no tempo como no espaço.

Descrições quantitativas de diferentes catenas foram feitas por CONACHER e DALRYMPLE (1977) e DALRYMPLE *et al.* (1968), quando segmentaram as elevações em 9 unidades de superfície da terra, baseando-se na morfologia do solo, mobilização e transporte de constituintes do solo, re-deposição de constituintes do solo pelo fluxo e através dele ou pela gravidade como movimentos de massa. A Figura 01 representa um esquema bi-dimensional com as nove unidades da superfície da terra, possíveis de serem descritas.

De acordo com DALRYMPLE *et al.* (1968), na unidade 1, os processos do solo estão predominantemente associados ao movimento vertical subsuperficial da água, sendo mínimo o corrimento superficial e transporte. Na unidade 2 predominam processos de eluviação química e física pelo movimento subsuperficial da água. Na unidade 3 existe o escorregamento de solo, assim como na unidade 4, com processos intensos de intemperismo físico e químico. Na unidade 5 ocorre o transporte de material pelo movimento de massa e ação superficial e subsuperficial da água. Na unidade 6 ocorre a re-deposição do material das unidades anteriores, além do transporte lateral. Na unidade 7 ocorrem os depósitos aluviais. Na unidade 8 o rio pode trabalhar as paredes, arrancando material, transportado pela unidade 9, que é onde correm as águas superficiais do rio.

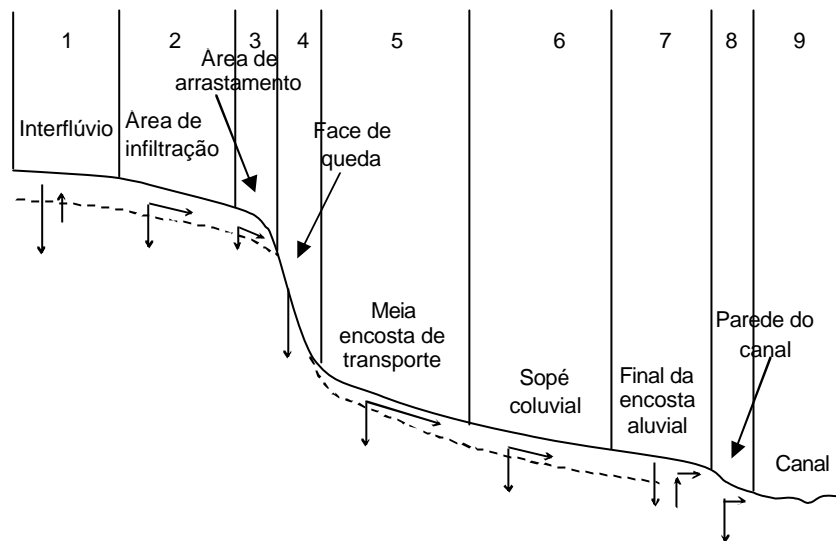


Figura 01. Representação esquemática bi-dimensional das nove unidades básicas de solos de áreas montanhosas (a partir de DALRYMPLE *et al.*, 1968).

As paisagens evoluem tão lentamente que torna-se difícil quantificar as mudanças ocorridas. Em áreas severamente perturbadas, é difícil juntar as relações entre solos, sedimentos e geomorfologia numa abordagem sobre o que antes existia. Profundas gargantas já removeram o material relacionado a uma paisagem pré-existente e a sedimentação local pode ter enterrado os solos e sedimentos pré-existent, sendo preciso diferenciar a evolução natural daquela afetada pelo homem. É preciso também compreender quais os mecanismos possíveis que podem produzir mudanças, pois diferentes processos podem levar a uma mesma paisagem.

Segundo WYSOCKI *et al.* (1999), a descrição geomórfica de paisagens engloba as montanhas, onde padrões ou seqüências de solos vão, em geral, seguir o relacionamento de catena. Um conjunto bem simples de descritores geométricos ou morfométricos pode ser usado para definir a montanha, e talvez, associar a padrões de solos. Estes descritores incluem declividade, aspecto, forma, complexidade e posição geomórfica.

A declividade é a expressão da energia potencial que governa os movimentos de massa e as forças erosivas do fluxo superficial numa vertente. Pontos de inflexão ou mudanças na declividade correspondem a diferenças na estrutura interna, eventos passados de erosão, ou contato entre formas ou corpos de sedimentos.

O aspecto é a direção da face da vertente, usualmente indicado pelo azimute (por exemplo 215°) ou direção cardinal (por exemplo SW). O microclima do solo é extremamente influenciado pela quantidade de radiação solar direta que recebe, que é função do aspecto. Os efeitos do aspecto da vertente são mais pronunciados em terras de montanhas ou de relevo mais movimentado, sendo menos visíveis em terras de relevo menos movimentado.

A forma é uma propriedade das vertentes que influencia enormemente o movimento lateral da água através da superfície, como fluxo superficial, e internamente, como percolação. Áreas com fluxo convergente possuem um microclima mais úmido que a maioria dos solos, enquanto áreas de fluxo divergente são mais secas. A influência da forma no movimento da água e na umidade do solo nas paisagens, por sua vez, influencia a formação do solo e a vegetação.

Em montanhas que tenham uma forma convexa muito íngreme, o perfil vertical é resistente à erosão. Vertentes convexas ocorrem predominantemente em paisagens onde a erosão é controlada pela resistência da rocha (horizonte R). Ao contrário, vertentes lineares ou côncavas geralmente ocorrem sobre material inconsolidado ou rochas fracamente resistentes. Os solos nestas vertentes tendem a ser mais profundos e mostram grande desenvolvimento de horizontes.

Na verdade, as vertentes são complexas, e uma descrição simplista pode ser obtida com respeito ao caminho de descida da água superficial. Também, a posição na vertente é tema de discussão e, segundo WYSOCKI *et al.* (1999), pode-se identificar 4 segmentos, a saber: “waxing” (cera), face livre, debris e pedimento. O “waxing” é o cume convexo das montanhas dominado pelo intemperismo químico sobre a remoção por erosão. A face livre é onde a erosão é mais ativa. O debris ocorre abaixo da face livre e é composta por material erodido e transportado da face livre. O pedimento está abaixo do debris, sendo uma rampa inclinada que se estende da base da montanha até a área de influência aluvial.

Historicamente, um conjunto de termos vem sendo aplicado a muitas paisagens, incluindo montanhas, mais por falta de alternativas que por sua própria utilidade. Assim temos o que se pode chamar de componentes geomórficos, que são: as montanhas/morros (perfis de solo nos lados das montanhas podem variar de rasos a profundos, dependendo da taxa de erosão, respectivamente alta ou baixa, a magnitude da declividade e a extensão na qual a rocha seja resistente a erosão e ao intemperismo); as serras/cordilheiras (serras representam um único conjunto geomórfico por causa de sua escala e complexidade das vertentes. Processos de movimentos de massa são mais prevalentes que nas montanhas. O topo da serra é o cume; a lateral ou flanco da serra é caracterizada comparativamente por vertentes longas e complexas dominadas por mantos de colúvio de longo transporte. Incisões de caminhos da água e estruturas das camadas); os terraços são formas de uma superfície num nível relativo ou levemente inclinado, ou aplainam as bordas de rios, lagos e mares. São um conjunto geomórfico único, com dinâmica bastante diferente daquela das montanhas ou serras. Terraços de rios e planícies de inundação originalmente são desenvolvidos por processos aluviais e sedimentos, diferentemente da dinâmica dos processos de vertentes e dos sedimentos, observados em serras e montanhas, caracterizando-se por processo de baixa energia, típica das planuras; os degraus (podem se

estender por muitos quilômetros, sendo constituídos por níveis ou levemente inclinados, estão sobre sedimentos aluviais, lacustres ou marinhos); e a rampa é uma escarpa que separa um terraço de outro ou da planície de inundação. Geomorfologicamente, as escarpas representam uma mudança abrupta para o nível hidrológico de base. Solos sobre ou adjacentes às escarpas tendem a ser mais bem drenados que aqueles mais afastados.

Como já comentado, uma variada gama de nomes tem sido aplicada através do tempo para denotar a composição interna, a forma, o arranjo, os relacionamentos coletivos e a origem de paisagens. Além disso, os termos variam em função da escala. Assim podemos ter também as micro-feições que são feições da superfície da terra pequenas, locais e naturais, e muito pequenas para serem delineadas em mapas topográficos ou de solos. As formas de terreno são qualquer forma física reconhecível ou feição da superfície da terra, que tenha uma forma e composição característica e seja produzida por causas naturais. As formas de terreno provêm uma descrição empírica de porções similares da superfície da terra. Desta forma, a paisagem pode ser considerada uma coleção de relações espaciais, formas de terreno naturais, usualmente a superfície da terra que os olhos podem compreender numa simples visada. Por outro lado, feições antropogênicas são feições artificiais na superfície da terra.

Apesar da forte associação entre solos e superfícies geomórficas, modelos de solos e morfologia não podem ser usados para definir inicialmente ou reconhecer superfícies geomórficas. Um solo ou uma coleção de solos podem ocorrer em mais de uma superfície geomórfica e os limites entre os solos nem sempre coincidem com limites geomórficos na paisagem.

### **3.6. Classificação**

A análise da informação no processamento de informações geográficas pode ser definida como um exercício de colocar os dados espaciais em agrupamentos com padrões semelhantes. O problema maior é o de reconhecer como os padrões estão estruturados, para serem reconhecidos, classificados e mapeados (BURROUGH, 1986).

As classificações digitais de pedoambientes envolvem os processos de definição de classes a determinadas porções da terra. Podem ser feitas com ou sem a interferência do analista, para informar previamente ou não padrões ou características que definem, ou comandam, a sua estratificação. Assim, são ditas supervisionadas ou não supervisionadas.

Uma classificação não supervisionada pode ser definida como a identificação de grupos naturais sem a interferência de um especialista. Já, a classificação supervisionada utiliza algoritmos ou outros modelos, nos quais o reconhecimento dos padrões se faz com

base numa amostra de área de treinamento, que é fornecida ao sistema de classificação pelo especialista (MOREIRA, 2003).

Dentre os classificadores supervisionados, que serão discutidos, temos as Redes Neurais Artificiais e a Máxima Verossimilhança.

### **3.6.1. Redes Neurais Artificiais**

As redes neurais artificiais (RNA), ou simplesmente rede neurais, representam uma tecnologia que tem raízes em muitas disciplinas: neurociência, matemática, estatística, física, ciência da computação e engenharia. As RNA encontram aplicações em campos diversos, como modelagem, análise de séries temporais, reconhecimento de padrões, entre outros (HAYKIN, 2001, BRAGA *et al.*, 2000).

Esta abordagem envolve dois diferentes valores semânticos. Um, baseado no conceito de desenvolvimento de sistemas artificiais que reproduzem fielmente as características de especialistas em tomadas de decisão. Outro, que cria sistemas baseados em sistemas neurais e que imita de alguma forma o sistema cognitivo do cérebro (VIEIRA, 2000).

A utilização de redes neurais tem sido motivada desde o começo pelo reconhecimento de que o cérebro humano processa informações de uma forma inteiramente diferente do computador digital convencional. O cérebro é um “computador” (sistema de processamento de informação) altamente complexo, não-linear e paralelo. Possui a capacidade de organizar seus constituintes estruturais, os neurônios ou nós, de forma a realizar certos processamentos muito mais rapidamente que o mais rápido computador digital hoje existente (HAYKIN, 2001).

Uma rede neural artificial pode ser definida como um processador maciço e paralelamente distribuído, constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos: o conhecimento que é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem; e as forças das conexões entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, que são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido (HAYKIN, 2001 e BRAGA *et al.*, 2000). Considera-se assim que cada neurônio é um sistema dinâmico que se comunica com muitos outros ao mesmo tempo, sem ter que obedecer a uma unidade de processamento central (VIEIRA, 2000).

Um neurônio ou nó é uma unidade de processamento de informação que é fundamental para a operação de uma rede neural. O diagrama em blocos da Figura 02 mostra o modelo de um neurônio, base para o projeto de uma rede neural artificial.

Assim podemos identificar três elementos básicos do modelo, a saber: um conjunto de sinapses ou elos de conexão, cada um caracterizado por um peso ou força própria, que pode estar em um intervalo que inclui valores negativos bem como positivos; um somador para os sinais de entrada; e uma função de ativação para restringir (função restritiva) a amplitude de saída de um neurônio.

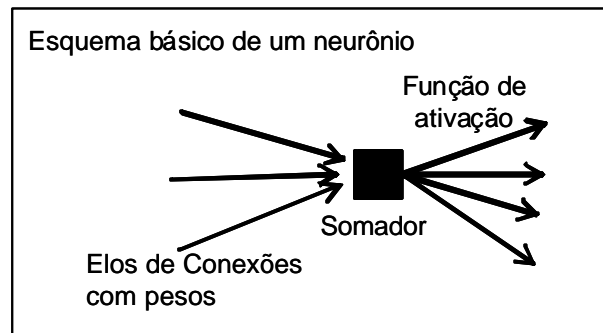


Figura 02. Modelo não-linear de neurônio.

A função de ativação, que define a saída de um neurônio, pode ser de três tipos, a função Limiar, que faz a saída assumir o valor 0 ou 1; a função Linear por Partes; e a função Sigmóide, que é de longe a forma mais comum de função de ativação (HAYKIN, 2001; BRAGA *et al.*, 2000; ESPINHOSA, 2004 e MÜLLER *et al.*, 1995).

A maneira pela qual os neurônios ou nós de uma rede neural artificial estão estruturados configura-se na arquitetura da rede. Segundo VIEIRA (2000), a arquitetura de uma rede neural é definida pelo número de neurônios e o modelo pelo qual os elementos processadores estão conectados ou organizados. O estado de ativação de um neurônio também envolve o conjunto de estados de ativação de cada elemento processador.

A definição da arquitetura de uma rede é um parâmetro importante na sua concepção, uma vez que ela restringe o tipo de problema que pode ser tratado pela rede (BRAGA *et al.*, 2000). Fazem parte da definição da arquitetura os seguintes parâmetros: número de camadas da rede, número de nós em cada camada, tipo de conexão entre os nós e topologia da rede. Dentre os tipos de arquitetura de redes neurais, neste trabalho enfoca-se a utilização de redes recorrentes, que se caracterizam por ter pelo menos um laço de realimentação ou retropropagação. Segundo HAYKIN (2001), em uma rede neural com uma arquitetura específica, a representação do conhecimento do meio ambiente é definida pelos valores assumidos pelos parâmetros livres (pesos sinápticos) da rede. A forma dessa representação de conhecimento constitui o verdadeiro projeto da rede neural e, portanto é a chave para o seu bom desempenho.

O procedimento utilizado para realizar o processo de aprendizagem é chamado de “algoritmo de aprendizagem”, cuja função é modificar os pesos sinápticos da rede de uma forma ordenada para alcançar um objetivo de projeto desejado.

Segundo HAYKIN (2001) e BRAGA *et al.* (2000), o treinamento ou aprendizagem envolve a modificação dos pesos sinápticos de uma rede neural pela aplicação de um conjunto de amostras de treinamento rotuladas ou exemplos da tarefa a ser empreendida. Cada exemplo consiste em um sinal de entrada único e uma resposta desejada correspondente. Apresenta-se para a rede um exemplo escolhido ao acaso no conjunto, e os pesos sinápticos da rede são modificados para minimizar a diferença entre a resposta desejada e a resposta real da rede, produzida pelo sinal de entrada, de acordo com um critério estatístico apropriado ou uma regra de aprendizagem. Segundo VIEIRA (2000), a regra de aprendizagem define como os pesos associados às conexões entre os elementos processadores são ajustados para modificar o comportamento da rede neural para que melhorem as chances de uma decisão correta. Após o treinamento ou aprendizagem deve-se testar a rede apresentando um conjunto de dados não apresentados anteriormente, ou amostras não rotuladas, para verificar o desempenho da rede.

A propriedade de primordial importância para uma rede neural é a sua habilidade de aprender a partir de seu ambiente e de melhorar o seu desempenho através da aprendizagem. Uma rede neural aprende acerca de seu ambiente através de um processo iterativo de ajustes aplicados a seus pesos sinápticos. Idealmente, a rede se torna mais instruída sobre seu ambiente após cada iteração do processo de aprendizagem (HAYKIN, 2001).

Os perceptrons<sup>2</sup> de múltiplas camadas consistem em um conjunto de unidades sensoriais (nós de fonte) que constituem a camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas de nós computacionais e uma camada de saída. Este tipo de arquitetura tem sido aplicado com sucesso para resolver diversos problemas difíceis, através de seu treinamento de forma supervisionada com um algoritmo muito popular conhecido por retropropagação de erro (HAYKIN, 2001; VIEIRA, 2000 e BRAGA *et al.*, 2000).

Basicamente, a aprendizagem por retropropagação do erro consiste de dois passos através das diferentes camadas da rede: um passo para frente, a propagação, e um passo para trás, a retropropagação. No passo para frente, um padrão de atividade (vetor de entrada) é aplicado aos nós sensoriais da rede e seu efeito se propaga através da rede, camada por camada. Finalmente, um conjunto de saídas é produzido como a resposta real da rede. Durante o processo de propagação, os pesos da rede são todos fixos. Durante o passo para trás, por outro lado, os pesos sinápticos são todos ajustados de acordo com uma

---

<sup>2</sup> Perceptron – primeiro modelo de rede neural artificial que utilizou aprendizado supervisionado com duas camadas, sendo uma de entrada e uma de saída.

regra de correção de erros. Especificamente, a resposta real da rede é subtraída de uma desejada (alvo) para produzir um sinal de erro, que é então propagado para trás através da rede, fazendo com que a resposta real da rede se mova para mais perto da resposta desejada, em um sentido estatístico.

A taxa de aprendizagem diz respeito às variações dos pesos sinápticos na retropropagação. Assim, quanto menor for o parâmetro da taxa de aprendizagem, menores serão as variações dos pesos sinápticos da rede, de uma iteração para outra, configurando uma aprendizagem lenta. Por outro lado, se a taxa de aprendizagem é grande, para acelerar a aprendizagem da rede, as grandes modificações dos pesos sinápticos podem tornar a rede instável ou oscilatória.

Segundo VIEIRA (2000), a constante de proporcionalidade é a taxa de aprendizagem, ou seja, é o que determina o tamanho da mudança dos pesos em uma iteração. Pode ser configurada para alta ou para baixa, quando grandes ou pequenas mudanças de peso se darão, respectivamente. Na prática, deve ser a maior possível, para acelerar a aprendizagem sem causar oscilação na rede.

Segundo BRAGA *et al.* (2000), redes com mais de uma camada podem operar com dados que não são linearmente separáveis. Teoricamente, redes com duas camadas intermediárias ou ocultas podem implementar qualquer função, seja linearmente separável ou não. Em alguns casos, a utilização de duas camadas ocultas pode facilitar o treinamento da rede. Entretanto, um grande número de camadas ocultas não é recomendado, pois cada vez que o erro medido durante o aprendizado ou treinamento é retropropagado, ele se torna menos útil ou preciso. Assim, a única camada que tem noção precisa do erro cometido pela rede é a de saída. A última camada intermediária recebe apenas uma estimativa do erro, a penúltima uma estimativa da estimativa, e assim por diante.

O número de neurônios ou nós na camada intermediária depende basicamente de: número de exemplos de treinamento, quantidade de ruído presente no exemplo, complexidade da função a ser aprendida e distribuição estatística dos dados de treinamento (BRAGA *et al.*, 2000).

Uma vez definida a arquitetura inicial ou topologia da rede, através de uma inspeção prévia nos dados e na complexidade do problema, a estrutura final mais adequada para o modelamento é normalmente obtida através de refinamentos sucessivos, com um componente empírico (BRAGA *et al.*, 2000 e HAYKIN, 2001).

Determinar uma arquitetura da rede eficiente, que seja apropriada para uma dada aplicação é um problema crucial. Envolve a determinação do número de camadas ocultas e o número de neurônios em cada camada oculta. A camada de entrada da rede usa 01 unidade de neurônio para cada variável discriminatória do estudo, enquanto a camada de

saída é normalmente modelada usando um neurônio para cada classe a ser discriminada (VIEIRA, 2000).

Uma estrutura de rede eficiente é aquela que contém o número mínimo de camadas ocultas de neurônios (custo computacional; grandes redes consomem muito tempo para aprendizagem; pequenas redes permitem mais fácil entendimento).

Existem duas abordagens, ambas envolvendo o teste seqüencial de modelos de diferentes tamanhos até um nível de complexidade no qual o conjunto do erro na validação cruzada seja minimizado (VIEIRA, 2000, BRAGA *et al.*, 2000 e HAYKIN, 2001). A primeira é o método construtivo (algoritmo do aprendizado construtivo), quando a camada oculta é inicializada com um pequeno número de neurônios, adicionados um de cada vez até a rede convergir para um erro pequeno e aceitável. Uma variação deste método consiste em, a cada vez que não houver queda no valor do erro global, adicionar uma nova camada oculta, em vez de um novo neurônio.

A segunda abordagem é o método da poda, em que se inicia com uma rede maior que o tamanho normalmente considerado necessário e, com um critério geral, vai-se removendo neurônios ou conexões consideradas redundantes.

Para duas camadas ocultas, a primeira deve conter um número de neurônios igual a 2 ou 3 vezes o número de neurônios de entrada, ou até 4 vezes. Discute-se que a camada oculta final (a segunda) efetivamente combina a saída da primeira camada para definir as classes. O número de neurônios deve ser aproximadamente 2 ou 3 vezes o número total de classes. Para redes com apenas uma camada oculta, sugere-se que o número de nós deve ser igual ao maior dos dois parâmetros anteriores. Se o procedimento não render um resultado acurado na classificação, a rede deve ser lentamente expandida com sucessivos treinamentos até alcançar resultados melhores (VIEIRA, 2000).

Outra abordagem leva em conta o número de nós de entrada e de saída, sua média como o número inicial de neurônios ocultos. De maneira geral, quanto mais complexo o relacionamento entre as entradas e saídas, mais camadas de neurônios ocultos serão necessárias.

A preparação dos dados para entrar num simulador de redes neurais artificiais é importante e trabalhosa. Os dados podem ser, então, discretos ou contínuos, e a escolha entre um ou outro, para usar uma representação não distribuída, pode ser difícil e será feita por tentativa e erro até encontrar a mais eficiente forma de representação. Uma representação distribuída pode ser usada para modelar dados contínuos. Neste caso, todo padrão distinto é resultado da combinação de um conjunto de pequenas características, que estão distribuídas entre as variáveis, as quais juntas, definem tais padrões de uma maneira distinta (VIEIRA, 2000 e BRAGA *et al.*, 2000).

É importante optar por valores relativos ou absolutos, pois em muitos casos não é a magnitude que importe, mas sua variação. Melhores resultados, quando modelamos variáveis contínuas, podem ser alcançados pela normalização dos dados. É bastante útil reescalar os dados para valores entre 0 e 1, para mantê-los dentro de uma faixa pequena, evitando a saturação da rede pelo elevado valor que os pesos sinápticos poderiam ter (VIEIRA, 2000).

A quantidade e a qualidade dos dados é significativa e quanto maior e mais variada for a informação disponível para treinar a rede, melhor será o resultado.

Neste estudo foi utilizado o simulador de redes neurais “Java Neural Network Simulator” (JavaNNS, 2001) desenvolvido no Instituto Wilhelm-Schickard para Ciência da Computação (WSI) em Tübingen (Alemanha). Este simulador é baseado no Stuttgart Neural Network Simulator 4.2 kernel (SNNS, 1998), com uma nova interface gráfica.

As etapas do trabalho de classificação utilizando redes neurais são:

- ☞ definição dos dados de entrada e das classes de saída,
- ☞ aquisição das amostras de treinamento e validação,
- ☞ geração dos arquivos de treinamento e validação no formato JavaNNS,
- ☞ treinamento com arquiteturas de redes neurais artificiais,
- ☞ definição da arquitetura da rede,
- ☞ aplicação da Rede neural artificial treinada na classificação de uma amostra não vista (validação), geração da matriz de confusão e comparação com o algoritmo de máxima verossimilhança,
- ☞ aplicação da Rede neural artificial treinada na classificação de uma área piloto, e
- ☞ geração da imagem resultante da classificação.

### 3.6.2. Máxima verossimilhança

Métodos estatísticos de reconhecimento de padrões têm sido amplamente utilizados e atualmente estão num avançado nível de desenvolvimento. Muitos métodos estatísticos são também relacionados a métodos paramétricos de reconhecimento de padrões, no sentido de que o comportamento do classificador treinado é controlado pelos parâmetros de distribuição estatística que são usados para modelar as amostras de dados (VIEIRA, 2000).

Segundo BROWN *et al.* (1998), aplicações da classificação por máxima verossimilhança estão muito bem estabelecidas na literatura sobre sensoriamento remoto. Segundo MOREIRA (2003), a dificuldade da classificação de padrões é decidir a qual classe determinado objeto pertence. Um método usado para resolver este problema é determinar diversas características (atributos) quantificáveis dos objetos que possam diferenciar as várias classes. Na formulação estatística, assume-se uma densidade de probabilidade

condicional  $P(x/w_j)$ , em que  $x$  é o conjunto de valores, nas diversas características ou atributos, e  $w_j$  representa a  $j$ -ésima classe. Esta densidade de probabilidade condicional define a característica da classe. No método gaussiano de máxima verossimilhança, o mais bem conhecido (VIEIRA, 2000), assume-se que a função de densidade de probabilidade para dada classe possui distribuição normal. A distribuição normal descreve a probabilidade de uma simples variável e é especificada por dois parâmetros, a média e a variância, em que a média controla a localização da distribuição e a variância, sua extensão.

Para se treinar um classificador por máxima verossimilhança, assim como qualquer outro classificador supervisionado, tem-se que fornecer ao sistema um conjunto de dados ou amostras representativos de cada classe que se deseja reconhecer. A partir deste pacote de treinamento, o classificador define o diagrama de dispersão das classes em torno da média e suas distribuições de probabilidades, considerando uma distribuição normal.

### **3.7. Parametrização dos Atributos Geomorfométricos e Geoprocessamento.**

Como o estudo das relações entre o solo e a paisagem, através de técnicas de geoprocessamento com auxílio de redes neurais artificiais, requer parâmetros quantificáveis, define-se a necessidade de parametrização das feições geomórficas, que podem ser entendidas como uma descrição numérica contínua de uma superfície (WOOD, 2000). Num contexto mais geomorfológico, pode ser entendido como um conjunto de medidas que descreve a forma topográfica o suficiente para distinguir paisagens topograficamente diferentes. Assim, os parâmetros do terreno precisam ser sensíveis aos processos geomorfológicos bem como à forma. Por exemplo, a altitude, a declividade e a superfície de curvatura são todas afetadas e influenciam os processos geomorfológicos.

De acordo com BLASZCZYNSKI (1997), a quantificação das feições morfológicas da superfície da terra é essencial para o conhecimento de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na paisagem. Portanto, pode-se considerar que a forma do terreno influencia o fluxo de água, o transporte de sedimentos, a natureza e distribuição de *habitats* de plantas e animais, expressando também os processos geológicos e de intemperismo que atuam na formação de uma paisagem.

A análise digital do terreno através de técnicas disponíveis nos sistemas de informação geográfica (SIG) é uma alternativa rápida e econômica, que pode ser aplicada na quantificação dos parâmetros geomorfológicos em qualquer porção da superfície da terra, como um procedimento relativamente simples e cientificamente preciso, pois pode ser repetido e fornecer o mesmo resultado em qualquer situação.

De acordo com STAR & ESTES (1990), os SIG's devem ser capazes de aceitar diversos tipos e formatos de dados. Os dados a serem introduzidos em um SIG são

adquiridos em uma variedade de formas. Alguns chegam na forma gráfica e/ou na forma tabular, e incluem mapas, fotografias e informações não espaciais relacionadas a mapas, entre outros.

Um dos aspectos mais cruciais na utilização de um SIG é o modelo conceitual utilizado. Este modelo, muitas vezes implícito, é responsável por limitações estruturais no sistema, que impedem a sua evolução. Um exemplo disto é a dicotomia “raster-vetor”, em que alguns sistemas foram desenhados para trabalhar no domínio vetorial, e outros, para utilizar operações no formato raster ou matricial. A tendência por modelos que quebrem esta dicotomia é reforçada pela necessidade de se dispor de sistemas que integrem funções de processamento de imagens, análise de redes, análise espacial e modelagem digital de terreno em um mesmo ambiente (CÂMARA, 1993).

Segundo STAR & ESTES (1990), os usuários de SIG devem estar cientes das características das diferentes estruturas de dados existentes, já que vários formatos são comumente empregados. Desta forma, a escolha de uma estrutura de dados pode afetar tanto o volume dos dados a serem armazenados, como a eficiência do seu processamento.

A estrutura de dados matriciais consiste em um conjunto de células (grade), também denominadas pixels. Cada célula em uma grade é referenciada pelo número da linha e da coluna que ocupa e contém um número que representa o tipo ou valor do atributo que está sendo mapeado. Na estrutura matricial um ponto é representado por única célula; uma linha por um número de células vizinhas unidas em uma determinada direção e uma área por um aglomerado de células vizinhas (BURROUGH, 1986).

A representação matricial assume que o espaço geográfico pode ser tratado como se fosse um plano de uma superfície cartesiana. Cada pixel ou célula é então associada com uma parcela da paisagem. A resolução, ou escala dos dados matriciais, é a relação entre o tamanho da célula na base de dados e o tamanho da célula no terreno (BURROUGH, 1986).

A utilização de conjuntos de dados matriciais tem sido muito grande. Um bom exemplo é a utilização de dados de sensores remotos (imagens) que são freqüentemente empregados para distinguir categorias de cobertura da terra sobre grandes áreas (STAR & ESTES, 1990).

Segundo ARONOFF (1989) o uso de imagens como base de informação, pode ser uma boa solução quando a quantidade de dados necessários a ser extraída é relativamente pequena. No entanto, de acordo com STAR e ESTES (1990), para se trabalhar com conjuntos de dados muito grandes, existem vários algoritmos que podem ser usados para comprimir estes dados. Alguns destes algoritmos são completamente reversíveis, isto é, é possível recuperar exatamente o conjunto de dados originais, após a compressão dos dados.

CHOU (1997) destaca como vantagens do formato matricial, entre outras, a eficiência no processamento dos dados; as várias fontes de dados existentes, tais como: imagens de satélites, fotografias aéreas escaneadas, modelos de elevação de terreno, e a possibilidade de organização de diferentes tipos de feições em um mesmo plano de informação. Como desvantagens, o autor cita a redundância dos dados, a confusão na resolução da célula e a dificuldade de designar o valor da mesma.

Dentre os parâmetros geomorfológicos, utilizados nas descrições de paisagens, que podem ser obtidos a partir de uma modelagem digital na forma matricial, tem-se:

### **3.7.1. Modelo Digital de Elevação (MDE).**

Gerado a partir de dados primários de elevação, de drenagem e limite, por interpolação, resultando numa grade onde as células estão associadas a um valor que representa a elevação local.

### **3.7.2. Declividade**

Expressa em porcentagem ou em graus, identifica a taxa máxima de mudança no valor de uma célula em relação às células vizinhas. Conceitualmente, a função de cálculo da declividade é feita sobre um plano com valores Z (altitude) com 3x3 células vizinhas a célula central, que terá sua declividade calculada (ESRI, 1996a e ESRI, 1996b).

### **3.7.3. Aspecto**

Identifica a direção da taxa máxima de mudança no valor Z para cada célula central em relação às suas vizinhas, num plano de 3x3 células. É expresso em graus positivos de 0 a 360, medidos a partir do Norte no sentido horário. O aspecto pode ser entendido como a direção da declividade (ESRI, 1996a e ESRI, 1996b). A Figura 03 mostra o esquema de representação deste tema.

### **3.7.4. Superfícies de curvatura**

Calculada a partir de uma grade de altitude para cada célula central, numa vizinhança de 3x3 células. Um valor positivo da curvatura significa que a superfície é fortemente convexa naquela célula. Um valor negativo identifica uma superfície côncava. Um valor de zero indica uma superfície plana. O processamento de uma grade de elevação, para gerar uma superfície de curvatura, fornece também como resultado duas grades possíveis, representando o perfil e o plano de curvatura que, analisadas em conjunto, podem auxiliar na distinção de processos geomorfológicos, tais como erosão e escoamento

superficial da água. Em termos gerais, a superfície de curvatura é calculada como a declividade da declividade, ou seja, é a segunda derivada de um modelo digital de elevação (ESRI, 1996a e ESRI, 1996b).

Valores razoáveis que podem ser esperados para estes temas para uma área de relevo moderado, variam entre  $-0,5$  e  $0,5$ ; enquanto para áreas com relevo mais movimentado ou montanhosas os valores devem variar entre  $-4$  e  $4$  (ESRI, 1994).

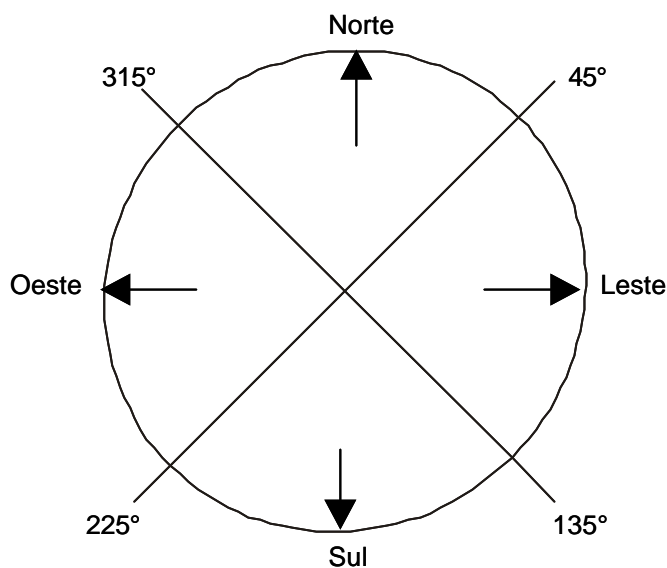


Figura 03. Representação da direção das faces das vertentes ou aspecto.

### 3.7.5. Sentido do escoamento superficial

É o cálculo, a partir de um modelo digital de elevação, do sentido do escoamento ou fluxo de cada célula no sentido da maior declividade para uma das suas oito células vizinhas, ou seja, sobre uma superfície de  $3 \times 3$  células. Gera uma grade com valores inteiros que variam de 1 a 255, com os valores de cada direção a partir do centro da célula sendo calculado conforme a Figura 04.

Por exemplo, se a direção da maior declividade for para a esquerda numa determinada célula, sua direção de escoamento será codificada como 16. Se uma célula for de valor menor que suas 8 vizinhas, a ela será atribuído o valor do menor vizinho e o fluxo definido favoravelmente para esta célula vizinha. Se múltiplos vizinhos tiverem um valor menor, a célula ainda receberá este valor, mas o fluxo será definido conforme um dos dois métodos explicados abaixo. Isto é utilizado para filtrar células que possam ser vistas como um “buraco” ou fim de linha, o que pode ser considerado como um ruído ou erro.

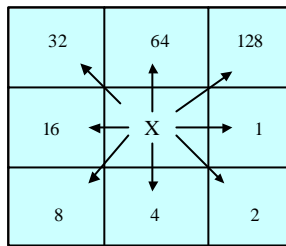


FIGURA 04. Esquema de sentido do escoamento superficial calculado pelo sistema de informação geográfica utilizado (ESRI, 1996a).

O sentido do fluxo é determinado pela direção de maior declive a partir de uma dada célula. Ela é calculada como: Declive = mudança no valor Z / distância \* 100. A distância é determinada entre os centros de cada célula. Então, se a célula tiver tamanho 1, a distância entre células ortogonais será 1 e entre células diagonais será 1,414214 (ESRI, 1996a e ESRI, 1996b).

### 3.7.6. Escoamento superficial acumulado

Consiste na geração de uma grade, a partir da grade do sentido do escoamento (fluxo) superficial, com o escoamento superficial acumulado para cada célula, através do somatório do peso de todas as células que fluem em direção a uma determinada célula.

Células que tenham um sentido de escoamento indefinido só vão receber o escoamento, e não vão contribuir para nenhum fluxo abaixo. Uma célula é considerada como tendo uma direção de fluxo indefinido se o valor na grade de sentido do fluxo for diferente de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ou 128, que são os valores atribuídos às 8 possíveis direções.

O fluxo acumulado é baseado no número de células que fluem para cada célula da grade de saída. O valor da célula que está sendo processada não é considerado para o fluxo acumulado, como pode ser observado na Figura 05.

Células da grade com fluxo do escoamento superficial acumulado relativamente alto correspondem a áreas de concentração de fluxo e podem ser utilizadas para identificar os canais de drenagem ou rios, além de contribuir no estudo dos processos geomorfológicos. As células da grade de saída com fluxo acumulado igual a 0 são locais de topografia alta e podem ser utilizadas para identificar os divisores de bacias ou topos de morros.

2	2	2	4	4	8
2	2	2	4	4	8
1	1	2	4	8	4
128	128	1	2	4	8
2	2	1	4	4	4
1	1	1	1	4	16

=
I

0	0	0	0	0	0
0	1	1	2	2	0
0	3	7	5	4	0
0	0	0	20	0	1
0	0	0	1	24	0
0	2	4	7	35	2

Sentido do escoamento

Escoamento acumulado

Figura 05. Representação esquemática da geração da grade de escoamento superficial acumulado a partir da grade do sentido do escoamento superficial.

Opcionalmente, pode-se gerar uma grade de pesos, que deverá ser utilizada para determinar o quanto de chuva pode escoar por uma determinada bacia. Neste caso, uma grade contínua representando a média de pluviosidade durante um determinado evento de chuva será utilizada como entrada para os cálculos. A grade de saída com o escoamento superficial acumulado vai representar então a quantidade de chuva que pode escoar através de cada célula, desde que toda a precipitação vá escoar e que não exista interceptação, evapotranspiração ou perdas para o lençol (infiltração). Isto também pode ser visto como a quantidade de chuva que cai na superfície, acima de determinada célula.

Os resultados do escoamento superficial acumulado podem ser utilizados para criar uma rede de drenagem pela aplicação de limiares de valores para subdividir as células com alto fluxo acumulado, ou identificar áreas onde o escoamento superficial seja relativamente alto ou baixo.

Este método de derivação de escoamento superficial acumulado a partir de um modelo digital de elevação é apresentado por JENSON & DOMINGUE (1988). Um método analítico para determinar um limite apropriado para o valor e para se delinear uma rede de drenagem é apresentado por TARBOTON *et al.* (1991).

### 3.7.7. Altimetria relativa de sub-bacias.

Esta variável descreve a variação de cota altimétrica da bacia de contribuição de cada segmento da rede de drenagem de uma região. Diferentemente da altimetria, que fornece a posição vertical absoluta indicada pela elevação, vai indicar, para cada segmento de drenagem, a altura máxima em metros das vertentes que se orientam para ele. A altimetria relativa descreve um aspecto da geomorfometria local, e pode ser importante na identificação de unidades de paisagem.

### 3.7.8. Distância euclidiana da hidrografia.

As funções de linhas de distâncias diretas, ou distância euclidiana, descrevem a relação de cada célula com uma fonte ou um conjunto de fontes. Este procedimento, realizado no ARC/INFO, pode produzir três grades opcionais. A primeira, mais importante e que será utilizada neste trabalho, fornece a distância de cada célula da grade até a fonte mais próxima. As outras duas grades opcionais identificam a fonte para qual os valores de distância foram calculados e qual o sentido da linha de distância (ESRI, 1994).

Neste trabalho, a fonte identifica a drenagem. Sendo a fonte um modelo matricial, este deverá conter apenas as células com os valores de interesse, sendo as outras células atribuídas como NoData.

O modelo matricial de distância euclidiana contém a distância medida de cada célula à célula mais próxima da hidrografia. As distâncias são medidas em unidades da projeção do modelo, no caso metros, e são computadas a partir do centro da célula até o centro da célula fonte.

Este tema é importante, em termos geomorfológicos, quando se analisa a distância em relação à drenagem, podendo auxiliar na descrição do comportamento de áreas onde existe maior ou menor probabilidade de ocorrer inundação. Pela Figura 06 pode-se observar como é calculada esta distância.

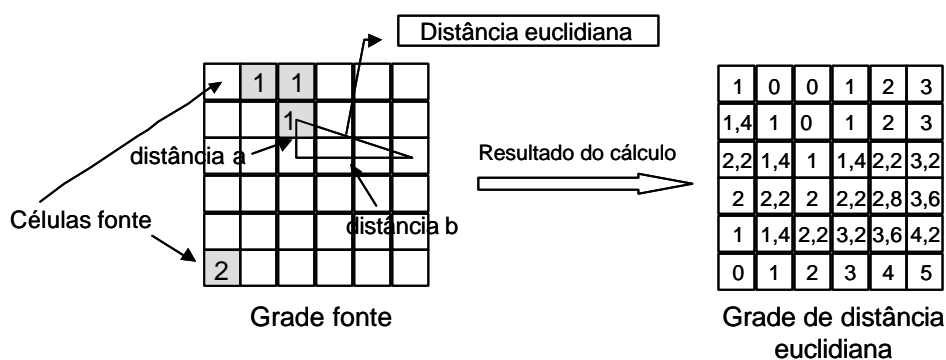


Figura 06. Representação gráfica do cálculo da distância euclidiana de uma célula.

## 4. Material, Métodos e Procedimentos.

Na primeira parte deste capítulo são apresentados a área de trabalho, considerações sobre o uso agrícola das terras, as variáveis ambientais já mapeadas e os materiais cartográficos básicos utilizados na obtenção dos parâmetros geomórficos relativos. Na segunda apresentam-se os métodos, sistemas e procedimentos utilizados para gerar os atributos da paisagem.

## 4.1. Material

### 4.1.1. Breve histórico

A Mesorregião Noroeste fluminense ocupa aproximadamente 5.388 km<sup>2</sup>, equivalentes a 12,3% da área do Estado do Rio de Janeiro. Compreende 13 municípios, dentre os quais aqueles três que serão objeto de estudo desta tese: Natividade, Porciúncula e Varre-sai. Não obstante esta mesorregião possuir como principal atividade econômica a pecuária leiteira e de corte, em ambientes com predomínio de áreas acidentadas (MOTTA *et al.*, 2003), nos municípios acima citados, a cafeicultura possui expressiva participação na atividade rural.

Em termos de lavouras permanentes, a área plantada com o café no Estado do Rio de Janeiro, apesar de representar apenas 0,44% de toda a área plantada no Brasil, é um produto importante, principalmente para a região de estudo, que possui aproximadamente 65% das áreas plantadas no estado, conforme pode ser observado nos Quadros 01 e 02 (IBGE, 2003).

A cultura da banana, também é importante para o estado, que possui aproximadamente 5,5% da área plantada no Brasil, porém a mesorregião noroeste fluminense contribui muito pouco (apenas 0,43% da área estadual), contrastando com as mesorregiões metropolitana e sul fluminense, que possuem a maior área plantada (IBGE, 2003).

Quadro 01: Evolução e percentuais da área plantada (lavouras permanentes e temporárias), do efetivo do rebanho bovino e da produção leiteira na Mesorregião Noroeste Fluminense.

Produtos	1.997	1.998	1.999	2.000	2.001	Média	% em relação ao Estado
----- Lavoura Permanente (hectare) -----							
Banana	127	125	119	119	119	122	0,43
Café	5.620	6.165	6.165	6.165	7.110	6.245	64,26
Laranja	105	87	87	90	90	92	0,83
Limão	35	13	10	10	10	16	0,86
Maracujá	63	13	11	21	130	48	4,29
----- Lavoura Temporária (hectare) -----							
Arroz	5.449	3.109	3.890	3.130	2.010	3.518	68,00
Cana-de-açúcar	3.350	3.400	3.400	3.477	3.397	3.405	2,07
Feijão	2.108	2.253	1.935	1.996	2.288	2.116	25,01
Mandioca	144	144	145	130	152	143	1,11
Milho	6.764	5.713	5.838	5.601	5.331	5.849	34,51
Tomate	1.078	1.451	1.098	1.149	1.225	1.200	35,65
-----Pecuária -----							
Efetivo do Rebanho Bovino <sup>1</sup>	416	424	421	438	449		
Produção Leite <sup>2</sup>	97.964	103.506	103.814	102.723	107.626		

<sup>1</sup> Mil cabeças; <sup>2</sup> Mil litros.  
Fonte: IBGE (2003)

Quadro 02: Evolução e percentuais da área plantada (lavouras permanentes e temporárias), do efetivo do rebanho bovino e da produção leiteira no Estado do Rio de Janeiro.

Produtos	1.997	1.998	1.999	2.000	2.001	Média	% em relação ao Brasil
----- Lavoura Permanente (hectare) -----							
Banana	29.687	28.859	28.978	28.859	26.676	28.612	5,36
Café	9.095	9.613	9.504	9.553	10.824	9.718	0,44
Laranja	13.246	11.378	11.324	11.293	7.955	11.039	1,17
Limão	170	162	154	149	183	1.824	3,83
Maracujá	1.306	1.083	1.007	1.211	947	1.111	3,14
----- Lavoura Temporária (hectare) -----							
Arroz	7.604	4.518	5.442	4.959	3.342	5.173	0,15
Cana-de-açúcar	165.833	167.897	167.286	158.824	162.021	164.372	3,31
Feijão	9.223	9.268	8.793	7.664	7.363	8.462	0,20
Mandioca	12.738	13.341	12.708	12.948	12.774	12.902	0,77
Milho	18.694	17.939	17.366	16.366	14.385	16.950	0,14
Tomate	3.268	3.611	3.252	3.362	3.342	3.367	5,40
-----Pecuária-----							
Efetivo do Rebanho Bovino <sup>1</sup>	1.837	1.881	1.866	1.960	1.977		
Produção Leite <sup>2</sup>	451.223	455.144	457.736	468.752	446.676		

<sup>1</sup> Mil cabeças; <sup>2</sup> Mil litros  
Fonte: IBGE(2003)

Considerando a área plantada com lavouras temporárias, o Estado do Rio de Janeiro possui 5,4% da área plantada com tomate no país. No âmbito estadual, a mesorregião noroeste fluminense tem expressiva área plantada, perfazendo 1.200 ha, ou 35,65% da área utilizada com esta cultura no estado.

As áreas utilizadas com o cultivo do arroz, do feijão e do milho no Estado do Rio de Janeiro, apesar de nacionalmente não ter muita expressão, com área menor que 0,2% da área cultivada nacionalmente, a mesorregião noroeste fluminense tem grande participação relativa. As áreas ocupadas com arroz nesta mesorregião perfazem 68% do total estadual; as áreas de milho, 34,51% e as de feijão, 25% (IBGE, 2003).

A cana-de-açúcar, importante produto do Estado do Rio de Janeiro, soma 3,31% da área plantada no país. Na mesorregião noroeste fluminense esta cultura não encontra muito espaço, totalizando apenas 2,07% das áreas utilizadas no Estado (IBGE, 2003).

Segundo MOTTA *et al.* (2003), em virtude da intensa ocupação do espaço agrícola desde o início da colonização do país, a cobertura florestal, que corresponde a remanescentes da Mata Atlântica, é de apenas 5% da área, sendo constituído por fragmentos de matas secundárias com elevado grau de degradação.

#### **4.1.2. Base cartográfica**

A área de trabalho desta tese inclui parte dos municípios de Natividade, Porciúncula e Varre-Sai, localizados no extremo norte da mesorregião noroeste fluminense e, contidos na folha topográfica Varre-sai (IBGE, 1991), fazendo limite com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Figura 07). A área total de estudo perfaz 47.292 hectares.

A base cartográfica digital, no formato vetorial, foi gentilmente fornecida pelo IBGE (IBGE, 1991), contendo curvas de nível eqüidistantes de 20 m, pontos de cota, rede de drenagem, localidades, limites e estradas de rodagem, na escala 1:50.000 e em sistema de projeção Universal Transversa de Mercator com datum horizontal de Córrego Alegre (MG). Apesar de o IBGE ter fornecido as cartas topográficas em formato digital vetorial, ou seja, contendo as feições espaciais, as mesmas não possuíam os atributos alfanuméricos, que foram associados às feições vetoriais por intermédio dos recursos disponíveis no sistema ARC/INFO (ESRI, 1994) para edição digital de mapas vetoriais por bolsistas do Núcleo de Geoprocessamento Prof. Aspiazú (NUGEO) e seguindo orientações contidas nas tabelas da vetorização (mapeamento topográfico sistemático), conforme pode ser observado no Anexo 01. A Figura 08 representa a carta topográfica vetorial digital (IBGE, 1991) da folha Varre-Sai, que contém parte dos municípios objeto deste estudo, e que foi editada para ser utilizada nesta tese como material básico.

Nota-se que a maior parte da hidrografia da área de estudo é formada por córregos e ribeirões afluentes do rio Itabapoana, que faz divisa entre os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, sendo que uma outra porção menor da hidrografia é afluente do rio Carangola, que vai desaguar no rio Muriaé.

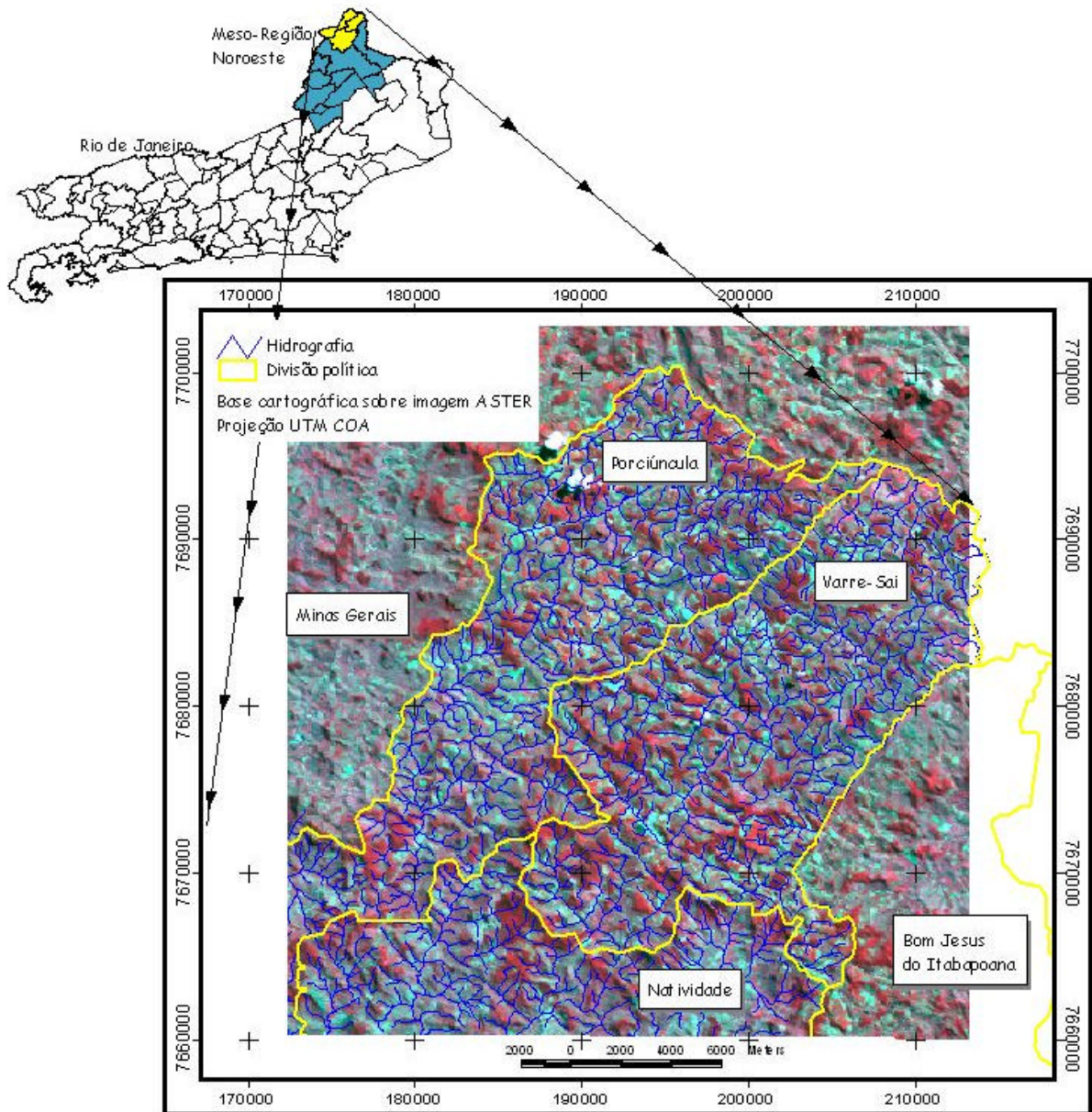


Figura 07: Localização da mesorregião noroeste fluminense em relação ao estado do Rio de Janeiro, dos municípios de Natividade, Porciúncula e Varre-Sai, sobre imagem ASTER e o retângulo interno limitando a área de estudo.

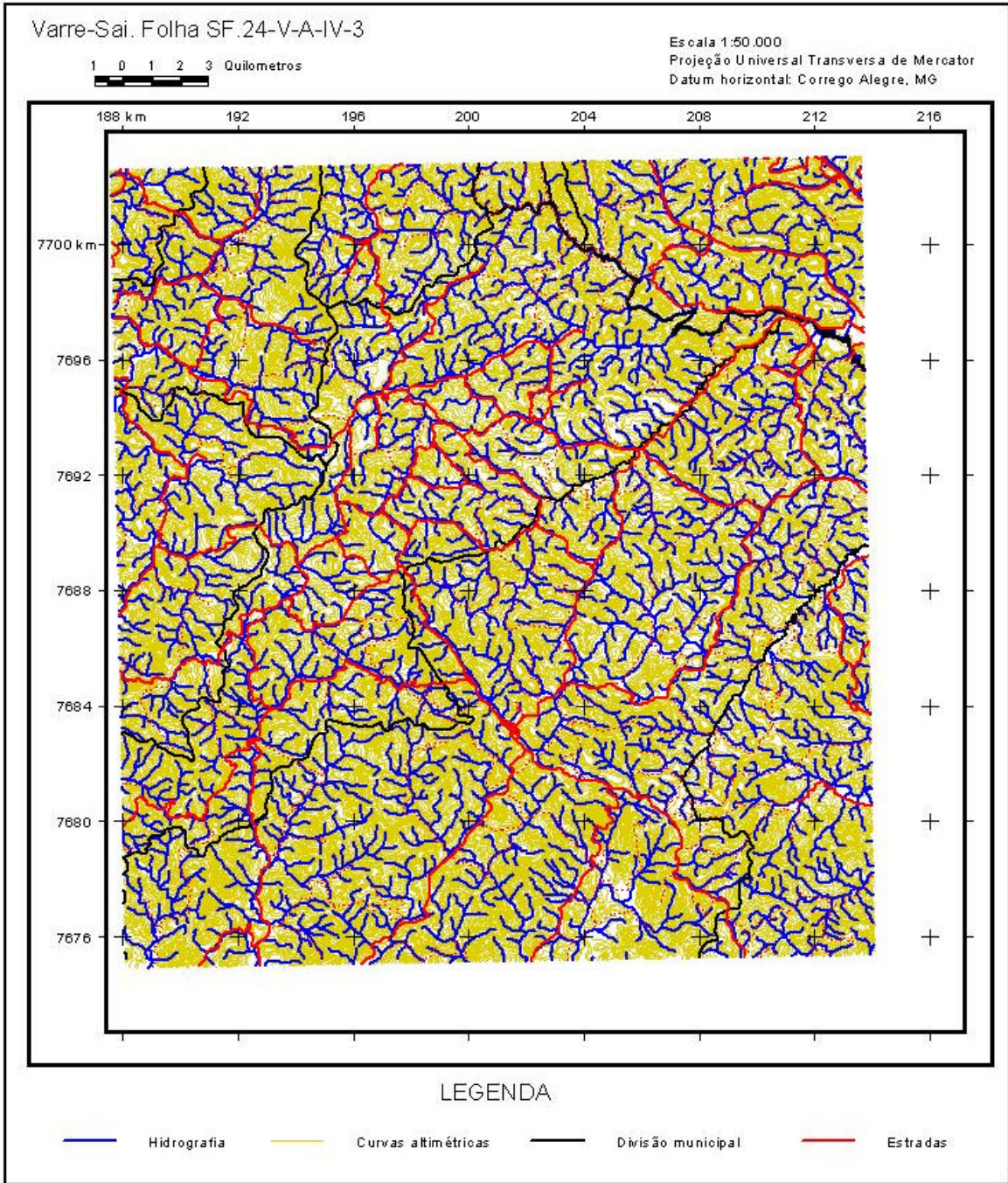


Figura 08. Folha Varre-Sai com feições vetoriais planialtimétricas.

### 4.1.3. Geologia

#### 4.1.3.1. Contexto Geológico Regional

O Estado do Rio de Janeiro, situado na Região Sudeste do país, está geotectonicamente contido na Província Mantiqueira, uma das províncias estruturais definidas por ALMEIDA *et al.* (1981). Essa entidade cobre uma extensa área (cerca de 700.000km<sup>2</sup>) e é a mais complexa província estrutural afetada pelo Ciclo Orogênico Neoproterozóico/Cambriano (Brasiliano) na América do Sul. A província estende-se do paralelo 33°S, no Uruguai, até o sul da Bahia, no paralelo 15°S, por cerca de 3.000km de extensão e com largura média de 200 km. Está disposta paralelamente à costa brasileira, junto às margens orientais dos crátons Rio de La Plata e São Francisco.

A Província Mantiqueira representa uma entidade geotectônica com franca orientação nordeste instalada a oeste do Cráton do São Francisco ao final do Neoproterozóico e início do Paleozóico, constituindo, juntamente com a Faixa Brasília, a Cunha de Guaxupé e os metassedimentos da denominada Faixa Alto Rio Grande, o arcabouço geotectônico do Sudeste Brasileiro.

Por sua posição geográfica privilegiada, flanqueando o continente sul-americano e voltada para o sudeste do continente africano, a província constitui-se em elemento-chave para o entendimento da colagem neoproterozóica dos orógenos brasilianos/pan-africanos que se seguiu à convergência dos até então dispersos fragmentos do Supercontinente Rodínia, durante a amalgamação do Supercontinente Gondwana Ocidental. A evolução tectônica dos terrenos Pré-cambrianos aflorantes no Estado do Rio de Janeiro tem sido há décadas objeto de numerosos estudos e intensas discussões no meio acadêmico. Apesar do grande número de trabalhos científicos versando sobre diversas áreas do conhecimento geológico, estes dados são ainda fragmentários, restando grandes lacunas a serem preenchidas, notadamente as geocronológicas. Isto também se reflete nos modelos de evolução tectônica propostos por diferentes autores. Até meados da década de 80 estes modelos eram de cunho genérico, fundamentalmente restritos a agrupamentos regionais de grandes unidades litoestratigráficas e essencialmente fixistas. Este período confunde-se, em linhas gerais, com o período de definição dos grandes compartimentos tectônicos regionais do Sudeste Brasileiro, como faixas móveis e crátons, e de propostas de estruturação e subdivisão geocronológica para estes grandes compartimentos (SILVA & CUNHA, 2001). A partir da segunda metade dos anos 80, com o incremento de trabalhos de mapeamento sistemático e a utilização de novos conceitos e métodos, diversos autores propuseram diferentes modelos, já com uma visão atualística baseada na tectônica de placas, para explicar a gênese e as relações entre as várias unidades aflorantes neste estado, a

deformação e o metamorfismo impressos nas unidades regionais, e o magmatismo granítico abundante em todo o estado. Diversos trabalhos de cunho regional postulam que as características tectono-termais da província são resultantes de processos de subducção, seguido de uma ou mais colisões no Neoproterozóico, quando da aglutinação ou colagem do Gondwana Ocidental (MACHADO *et al.*, 1996).

#### **4.1.3.2. Neoproterozóico/Cambriano**

O Estado do Rio de Janeiro é caracterizado por abundante granitogênese neoproterozóica, associada à deformação e metamorfismo da seqüência metassedimentar do Complexo Paraíba do Sul, resultantes do Ciclo Orogênico Brasileiro. Magmatismo peraluminoso, sincolisional, do tipo S, representado por granitóides intensamente deformados e estirados segundo uma tendência NE-SW, está relacionado predominantemente ao Batólito/Arco Rio de Janeiro, ocorrendo também no domínio Juiz de Fora. São associados aos metassedimentos do Complexo Paraíba do Sul, dos quais derivam por processos de fusão parcial (SILVA & CUNHA, 2001).

Várias propostas de agrupamento das rochas granitóides envolvem tanto características estruturais quanto geoquímicas e geocronológicas. Neste contexto vale destacar o trabalho de MACHADO (1997), que consiste na síntese mais completa da granitogênese do estado.

Diversas tentativas de subdivisão do intervalo têm sido divulgadas, levando em conta as características e idades dos granitóides, nos estágios pré-, sin- e pós-colisional e pós-tectônico. Os intervalos propostos foram de 570 a 590Ma para o estágio pré-colisional, 530 a 560Ma para o sincolisional, e 450/480 a 520Ma para o pós-colisional (FIGUEIREDO & CAMPOS NETO, 1993; WIEDEMANN, 1993).

O magmatismo tem sido atribuído à implantação de dois arcos magmáticos. Um mais jovem, denominado de Arco magmático Rio Doce, gerado entre 590 e 560Ma, e outro mais antigo, denominado de Arco magmático Rio Paraíba do Sul, implantado no intervalo de 580/590 a 620/650Ma (WIEDEMANN, 1993 e MACHADO, 1997).

##### **4.1.3.2.1. Suíte Natividade (N<sup>2</sup>n)**

A unidade tem ocorrência restrita ao extremo noroeste do estado na forma de diversos corpos alongados segundo a direção NE, o maior com cerca de 28km de extensão e 24km de largura. Os plútons estão alojados nos metassedimentos do Complexo Paraíba do Sul. Parte da unidade foi anteriormente mapeada como metassedimentos (BARBOSA *et al.*, 1981). A Suíte Natividade engloba fácies metaluminosas à hornblenda e fácies granadíferas, peraluminosas, do tipo-S.

#### **4.1.3.2.2. Suíte Varre-Sai (N?3 v)**

Esta suíte é representada por quatro corpos situados na porção NE do estado, aflorantes nas proximidades das localidades de Varre-Sai, Porciúncula e norte de Miracema, estendendo-se para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. São encaixados no Complexo Paraíba do Sul, onde ocorrem na forma de corpos alongados com até 16km de comprimento. A suíte foi originariamente designada como Granitóide Varre-Sai por BARBOSA *et al.*, (1981).

Constitui-se em maciços alongados, foliados, apresentando deformação nas bordas, enquanto nas porções centrais são observadas estruturas de fluxo ígneo. Correspondem a granitóide tardi-colisionais ligados a movimentos transpressivos.

São biotita-hornblenda granitos, foliados, eventualmente bandados, porfiríticos (porfiroclásticos), apresentando domínios isotrópicos em zonas de baixo strain.

#### **4.1.3.3. Meso/Neoproterozóico**

##### **4.1.3.3.1. Complexo Paraíba do Sul**

Apesar das definições originais, datadas ainda da primeira metade do século 20, e conferindo-lhe sempre um caráter essencialmente supracrustal, o Complexo Paraíba do Sul (CPS) representa uma unidade estratigráfica que sofreu grandes modificações nas caracterizações estratigráficas, petrográficas e tectônicas (SILVA & CUNHA, 2001).

MORAES REGO (1933) designou de “gneiss do Parahyba” a um conjunto de rochas contendo camadas lenticulares de calcários magnesianos. ROSIER (1952) utilizou o termo “Complexo do Paraíba” para definir o gnaiss com plagioclásio, observado no vale do rio Paraíba do Sul. Em 1965, Rosier ampliou a assembléia litológica com a inclusão de gnaisses diversos e migmatitos, charnockitos, mármores, tactitos e “metaquartzitos”. LIMA *et al.* (1981) empregaram pela primeira vez o termo Complexo Paraíba do Sul para designar o conjunto de gnaisses granadíferos e kinzigitos da região costeira, do vale do rio Doce ao Rio de Janeiro.

Na literatura mais moderna, há uma tendência à hierarquização da unidade como Grupo e à subdivisão da unidade aqui cartografada como Complexo Paraíba do Sul em um Grupo Paraíba do Sul e um Grupo Itálva (HEILBRON *et al.*, 2000). Embora em regiões mais restritas seja factível e adequada a sua hierarquização como grupo, no presente trabalho, executado em escala muito regional, não foi ainda possível a depuração total do complexo para a sua correta representação como grupo (SILVA & CUNHA, 2001).

Após a depuração conceitual e cartográfica foram definidas duas faixas principais de ocorrência do complexo (SILVA & CUNHA, 2001). Na primeira, exposta nas regiões

ocidental e norte do estado, com grande continuidade física, estendendo-se desde a divisa com São Paulo até o Espírito Santo, foram distinguidas três unidades informais: São Fidélis, Italva e Itaperuna. A outra faixa, em trabalhos anteriores designada como Lumiar - Rio Bonito, com prolongamentos no sentido de Campos, está situada na região da Serra do Mar e contém litótipos aqui agrupados na Unidade São Fidélis.

Várias lentes menos expressivas, em especial da unidade Itaperuna, encontram-se dispersas em meio a rochas ortognáissicas, charnockíticas e granitóides.

Segundo SILVA & CUNHA (2001) o Complexo Paraíba do Sul é composto por três unidades estratigráficas informais, estabelecidas com base nos respectivos conteúdos líticos, a saber:

#### **A) Unidade São Fidélis – MNps**

Segundo SILVA & CUNHA (2001), representa a maior parte da área de ocorrência do Complexo Paraíba do Sul, sendo constituída essencialmente por metassedimentos detríticos, pelito-grauvaqueanos: granada-biotita-(sillimanita) gnaisses quartzo-feldspáticos (metagrauvas), com ocorrência generalizada de bolsões e veios de leucossomas graníticos derivados de fusão parcial in situ e injeções. Variedades portadoras de cordierita e sillimanita (kinzigitos), comumente apresentando horizontes de xistos grafitosos, exibem contatos transicionais com os granada-biotita gnaisses. De ocorrência mais restrita, por vezes são observadas intercalações de quartzitos (qz), rochas metacarbonáticas e calcissilicáticas (ca), além de corpos de anfibolitos e concentrações manganíferas.

Os paragneisses quartzo-feldspáticos são compostos predominantemente de quartzo, feldspato (plagioclásio) e biotita, com percentagens variadas de granada, e são os de distribuição mais ampla no interior do CPS. Muitas dessas exposições correspondem aos chamados “gnaisses bandados” ou “gnaisses fitados” da região do vale do rio Paraíba do Sul. Costumam apresentar um típico aspecto migmatítico. Devido ao notável paralelismo entre as bandas de paleossoma (biotita-plagioclásio gnaisse) e neossoma (quartzo-feldspático), sucessivamente alternadas, qualquer que seja a origem ou forma particular do último, essas estruturas migmatíticas adquirem uma óbvia conotação sintectônica. As estruturas sedimentares comumente preservadas correspondem a bandamentos primários e refletem variações nas proporções relativas de areia, argila e carbonatos. No caso dos ritmos verificados nas alternâncias de gnaisses quartzosos e aluminosos, junto com estruturas do tipo granodecrescências ascendentes, é possível interpretá-los como fluxos gravitacionais ou, mais especificamente, de correntes de turbidez relativamente densas (SILVA & CUNHA, 2001).

Ao longo da zona de cisalhamento do rio Paraíba do Sul predominam milonitos com estrutura de fluxo bem definida, e os gnaisses são comumente laminados ou bandados. Os porfiroclastos são abundantes, milimétricos, com formas sigmoidais, estirados ou

arredondados, e constituídos de feldspato translúcido ou branco, na maioria das vezes plagioclásio. O quartzo também aparece estirado, muitas vezes formando níveis descontínuos (SILVA & CUNHA, 2001).

Os gnaisses aluminosos granadíferos e kinzigitos têm uma área de ocorrência bastante expressiva ao longo da faixa que se estende próximo e paralelamente ao litoral, conforme foi assinalado por SILVA & FERRARI (1976). Em alguns segmentos, a monótona predominância de gnaisses aluminosos é quebrada apenas pela presença de rochas calcissilicáticas, e o registro de quartzitos e rochas anfibolíticas é ainda mais esparso. Por vezes são portadores de grafita (kinzigíticos) e derivados de sedimentos pelíticos/folhelhos e grauvacas. São rochas de cor cinza, granulação fina a média, com uma textura blastomilonítica a milonítica ao longo das zonas de cisalhamento. Os gnaisses estão manchados por porfiroclastos de feldspato e por abundantes cristais de granada. Grafita e sillimanita fibrosa ou prismática fazem parte da assembléia mineral, embora ocorram como constituintes menores. O quartzo é lenticular e a biotita é de uma variedade rica em titânio. Quando presente, o ortoclásio é mais abundante que a microclina, o plagioclásio tem a composição de oligoclásio e a magnetita é o principal mineral acessório (SILVA & CUNHA, 2001).

As rochas calcissilicáticas constituem numerosas e pequenas lentes e boudins, ocorrem intercaladas e/ou associadas aos corpos de mármore, anfibólio gnaisses e biotita gnaisses; os protólitos devem corresponder a sedimentos carbonáticos contendo abundantes impurezas siliciclásticas. GROSSI SAD & DUTRA (1988) sugeriram composições originais intermediárias entre rochas pelíticas/argilosas/carbonáticas e grauvacas. São de coloração esverdeada a esbranquiçada, de granulação fina, aspecto sacaroidal e estrutura maciça ou bem foliada a bandada. A textura é poligonal, com junções tríplexes. A mineralogia básica compreende quartzo, plagioclásio (variável de oligoclásio a bytownita), carbonato, diopsídio, esfeno e apatita. Algumas variedades podem conter microclina, anfibólio (hornblenda e actinolita), minerais opacos, epidoto, escapolita, brucita, biotita e clorita, além de granada, zircão e pirita.

De acordo com SILVA & CUNHA (2001), os quartzitos constituem corpos descontínuos, intercalados nos gnaisses devido ao dobramento regional. São rochas de granulação fina a grossa, coloração cinza-esbranquiçada a amarelada, fraturadas e de brilho vítreo. Por vezes exibem passagens gradacionais para termos ricos em micas (quartzos xistos) ou em feldspatos (гнаisses quartzosos), exemplificando variações laterais e verticais de fácies. Representam os metassedimentos da série com excesso de sílica e contêm teores variáveis de micas (biotita, muscovita e/ou sericita), feldspatos (microclina e plagioclásio, freqüentemente caulinizados), sillimanita (fibrosa ou prismática), granada e magnetita, além de zircão, rutilo e apatita como minerais acessórios. Os grãos de quartzo

apresentam contornos angulosos, xenoblásticos e estão imbricados, formando um mosaico de contatos nítidos.

Anfibolitos, de acordo com SILVA & FERRARI (1976), são rochas freqüentemente encontradas no interior do CPS, apresentando o desenvolvimento nítido de uma estrutura planar (xistosidade). Ocorrem intercalados nos gnaisses, mormente concordantes com a estrutura bandada dos mesmos, bem como nos corpos lenticulares de rochas carbonáticas. As espessuras dos anfibolitos são variáveis desde alguns poucos centímetros até várias dezenas de metros, mas, comumente, são decimétricos. São considerados como resultantes do metamorfismo de rochas máficas. Apresentam uma cor cinza-médio a escuro, com tonalidade esverdeada e uma granulação fina a média. Ao microscópio revelam uma textura granoblástica a nematoblástica e associações mineralógicas comumente representadas por anfibólio (hornblenda), plagioclásio (andesina, por vezes em cristais relictos hipidiomórficos e zonados), biotita e algum quartzo. Os constituintes acessórios são a apatita, titanita e zirconita, e entre os produtos de alteração ocorrem carbonato, epidoto, sericita e clorita.

#### **B) Unidade Itaperuna – MNpit**

Esta unidade foi cartografada, inicialmente, por BARBOSA *et al.* (1981). Posteriormente, GROSSI SAD & BARBOSA (1985) consideraram a unidade Itaperuna de idade intermediária entre o Complexo Juiz de Fora e o Complexo Paraíba do Sul, mais novo.

Segundo SILVA & CUNHA (2001), uma nova conceituação é apresentada, incorporando à Unidade Itaperuna partes das Unidades Raposo e Comendador Venâncio, anteriormente atribuídas ao Complexo Juiz de Fora por BARBOSA *et al.* (1981). É uma das unidades mais controvertidas e alguns autores consideravam-na como uma unidade do Complexo Juiz de Fora, uma vez que é constituída de granulitos associados a enderbitos e charnockitos. Entretanto, esses granulitos estão amplamente associados a rochas calcissilicáticas, quartzitos e até mármore. Em alguns segmentos, as rochas calcissilicáticas chegam a predominar. Corpos de mármore se associam a granulitos, rochas calcissilicáticas e charnockitos/enderbitos.

SILVA & FERRARI (1997) descreveram em detalhe as rochas calcissilicáticas e os piroxênio-granada gnaisses, comprovando sua origem a partir de rochas sedimentares. Muitas dessas rochas foram granulitizadas e milonitizadas, e, outras, foram granulitizadas, submetidas a processos de fusão a seco e depois milonitizadas.

Segundo SILVA & CUNHA (2001), a Unidade Itaperuna é constituída essencialmente de paragrulitos, rochas calcissilicáticas (às vezes predominantes), fusões quartzo-feldspáticas e, mais raramente, quartzitos e mármore. Os paragrulitos são rochas de granulação fina a média, textura granular, coloração cinza-esverdeada. Muitas vezes, quando alterados, mostram uma textura milonítica a flaser que os distingue das rochas

calcissilicáticas, quase sempre maciças. São constituídos, em geral, de plagioclásio, quartzo, hiperstênio, diopsídio, biotita e hornblenda. Acessoriamente apresentam opacos, apatita e zirconita, e carbonato e clorita como produtos de alteração. Predominam o quartzo e o plagioclásio.

Associadas ao conjunto de paragneisses ocorrem rochas charnockíticas/enderbíticas de granulação média a grossa, textura granular, coloração cinza-esverdeada e com plagioclásio andesínico, quartzo xenoblástico (às vezes de grandes dimensões), ortoclásio de grã fina e diopsídio em grandes cristais, por vezes alterados para anfibólio e contendo inúmeras inclusões de opacos. Quando passíveis de serem separados do conjunto de rochas da Unidade Itaperuna, alguns charnockitos/enderbitos foram individualizados na carta geológica como N2b e considerados como uma fácies de granulação mais fina da Suíte Bela Joana.

Produtos da milonitização e diaftorese dessas rochas charnockíticas/enderbíticas e de granulitos da Unidade Itaperuna (MNpit) transformados em rochas de composições granítica a tonalítica com granada, foram tentativamente individualizados como Granitóides da Suíte Natividade.

A evolução metamórfico-estrutural do Complexo Paraíba do Sul, nesta região, indica que durante a orogênese brasileira um regime de cisalhamento tangencial associado à colisão continental impôs uma estruturação regional de direção NE-SW. As foliações geradas pela deformação tangencial exibem dobramentos superpostos, abertos a fechados, de amplitudes métricas a decaquilométricas e com eixos de direção NE-SW, a exemplo das verificadas na região de Italva (SILVA & CUNHA, 2001).

Segundo SILVA & CUNHA (2001), o arcabouço estrutural definido durante o Orógeno Brasileiro foi completado com deformações impressas durante um regime compressivo transcorrente. A mais importante zona de cisalhamento de alto ângulo, com até 10km de largura de rochas miloníticas, e contínua por mais de 300km segundo a direção NE-SW, está situada mormente no vale do rio Paraíba do Sul e atravessa todo o estado – o corredor Paraíba do Sul . A partir dessa zona principal são observadas inúmeras zonas de cisalhamento secundárias e assintóticas.

Desta forma, os critérios atuais de cartografia geológica depararam-se novamente, e conforme já era previamente conhecido, com um arranjo complexo da estratigrafia interna do CPS. As tentativas de realizar correlações e empilhamentos estratigráficos, bem como de estabelecer topo e base das seqüências, não mais encontram respaldo fatural devido às freqüentes imbricações tectônicas, principalmente as tangenciais, agravadas pela superposição de dobramentos e vigorosos movimentos transcorrentes. A isso somam-se, ainda, as profundas transformações associadas às deformações em domínios dúcteis e ao

metamorfismo regional de grau forte, que conduziu à volumosa geração de paragranelitos sintectônicos (SILVA & CUNHA, 2001).

#### 4.1.3.4. Legenda da Carta Geológica

A legenda da carta geológica do estado do Rio de Janeiro, em escala 1:500.000, (Figura 09), apresenta as seguintes informações:

**A) Cenozóico**  $\approx$  Quaternário  $\approx$  Qc (1,6 milhões de ano)

##### **Depósitos Colúvio- Aluvionares**

Cascalhos, areias e lamias resultantes da ação de processos de fluxos gravitacionais e aluviais de transporte de material de alteração das vertentes.

**B) Proterozóico**  $\approx$  NeoProterozóico (Brasiliano III)  $\approx$  Granitóides Tardi-Colisionais (transcorrentes)  $\approx$  N?3v (560 a 540 ma).

**Suíte Varre- Sai** - Biotita-hornblenda granito foliado do tipo-I com textura milonítica (porfiroclástica).

**Plútons correlatos** - Granito Valão do Bambuí

**C) Proterozóico**  $\approx$  NeoProterozóico (Brasiliano III)  $\approx$  Granitóides Tardi-Colisionais (transcorrentes)  $\approx$  N?2n e N?2b (560 a 600 ma).

**N?2n - Suíte Natividade** - Hornblenda-biotita granito e granodiorito, foliado, porfirítico, associado a domínios peraluminosos de leucogranito tipo-S.

**N?2b - Suíte Bela Joana** - Granito tipo C: granada-hornblenda-clinopiroxênio-ortopiroxênio charnockito de granulação grossa, textura magmática equigranular a porfírica preservada, isotropo a foliado, associado a enderbita e norito.

**D) Proterozóico**  $\approx$  Meso/Neoproterozóico  $\approx$  MNps e MNpit (650 a 1.600 ma).

##### **Complexo Paraíba do Sul**

##### **MNps - Unidade São Fidélis**

Granada-biotita-sillimanita gnaiss quartzo-feldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios anatéticos in situ ou injetados de composição granítica. Intercalações de gnaiss calcissilicático e quartzito freqüentes. Variedades com cordierita e sillimanita (kinzigito) com contatos transicionais com o granada biotita gnaiss. Horizontes de xistos grafitosos são comuns. Também ocorrem rocha calcissilicática, metacarbonática (ca) e quartzito (qz) . Em raros domínios com baixas taxa de strain estruturas turbidíticas são preservadas.

##### **MNpit – Unidade Itaperuna (Paragranelitos)**

Gnaiss quartzo-feldspático aluminoso a granada-biotita-sillimanita com e sem ortopiroxênio eventualmente com intercalações de gnaiss calcissilicático. Freqüente fusão parcial in situ com neossoma a granada e ortopiroxênio (charnockitóide anatético).

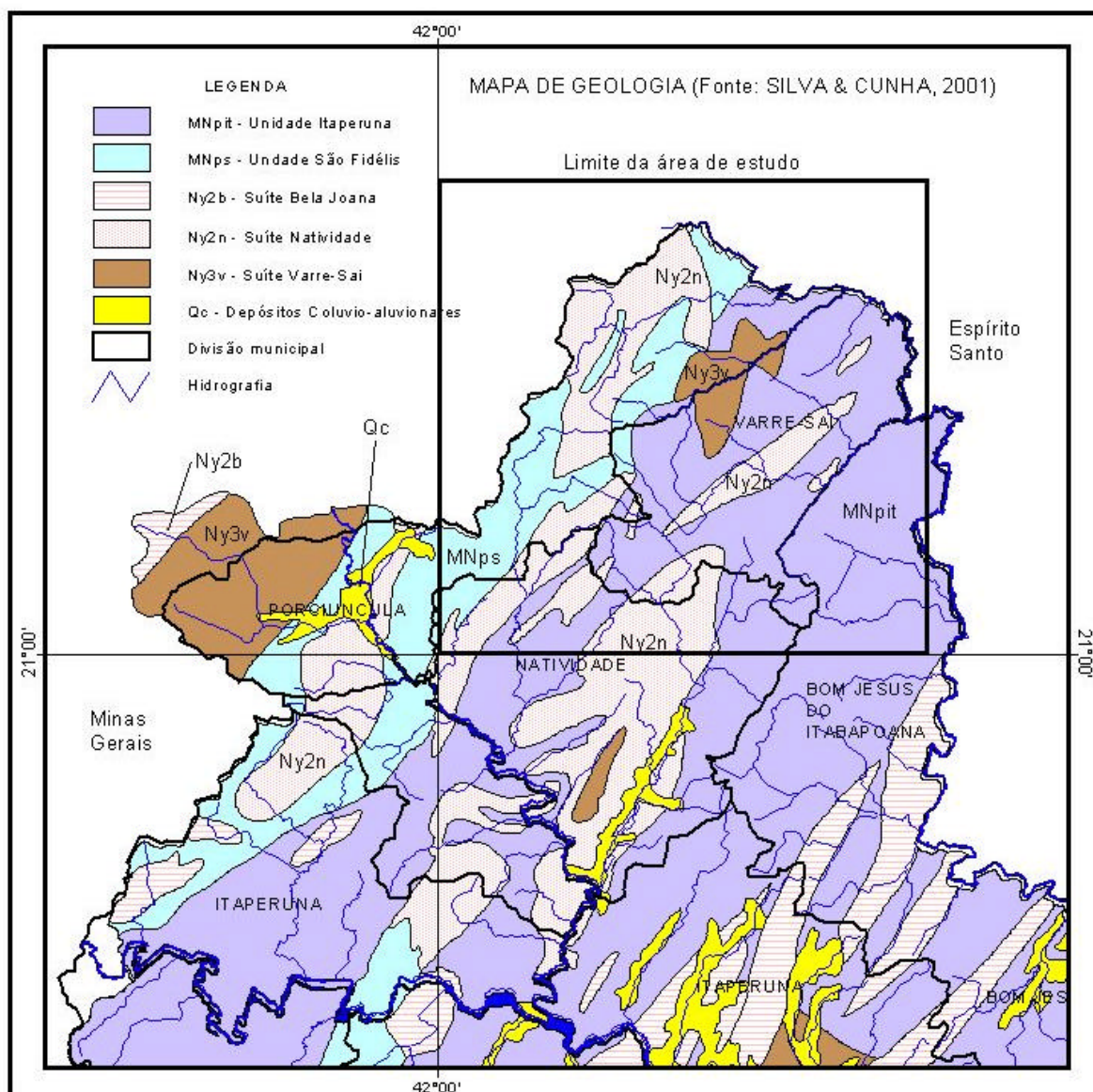


Figura 09. Parte da Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, com a delimitação da área de estudo (SILVA & CUNHA, 2001).

#### 4.1.4. Geomorfologia

Enquanto algumas regiões do estado foram exaustivamente estudadas, tais como o Vale do Paraíba e o Maciço do Itatiaia, outras regiões, incluindo o noroeste fluminense, ainda apresentam carência de informações. Assim sendo, há poucos mapeamentos que abordem, de forma sistemática, a geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro, mormente a região Noroeste. Esses estudos resumem-se aos desenvolvidos pelo IBGE (DOMINGUES *et al.*, 1976) e pelo RADAMBRASIL (1983) em escala de apresentação 1:1.000.000 e DANTAS (2000) na escala 1:500.000.

Segundo DANTAS (2000), a notável diversificação do cenário geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro deve ser compreendida através de uma singular interação entre aspectos tectônicos e climáticos, que delinearão sua atual morfologia.

O registro de imponentes escarpamentos com desnivelamentos, por vezes superiores a 2.000m, alternados com depressões e bacias sedimentares tafrogênicas, reflete uma marcante influência da tectônica na compartimentação do relevo do estado. Essa tectônica exerceu o rifteamento continental do bordo sudeste brasileiro, com maior intensidade entre o Cretáceo e o Terciário Inferior (ALMEIDA, 1976), mas com reflexos em uma neotectônica recente, registrados até o Quaternário (RICCOMINI, 1989).

Pelo menos duas superfícies de erosão podem ser observadas no estado em escala regional. A primeira, representada por importantes zonas planálticas, tais como todo o reverso da serra dos Órgãos e a Serra da Bocaina, estaria associada à Superfície Sul-Americana (KING, 1956); Pd3 (BIGARELLA *et al.*, 1965) ou Superfície Cimeira (AB'SABER, 1972), de idade eocênica a paleocênica. A segunda, representada pelas depressões interplanálticas e pelas superfícies aplainadas junto às baixadas, estariam associadas a Superfície Velhas (KING, 1956); Pd1 (BIGARELLA *et al.*, 1965) ou Superfície Interplanáltica (AB'SABER, 1972), de idade pleistocênica inferior a pliocênica.

Segundo DANTAS (2000), o Estado do Rio de Janeiro pode ser compartimentado em duas unidades morfoestruturais: o Cinturão Orogênico do Atlântico e as Bacias Sedimentares Cenozóicas.

O Cinturão Orogênico do Atlântico pode-se subdividir nas seguintes unidades morfoesculturais: Maciços Costeiros e Interiores; Maciços Alcalinos Intrusivos; Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas; Escarpas Serranas; Planaltos Residuais; Depressões Interplanálticas e Depressões Interplanálticas com Alinhamentos Serranos Escalonados .

Essa unidade morfoestrutural compreende um conjunto diversificado de rochas metamórficas e ígneas de idade pré-cambriana a eopaleozóica. Essas rochas, incluídas na Faixa de Dobramentos Ribeira, foram submetidas a diferentes ciclos orogênicos, culminando, no final do Proterozóico, com o Evento Brasileiro (DANTAS, 2000).

Após um longo período de estabilidade tectônica no Paleozóico e início do Mesozóico, esses terrenos sofreram uma tectônica extensional associada à reativação Wealdeniana a partir do Jurássico (ALMEIDA, 1967). Essa tectônica extensional prolongou-se pelo Terciário, gerando uma série de falhamentos normais, que produziram os maciços costeiros e as escarpas serranas, tais como as serras do Mar e da Mantiqueira (ALMEIDA, 1976).

O soerguimento de blocos decorrentes dessa tectônica sustentou algumas zonas planálticas, remanescentes de antigas superfícies de aplainamento não-dissecadas no Cenozóico Superior (KING, 1956), como os planaltos da Bocaina e de Varre-Sai, e criando

as depressões interplanálticas, tal como o médio vale do rio Paraíba do Sul. Frequentemente, essas áreas deprimidas apresentam uma série de alinhamentos serranos que se comportam como degraus escalonados por condicionantes litológicos e estruturais.

Entre o Cretáceo Superior e o Terciário Inferior, ocorreu um evento de magmatismo alcalino, também associado à abertura do Atlântico. Esse evento acarretou a geração de maciços intrusivos com estruturas dômicas, os quais ocorrem ao longo do Estado do Rio de Janeiro.

As rochas sedimentares estão armazenadas em bacias tafrogênicas continentais, resultantes da tectônica extensional gerada no início do Cenozóico (MELO *et al.*, 1985). Nesse contexto foram formadas as bacias de Itaboraí (no Paleoceno); Resende; Volta Redonda e Macacu. Os tabuleiros do Grupo Barreiras, presentes no norte do estado, também foram tentativamente correlacionados ao Plioceno-Pleistoceno, com base em dados obtidos em depósitos correlatos no Nordeste brasileiro (BIGARELLA, 1975). Considera-se então que o pacote sedimentar do Grupo Barreiras seria mais recente que os sedimentos das bacias continentais.

Os sedimentos inconsolidados das baixadas e planícies costeiras foram gerados ao longo dos ciclos transgressivos e regressivos da linha de costa durante o Quaternário. A partir do último máximo transgressivo, a atual linha de costa registra um “afogamento” generalizado do relevo, observado nas atuais rias, baías e lagunas e nas colinas e morros isolados nos recôncavos das baixadas.

Por fim, todas essas unidades morfoesculturais, delineadas a partir da abertura do Atlântico e consolidadas ao longo do Terciário, continuaram a ser modeladas por eventos de erosão e sedimentação não-uniformes, no tempo e no espaço, ao longo do Cenozóico Superior. Esse conjunto de eventos resultou na atual configuração morfológica do estado (DANTAS, 2000).

Segundo RADAMBRASIL (1983), os municípios de Porciúncula, Natividade e Varre-sai, estão inclusos na Região das Escarpas e Reversos da Serra do mar e na Unidade Depressão do Médio Paraíba do Sul.

A Região das escarpas e Reversos da Serra do mar se dispõe ao longo da costa, com uma orientação geral SO-NE, e tangencia a linha da costa intercalada pelas planícies litorâneas. Apresenta o seu quadro geomorfológico relacionados aos efeitos de um tectonismo regional e de sucessivas fases erosionais. Trata-se de uma área resultante de dobramentos, reativações de falhas e remobilização de blocos. A topografia reflete esses condicionamentos geológicos predominantes e, em toda a sua extensão são registrados vales alongados, segmentos de drenagem retilíneos, linhas de cristas e de cumeadas paralelas, relevo com grandes desníveis altimétricos e escarpas íngremes (RADAMBRASIL, 1983).

A influência climática é observada no nivelamento e homogeneização das formas em algumas áreas e na alteração profunda exercida nas rochas em outros setores.

Na Unidade Depressão do Médio Paraíba do Sul registram-se altimetrias de 500 a 600 m, contrastando com as dos planaltos circundantes, que podem ultrapassar 2.500 m. Apresenta formas de relevo condicionadas a um controle geológico (depressão tectônica) afetadas por sucessivas fases erosivas e deposicionais. As formas de relevo desenvolveram-se em litologias cristalinas, compostas principalmente por gnaisses e rochas graníticas diversas. As formas de relevo caracterizam-se, na sua maior parte, por colinas convexas, com aprofundamentos de aproximadamente 40 a 127 metros e predominância de densidades de drenagem do tipo fina. O conjunto topográfico e morfológico desta Unidade forma paisagem característica de “mar de morros” (RADAMBRASIL, 1983).

#### **4.1.5. Litologia**

Segundo informações disponibilizadas pela CPRM-RJ, não publicadas, a litologia da área de estudo é composta por gnaisses, granitos e granulitos, como pode ser observado na Figura 10. O mapa original está na escala de 1:400.000.

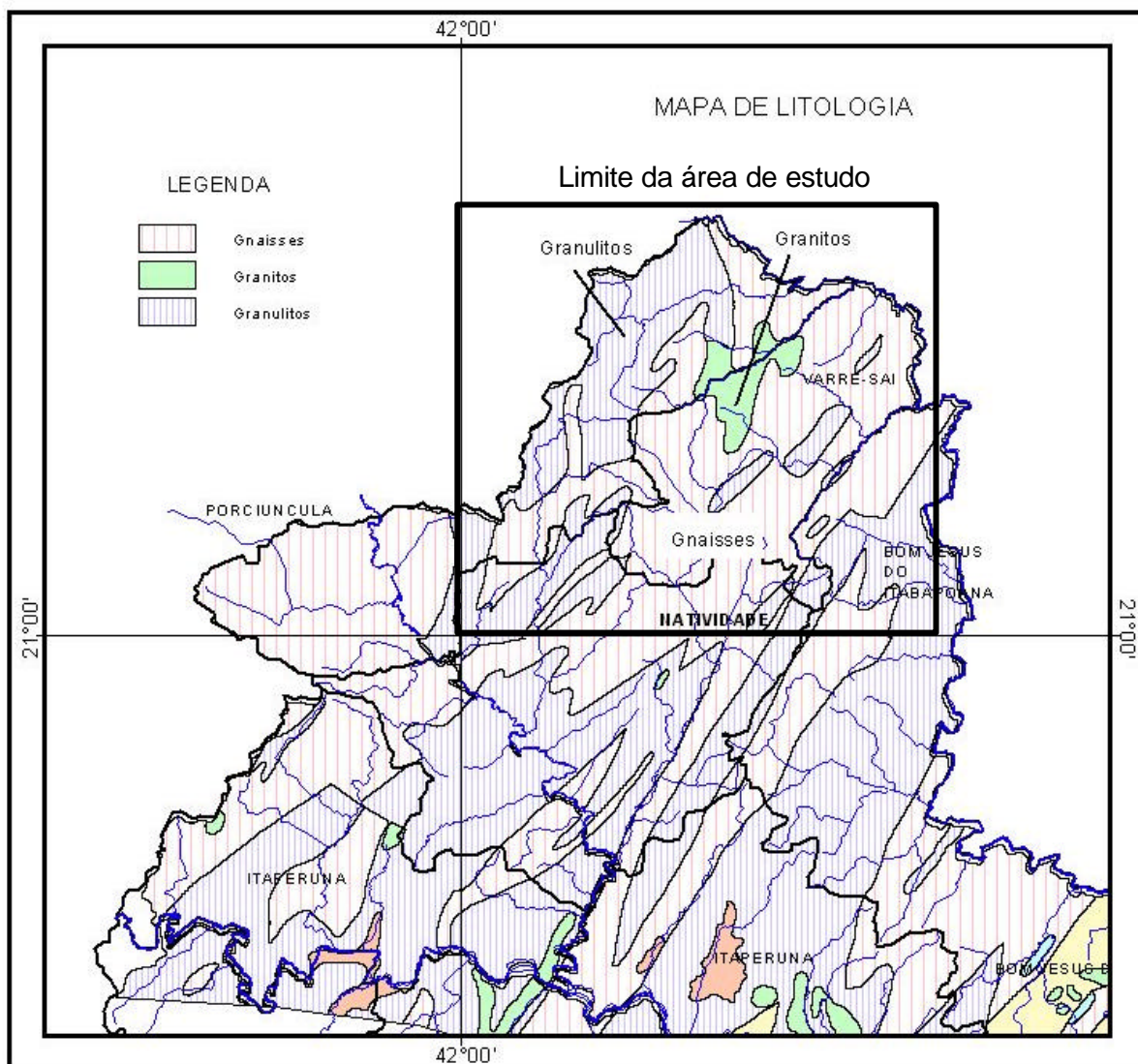


Figura 10. Mapa de Litologia de parte do estado do Rio de Janeiro (Fonte CPRM, não publicado), com o limite da área de estudo.

#### 4.1.6. Solos

Segundo informações recebidas da EMBRAPA SOLOS, em trabalho ainda não publicado, sobre os solos do Estado do Rio de Janeiro, mais especificamente sobre a região Noroeste fluminense e a folha topográfica Varre-Sai, a área é composta por Argissolos, Latossolos, Gleissolos, Cambissolos e Afloramentos de rocha. A Figura 11 apresenta o mapa de solos relativo à folha Varre-Sai; contudo, em razão de se tratar de um trabalho em elaboração, a legenda final ainda não está fechada. Apesar disto, este mapa servirá para o propósito desta tese, já que seu delineamento está feito e pode ser utilizado como base para a distinção das paisagens em estudo. A escala original deste trabalho é de 1:50.000.

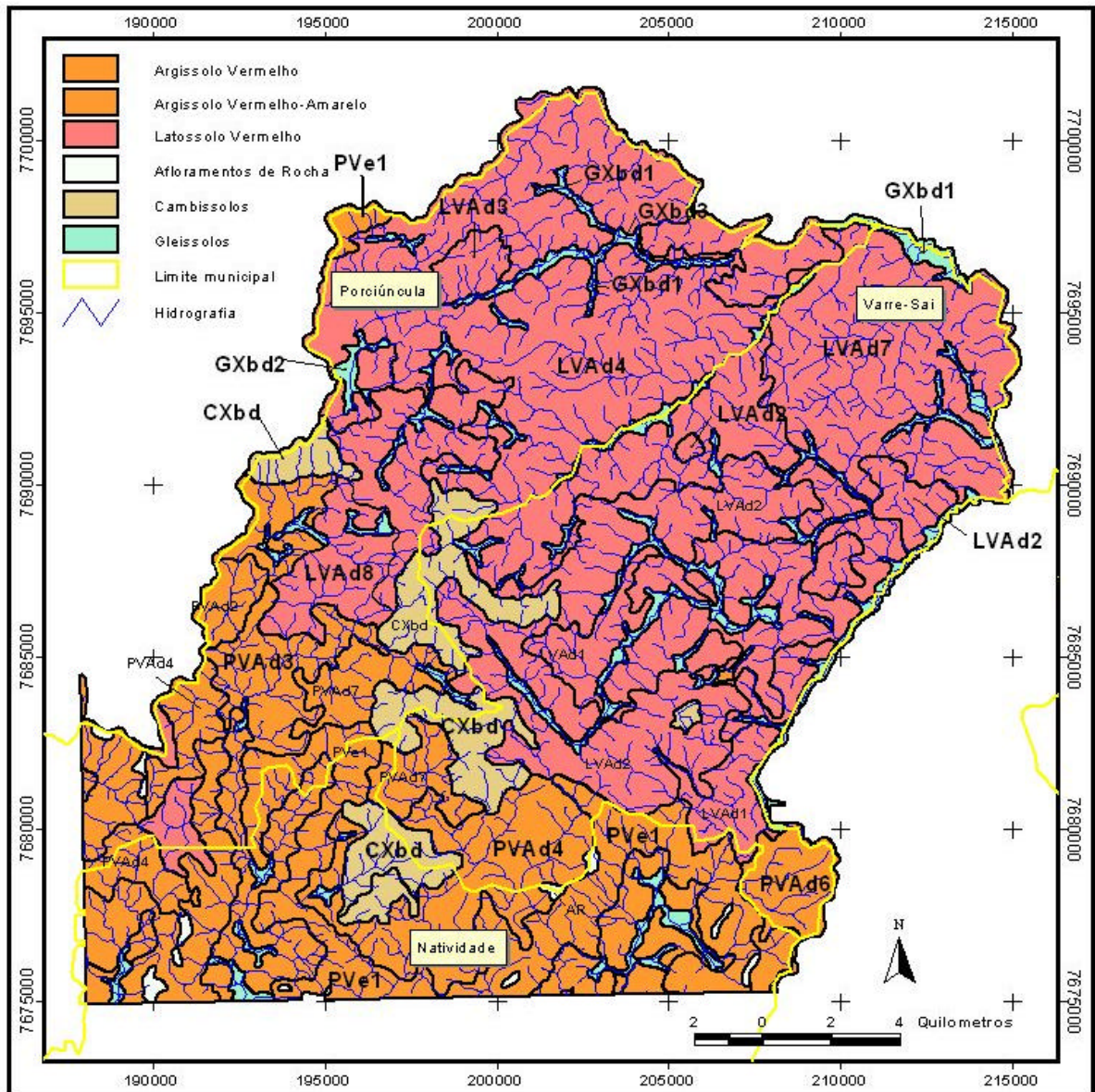


Figura 11. Mapa de solos da folha Varre-Sai com os símbolos de algumas unidades de mapa.

A legenda dos solos que compõem a Folha Varre-sai contém associações de solos conforme descrito no Quadro 03.

Quadro 03. Simbologia e descrição das unidades de mapeamento que compõem a Folha topográfica Varre-Sai.

Símbolo	Descrição
AR	Afloramento de rochas
CXbd	Cambissolo Háptico Tb Distrófico Típico textura argilosa ou média + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico e Câmbico textura argilosa todos A moderado fase floresta tropical subcaducifolia relevo montanhoso e forte ondulado.
GXbd1	Gleissolo Háptico Tb Distrófico Típico A moderado + Gleissolo Melânico Distrófico Típico A húmico ou proeminente ambos textura média ou argilosa fase floresta perenifolia de várzea e campo hidrófilo e higrófilo de várzea relevo plano.
GXbd2	Gleissolo Háptico Tb Distrófico Típico fase Campo higrófilo de várzea relevo plano + Argissolo Amarelo Distrófico Típico fase floresta subperenifolia de várzea relevo plano e suave ondulado ambos A moderado textura argilosa
GXbd3	Gleissolo Háptico Tb Distrófico Típico fase campo higrófilo de várzea + Cambissolo Háptico Tb Distrófico Gleico fase floresta subperenifolia de várzea ambos A moderado textura argilosa fase relevo plano
GXbe	Gleissolo Háptico Tb Eutrófico Típico não solódico e solódico A moderado textura argilosa ou média fase Floresta Subperenifolia de várzea relevo plano + Planossolo Háptico Eutrófico Solódico A moderado textura arenosa/argilosa ou arenosa/média fase floresta tropical subcaducifolia relevo plano e suave ondulado
LVAAd1	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico A moderado textura argilosa ou muito argilosa fase floresta tropical subperenifolia relevo forte ondulado e ondulado
LVAAd2	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico textura muito argilosa ou argilosa + Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico Tb textura média/argilosa ambos A moderado fase floresta tropical subcaducifolia relevo ondulado e forte ondulado.
LVAAd3	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico textura argilosa ou muito argilosa + Cambissolo Háptico Tb Distrófico Típico textura argilosa ou média ambos A moderado fase floresta tropical subperenifolia relevo forte ondulado e montanhoso
LVAAd4	Latossolo Amarelo Distrófico Típico A moderado e proeminente + Latossolo Amarelo Distrófico Húmico ambos textura argilosa ou muito argilosa fase floresta tropical subperenifolia relevo forte ondulado e ondulado
LVAAd5	Latossolo Amarelo Distrófico Típico A moderado ou proeminente textura argilosa ou muito argilosa fase floresta tropical subperenifolia relevo ondulado e suave ondulado
LVAAd6	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico textura argilosa ou muito argilosa fase relevo forte ondulado + Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Latossólico textura argilosa/muito argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso ambos A moderado fase floresta tropical subcaducifolia
LVAAd7	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico textura argilosa ou muito argilosa + Latossolo Vermelho Distrófico Típico textura argilosa ou muito argilosa + Cambissolo Háptico Tb Distrófico Típico textura argilosa todos fase floresta tropical subperenifolia relevo forte ondulado e ondulado
LVAAd8	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico textura argilosa ou muito argilosa + Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura argilosa/muito argilosa ou média/argilosa ambos A moderado fase floresta tropical subperenifolia relevo forte ondulado e ondulado
PVe1	Argissolo Vermelho Eutrófico Típico + Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico + AR todos A moderado textura média/argilosa ou média/ muito argilosa fase floresta tropical subcaducifolia relevo montanhoso e forte ondulado
PVe2	Argissolo Vermelho Eutrófico Típico + Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico ambos A moderado textura média/argilosa ou média/ muito argilosa fase floresta tropical subcaducifolia relevo forte ondulado e ondulado
PVe3	Argissolo Vermelho Eutrófico Típico + Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico ambos A moderado textura média/argilosa ou média/ muito argilosa fase floresta tropical subcaducifolia relevo forte ondulado e montanhoso
PVAd1	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico e Abruptico A moderado textura média/argilosa fase floresta tropical subcaducifolia relevo suave ondulado e ondulado

Quadro 03. continuação

Símbolo	Descrição
PVAd2	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Latossólico e Típico textura média/muito argilosa ou argilosa/muito argilosa + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico textura argilosa ambos A moderado fase floresta tropical subcaducifolia relevo forte ondulado e ondulado
PVAd3	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Latossólico e Típico textura média/argilosa + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Argissólico textura argilosa ou muito argilosa ambos A moderado fase floresta tropical subcaducifolia relevo forte ondulado
PVAd4	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico textura média/argilosa ou argilosa/muito argilosa + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura muito argilosa ou argilosa ambos A moderado fase floresta tropical subperenifolia relevo forte ondulado e montanhoso
PVAd5	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico textura média/argilosa ou argilosa/muito argilosa + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura argilosa ambos A moderado fase floresta tropical subcaducifolia relevo forte ondulado e montanhoso
PVAd6	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Latossólico A moderado textura média/argilosa fase floresta tropical subcaducifolia relevo suave ondulado e ondulado
PVAd7	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico textura média/argilosa + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Argissólico e típico ambos A moderado fase floresta tropical subperenifolia relevo ondulado e forte ondulado.
PVAe1	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico e Distrófico Típico + Argissolo Vermelho Eutrófico Típico ambos A moderado textura média/argilosa ou média/muito argilosa fase floresta tropical subcaducifolia relevo forte ondulado e ondulado
PVAe2	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico Típico + Argissolo Vermelho Eutrófico Típico ambos A moderado textura média/argilosa ou média/muito argilosa fase floresta tropical subcaducifolia relevo ondulado e forte ondulado
PVAe3	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico e Distrófico Abrupto e Típico A moderado textura média/argilosa e arenosa/argilosa fase floresta tropical subcaducifolia relevo ondulado e suave ondulado

O quadro 04 contém os valores de área para cada unidade de mapeamento, sua porcentagem em relação ao total e o percentual de cada classe de solo.

Quadro 04. Áreas e percentagens das unidades de mapeamento e das classes de solos da folha Varre-Sai.

Unidades de mapa	Área		Classes de solo	%
	hectares	%		
CXbd	2.975	6,29	Cambissolo	6,29
GXbd1	1.823	3,85	Gleissolos	6,23
GXbd2	505	1,07		
GXbd3	205	0,43		
GXbe	414	0,88		
LVAd1	3.304	6,99	Latosolos	55,05
LVAd2	5.070	10,72		
LVAd3	2.499	5,28		
LVAd4	9.524	20,14		
LVAd5	255	0,54		
LVAd6	392	0,83		
LVAd7	4.055	8,57		
LVAd8	938	1,98		
PVe1	5.586	11,81	Argissolos	31,93
PVe2	70	0,15		
PVe3	26	0,06		
PVAd1	17	0,03		
PVAd2	356	0,75		
PVAd3	1.074	2,27		
PVAd4	3.251	6,87		
PVAd5	177	0,37		
PVAd6	696	1,47		
PVAd7	1.674	3,54		
PVAe1	1.058	2,24	Aflor. de rocha	0,49
PVAe2	1.096	2,32		
PVAe3	21	0,04		
AR	230	0,49		
Total	47.294	100,00		100

#### 4.1.7. Clima

Segundo GONÇALVES *et al.* (2003), utilizando conjuntos de dados, referentes ao período de 1969 a 2000, fornecidos pelo INMET, da estação localizada em Itaperuna, entre as coordenadas 21°12'S e 41°54'W, com 128 m de altitude, como esperado, as variações das temperaturas médias são características das estações do ano. Os valores mínimos são observados no outono-inverno (maio a agosto) e os máximos na primavera-verão (setembro a abril). Nota-se que a mínima temperatura ocorre no mês de julho (15,2° C) e a máxima no mês de fevereiro (33,1° C). As temperaturas médias mensais mais elevadas foram observadas em dezembro, janeiro e fevereiro. Em termos gerais, verificou-se que a média foi de 23,6° C, com média das máximas da ordem de 29,7°C e das mínimas de 19,0°C.

Fevereiro foi o mês de maior temperatura mínima média (22,0° C), enquanto junho e julho os de menores valores, da ordem de 15,7° e 15,2° C.

Em se tratando do regime de chuvas, em termos médios mensais, constatou-se que, no período de maio a agosto, ocorreram valores inferiores a 50 mm, enquanto que nos meses compreendidos entre novembro e janeiro, período que apresentou maiores ofertas de precipitação pluvial, foram superiores a 150 mm (GONÇAVES *et al.*, 2003).

De maneira geral, as ações de pesquisa efetuadas pelo projeto RADEMA (Recuperação de Áreas Degradadas na Região da Mata Atlântica), financiado pelo PRODETAB nº 106/02/99 com parceria da EMATER-RIO/UFRJ/REBRAF/PESAGRO, avaliando a distribuição regional da precipitação, em trabalho ainda não publicado, através de estações meteorológicas relativamente próximas à mesorregião Noroeste Fluminense, conseguiu definir as tendências das médias anuais, conforme Figura 12. Constata-se um incremento nas chuvas no sentido nordeste e uma diminuição no sentido sul e noroeste, considerando-se uma observação a partir do município de Natividade.

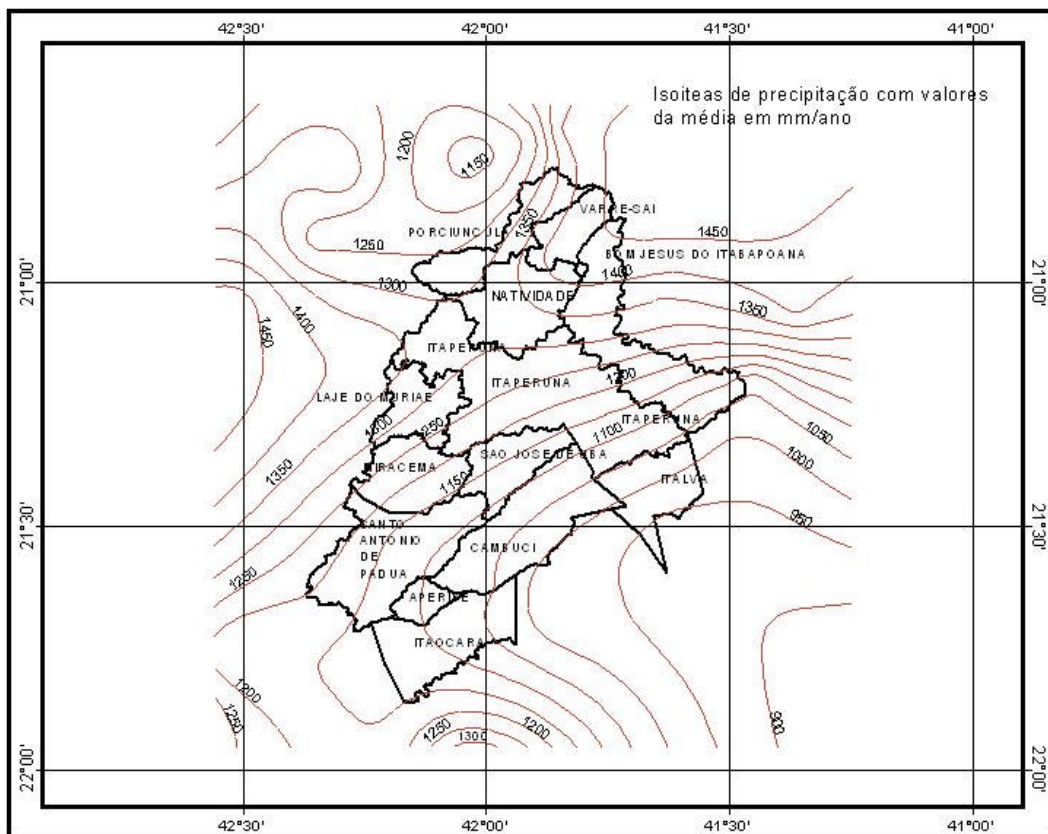


Figura 12. Isoietas de precipitação média anual da mesorregião Noroeste fluminense.

## 4.2. Métodos e Procedimentos

Neste sub-item serão abordados os sistemas ou softwares utilizados, e os métodos e procedimentos para elaboração dos diversos temas que compõem o escopo do trabalho. Vale ressaltar que as análises englobam, muitas vezes, a conversão de formato dos dados entre sistemas e também entre formatos de arquivos, ora compondo uma grade para trabalho em sistemas de informação geográfica ou de tratamento de imagens, ora sendo um arquivo texto em formato predefinido pelo software, como no caso do simulador de redes neurais.

### 4.2.1. Os sistemas utilizados (Softwares)

Como o trabalho envolve várias fases de manipulação e análise dos dados, em formatos variados, utilizou-se para isso um elenco de softwares bastante conhecidos pelos cientistas da área e que, em geral, suportam o volume de dados que precisam ser manipulados.

Desta forma, optou-se pela utilização dos seguintes softwares, disponibilizados pela UFV e pelo Núcleo de Geoprocessamento Prof. Aspiazú (NUGEO):

- ☞ ARC/INFO versão 8.2 - Environmental Systems Research Institute, Inc.
- ☞ ArcView GIS versão 3.2a - Environmental Systems Research Institute, Inc.
- ☞ JavaNNS - Java Neural Network Simulator - Version 1.1 - University of Tübingen.
- ☞ SNNS. Stuttgart Neural Network Simulator. Version 4.2. University of Stuttgart e University of Tübingen.
- ☞ Executáveis funcpow, gerapat e Max\_like\_cof – cedidos pelo Prof. Carlos A. O. Vieira – Departamento de Engenharia Civil - UFV
- ☞ ERDAS IMAGINE versão 8.5 – ERDAS Systems.
- ☞ Microsoft Excel – 2000 – Microsoft Corporation.

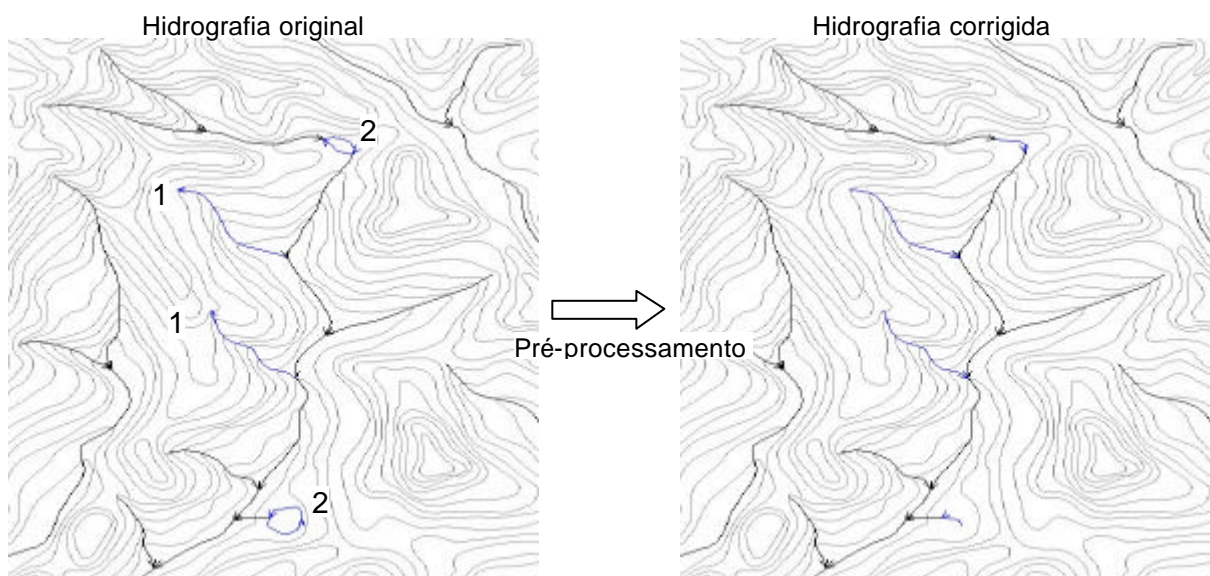
### 4.2.2. Interpolação para criação do modelo digital de elevação.

O modelo digital de elevação (MDE) pode ser feito a partir de três principais fontes de dados, a saber: as curvas de nível, os pontos cotados e sensores remotos. Neste trabalho enfoca-se a utilização dos dois primeiros componentes, obtidos da folha topográfica Varre-Sai (IBGE, 1991). Utilizou-se ainda os dados relativos às feições vetoriais da drenagem e uma feição poligonal de limite de interpolação. O processamento destes dados é feito no software ARC/INFO (ESRI, 1994), para gerar uma grade regular, contendo associado a cada célula da grade o valor de altimetria em metros. Vale ressaltar a importância deste tema, pois dele serão derivados outros que formam o escopo deste trabalho.

Disponível no módulo ARC do software ARC/INFO, a opção “*TOPOGRIDTOOLS*” constitui-se uma interface de menu do comando “*TOPOGRID*”, que compõe um método de interpolação especificamente desenhado para criar modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes. É baseado num programa desenvolvido por HUTCHINSON (1989) denominado ANUDEM (*Australian National University Digital Elevation Model*), no qual o procedimento de interpolação tem a vantagem de utilizar os tipos mais comuns e disponíveis de dados de entrada. Este método usa uma técnica iterativa de diferença finita de interpolação e foi otimizado para ter uma eficiência computacional do método de interpolação local, como o inverso do quadrado da distância, sem perder a continuidade da superfície de interpolações globais como a krigeagem (ESRI, 1994).

O “*TOPOGRID*” usa o conhecimento sobre as superfícies, impondo restrições na interpolação, o que resulta numa estrutura de drenagem conectada e uma correta representação dos cumes e dos canais de drenagem.

Antes de realizar-se a interpolação propriamente dita, é necessário porém, efetuar um pré-processamento dos dados primários, ou de entrada. Estes dados são relativos à hidrografia e à altimetria. Assim, as feições vetoriais associadas à hidrografia precisam ser simplificadas e orientadas no sentido do escoamento. A simplificação consiste basicamente na eliminação de pequenos lagos ou represas, e na criação de um arco simples para os rios de margem dupla, através da criação de uma linha central do polígono. A correção da orientação do arco no sentido do escoamento consiste, quando necessário, na inversão do sentido do arco. A Figura 13 mostra um exemplo deste tipo de pré-processamento.



Onde: 1 – sentido do arco invertido em relação ao sentido do escoamento; e  
2 – pequenas represas transformadas em arcos pela correção.

Figura 13. Pré-processamento das feições vetoriais associadas à hidrografia.

Com relação aos dados primários de altimetria, é necessário realizar um ajuste gráfico da altimetria (curvas de nível) em relação à rede de drenagem, bem como a atribuição de valor das cotas altimétricas às feições lineares. O ajuste dos arcos de isolinhas de altimetria em relação à drenagem é importante para caracterizar o talvegue, quando a hidrografia serve de referência. O pré-processamento dos dados primários é feito numa sessão de edição de arcos, disponível no módulo “*EDIT TOOLS*” do “*ARC TOOLS*” (ESRI, 1994).

A sintaxe básica utilizada no comando “*TOPOGRID*” pode ser vista no Quadro 05.

Quadro 05. Sintaxe utilizada no comando “*TOPOGRID*”.

<b>TOPOGRID mde7_5 7.5</b>	↗ mde7_5 = nome da grade gerada; 7.5 = resolução
<b>ENFORCE ON</b>	↗ habilita a rotina de forçar o MDE na drenagem, ou seja, remove as depressões não identificáveis pelo comando SINK. Esta opção certifica a criação de um MDE hidrologicamente correto.
<b>DATATYPE CONTOUR</b>	↗ especifica o tipo de dado primário de entrada
<b>MARGIN 0.0</b>	↗ indica que vai interpolar em toda a extensão desejada
<b>ITERATIONS 30</b>	↗ numero de iterações que serão feitas
<b>TOLERANCES 2.5 1.0 0.0</b>	↗ conjunto de valores de tolerância usados para ajustar o suavizamento dos dados de entrada e remover as depressões no processo de forçar o MDE na drenagem.
<b>XYZLIMITS # # # # #</b>	↗ limites para interpolação
<b>CONTOUR d:\tese\alti COTAS</b>	↗ nome do plano de informação com as curvas de nível.
<b>POINT d:\tese\pto COTA</b>	↗ nome do plano de informação com os pontos cotados
<b>STREAM d:\tese\hidro</b>	↗ nome do plano de informação com a drenagem
<b>BOUNDARY d:\tese\limite_2</b>	↗ nome do plano de informação com o limite de interpolação
<b>OUTPUTS # # #</b>	↗ saídas opcionais
<b>END</b>	↗ final da sintaxe

#### 4.2.3. Definição do tamanho da célula da grade do MDE e temas envolvidos.

De acordo com proposição de HUTCHINSON & GALLANT (2000), o método padrão para otimizar a resolução de um MDE, deve ser feito usando o critério do monitoramento da raiz quadrada da média da declividade (em porcentagem), gerada pelos diversos tamanhos de células que foram testados. Associada a este critério, a comparação visual entre as curvas de nível originais com aquelas geradas a partir do MDE também fornece um meio de avaliar os MDE's, bem como permite a análise da quantidade total de depressões espúrias de cada resolução utilizada.

Para tanto, são gerados por interpolação MDE's com diferentes tamanhos de célula (7,5; 10; 15; 20; 30; 60; 120 e 240 metros), avaliado o numero absoluto de depressões espúrias, calculada a declividade em porcentagem e realizada uma álgebra de mapas conforme a Figura 14, a seguir.

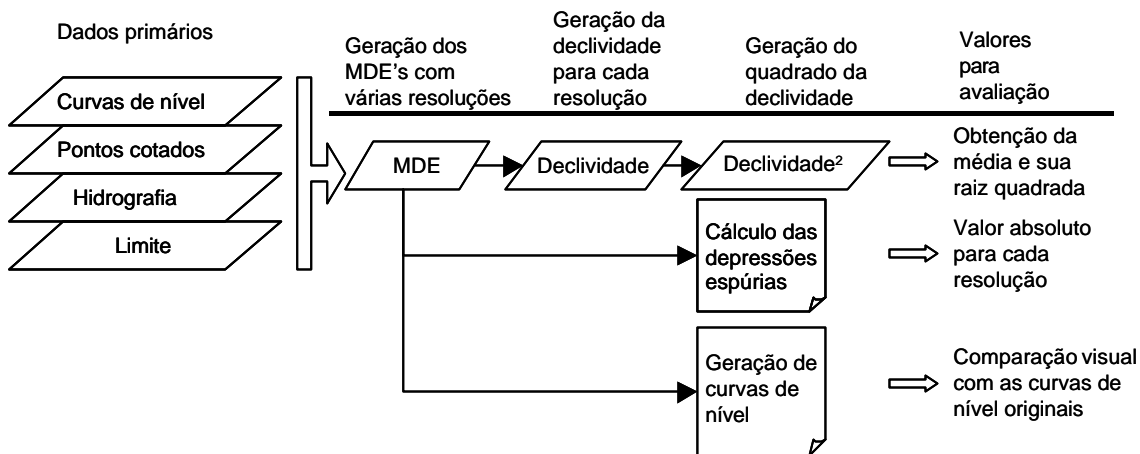


Figura 14. Esquema de avaliação do tamanho da célula para otimização da grade do MDE.

#### 4.2.4. Cálculo e remoção das depressões espúrias

Disponível no módulo *GRID* do ARC/INFO, o comando *SINK* cria uma grade identificando todas as depressões espúrias ou áreas de drenagem interna. Utiliza como argumento principal de sua sintaxe a grade de sentido de escoamento. A sintaxe do comando é: “*grade\_saída = sink(grade\_sentido\_escoamento)*”. A saída desta função é uma grade com valores inteiros onde cada depressão é assinalada com um único valor, sendo numerados a partir de 1.

Uma depressão espúria é uma célula ou um conjunto de células do MDE onde o sentido do escoamento superficial não pode assumir nenhum dos oito valores citados no item 3.7.5. Isto ocorre quando todas as células vizinhas à célula central possuem valor de altimetria superior à célula que está sendo computada (célula central de uma janela de 3x3), ou quando duas células escoam uma para a outra, criando uma espécie de “looping”.

Desta forma, segundo ESRI (1994), para se criar uma representação apurada do sentido do escoamento, deve-se fazê-lo a partir de um MDE livre de depressões espúrias. A identificação e remoção das depressões espúrias para se obter um MDE livre dessas ocorrências é um processo iterativo, pois quando uma depressão é preenchida, outras podem aparecer em suas bordas. Assim, para a sua remoção é necessária uma seqüência de operações sobre os dados matriciais, que pode ser repetida até a eliminação total das mesmas. Esta seqüência de comandos envolve a utilização de uma álgebra de mapas com as sintaxes descritas no Quadro 06.

Quadro 06. Seqüência de sintaxes, ou comandos, para cálculo e remoção das depressões espúrias.

```
[d1] = flowdirection([m1])
```

```
[s1] = sink([d1])
```

```
[a1] = watershed([d1], [s1])
```

```
[f1] = zonalfill([a1], [m1])
```

```
[p1] = con([m1] > [f1], [m1], [f1])
```

```
[m2] = con(isnull([a1]), [m1], [p1])
```

onde: m1 = grade do MDE

d1 = grade com o sentido do escoamento (a partir do m1)

s1 = grade de identificação das depressões espúrias (a partir do d1)

a1 = delimitação da área de drenagem de cada depressão espúria

f1 = identificação da menor altitude na borda das depressões

p1 = preenchimento das depressões

m2 = substituição no MDE original pela altimetria corrigida

#### 4.2.5. Cálculo da declividade em porcentagem

Disponível no módulo *GRID* do ARC/INFO (ESRI, 1994), este procedimento identifica a taxa máxima de variação no valor Z (altitude) de cada célula em relação às suas oito células vizinhas, considerando uma janela de 3x3. O comando possui a sintaxe : “*grade\_saída = slope(MDE, percentrise)*”. Desta forma, a grade de saída é regular contendo o valor da declividade em porcentagem. Opcionalmente este comando pode gerar a declividade em graus. O algoritmo específico para o cálculo da declividade e demais informações podem ser obtidos em BURROUGH (1986).

#### 4.2.6. Cálculo do Aspecto

Disponível no módulo *GRID* do ARC/INFO (ESRI, 1994), identifica a direção da máxima variação no valor Z para cada célula central em relação às suas vizinhas, num plano de 3x3 células. É expresso em graus positivos de 0 a 360, medidos a partir do norte no sentido horário. O aspecto pode ser entendido como a direção da declividade (ESRI, 1996a e ESRI, 1996b). A sintaxe é simples da seguinte forma: “*ASPECT = ASPECT(MDE)*”.

#### 4.2.7. Cálculo da superfície de curvatura

Calculada a partir do MDE para cada célula central, numa janela de 3x3 células. Um valor positivo da curvatura significa que a superfície é fortemente convexa naquela célula. Um valor negativo identifica uma superfície côncava. Um valor de zero indica uma superfície plana. O processamento de um MDE, para gerar uma superfície de curvatura, fornece como

resultado duas grades possíveis, representando o perfil e o plano de curvatura, que analisados em conjunto podem auxiliar na distinção de processos geomorfológicos, tais como erosão e escoamento superficial da água. Em termos gerais, a superfície de curvatura é calculada como a declividade da declividade, ou seja, é a segunda derivada de um MDE (ESRI, 1996a e ESRI, 1996b).

A sintaxe do comando envolve alguns argumentos como observa-se a seguir: “*grade\_saída = CURVATURE(grade\_entrada, curvatura\_perfil, curvatura\_plana, declividade\_graus, aspecto)*”. A *grade\_saída* representa a curvatura; a *grade\_entrada* é o MDE; a *curvatura\_perfil* é uma grade de saída com o perfil de curvatura mostrando a taxa de variação da declividade para cada célula, isto é, a curvatura na direção da declividade; a *curvatura\_plana* é uma grade de saída que representa a curvatura perpendicular à direção da declividade, ou seja, é a curvatura plana; *declividade\_graus* é uma grade com a declividade em graus e; *aspecto* é uma grade que representa o aspecto, conforme citado no item anterior.

#### **4.2.8. Cálculo do sentido do escoamento superficial**

Disponível no módulo GRID do ARC/INFO (ESRI, 1994), este procedimento gera uma grade contendo o sentido do escoamento de uma célula em direção à maior das declividades de suas vizinhas. A sintaxe é a seguinte: “*Grade\_saida = flowdirection(Grade\_entrada)*”, onde a *grade\_saida* representa o sentido do escoamento superficial, podendo assumir valores descritos no item 3.7.5. Esta grade também é utilizada no procedimento iterativo de remoção das depressões espúrias. A *grade\_entrada* é representada pelo MDE.

#### **4.2.9. Cálculo do escoamento superficial acumulado**

Disponível no módulo GRID do ARC/INFO (ESRI, 1994), este procedimento gera uma grade com o escoamento acumulado para cada célula, pela soma de pesos das células vizinhas que se direcionam para aquela que está sendo computada, conforme comentado no item 3.7.6.

A sintaxe é a seguinte “*esc\_acum = flowaccumulation(sent\_esc, grade\_peso)*”, onde *esc\_acum* é a grade de saída contendo os valores de escoamento acumulado para cada célula; o *sent\_esc* é a grade de entrada contendo o sentido do escoamento superficial, obtida pelo comando citado no item anterior e; *grade\_peso* é uma grade opcional de entrada, indicando um peso a ser associado a cada célula, podendo, por exemplo, ser uma grade com a precipitação local.

#### 4.2.10. Cálculo da altimetria relativa de subbacias.

Conforme comentado no item 3.7.7, esta variável descreve a variação de cota altimétrica da bacia de contribuição de cada segmento da rede de drenagem de uma região. O seu cálculo envolve uma série de procedimentos, descritos a seguir.

A partir do MDE livre de depressões espúrias, determina-se o sentido do escoamento superficial (*Sen\_esc1*) e o escoamento superficial acumulado (*Esc\_acu1*). Após este procedimento, a hidrografia vetorial é convertida para o formato matricial, pelo comando "*hidro-gr = linegrid(hidro2, codigo, #, #, 20)*", gerando uma grade (*hidro-gr*), sendo atribuído um valor às células desta grade. No entanto, quando se rasteriza a hidrografia, em alguns locais, esta pode estar sendo representada por mais de uma célula, descaracterizando uma feição linear. Para contornar este problema utiliza-se o comando *Thin*, disponível no módulo *GRID* do ArcInfo, que diminui ou estreita as feições de um tema matricial.

A sintaxe geral deste comando é "*grade\_saída = Thin(grade\_entrada, positive/data, nofilter/filter, round/sharpen, thickness)*". A *grade\_saída* será aquela gerada pelo comando, e a *grade\_entrada*, a feição linear matricial a ser afinada. No caso da opção *positive* ou *data*, utiliza-se *positive*, quando todos os valores maiores que 0 serão afinados. A opção *nofilter* ou *filter* indica a utilização de ou não de um filtro, e neste caso o mesmo não será utilizado, pois não se quer que a grade seja filtrada para suavizar os limites entre valores. Quanto à opção *round* ou *sharpen*, indica, se for *round*, que será realizado uma suavização dos cantos ou quebras retangulares e suas junções serão mantidas, sendo o mais recomendado para feições naturais. Ao contrário, por exemplo, para feições como ruas numa cidade, utiliza-se a opção *sharpen* onde todos os cantos ou quebras retangulares serão preservados. Este parâmetro pode ser importante para se trabalhar ruas de áreas urbanas que possuem curvas de 90°. A opção *thickness* define a espessura máxima, em unidades do mapa, das feições lineares de uma grade, e representa o tamanho da célula.

Visto que o interesse é que a grade resultante possua somente valor nas células da rede de drenagem, o comando foi ainda embutido com outra variável *SetNull*, para definir como NoData as células que não interessam, ficando da seguinte forma: "*h1-cel = setnull((thin(hidro-gr, positive, nofilter, round, 20) == 0), 1)*", gerando a grade denominada H-1cel.

Inicialmente, propõe-se identificar as bacias de drenagem de maior ordem da área de estudo, e para isto segue-se o seguinte procedimento. Primeiro, para definir as drenagens conectadas, que compõem uma bacia, utilizou-se o comando *regiongroup*, na calculadora de mapas do sistema ArcView, aplicando-se a seguinte sintaxe: "*[H-1cel].regiongroup(false,true,nil)*", que gerou uma nova grade denominada *redesdren*. As opções do comando *regiongroup* utilizadas são *false* (indicando utilizar as 8 células vizinhas

para criar a região), true (para agrupar células mesmo possuindo valores associados diferentes) e nil (para utilizar todas as células, independente de seu valor associado). Segundo, para calcular as bacias de contribuição ou bacias de drenagem, da hidrografia matricial e agrupada, utilizou-se, no sistema ArcInfo, a seguinte sintaxe: “*bacias = watershed(sen\_esc1, redesdren)*”, onde *sem\_esc1* é o tema com o sentido do escoamento e *redesdren* o tema da hidrografia no formato matricial, afinada e agrupada.

Buscando identificar os segmentos da drenagem, para posterior obtenção de sua área de contribuição, foi utilizado o comando *ZonalStats* que calcula um valor estatístico para determinada região ou zona para todas as suas células. Células que intersectam ou estejam contidas dentro das feições de uma região ou zona são utilizadas para calcular a estatística desejada (máximo, mínimo, média, ...) de um campo da tabela. Este valor estatístico calculado é retornado para cada célula que faz parte daquela região ou zona. Este comando, disponível no ArcView, possui sintaxe geral da seguinte forma: “*aGrid.ZonalStats(aGridStaTypeEnum,zoneObj,zonePrj,zoneField,noData)*”, onde:

*ZoneOBJ* pode ser uma grade ou uma tabela *FTab*. Se houver algum tipo de seleção no *ZoneObj*, somente as feições selecionadas serão usadas; de outro modo, todas as feições serão utilizadas; *ZonePrj* define a projeção do mapa em que as feições do *Zoneobj* poderão ser convertidas depois de calculadas. Se a projeção já for a desejada, então deve-se usar o termo *Prj.MakeNull*; *ZoneField* será um campo no *Zoneobj* que define as zonas ou regiões para serem usadas no cálculo da estatística desejada (*aGridStatTypeEnum*); se a opção *Nodata* for *TRUE*, então os valores de saída para cada célula numa região ou zona serão *NoData* caso qualquer célula da grade contida nesta região ou zona for *NoData*. Se o *NoData* for *FALSE*, as células *NoData* da região ou zona serão ignoradas no cálculo e um valor será retornado.

No presente caso, o comando utilizado foi o seguinte: “*([Esc\_acu1].zonalstats(#grid\_statype\_max,[redesdren],prj.makennull,[redesdren].getvtab.getfields.get(0),false)*”, que gerou uma grade onde a drenagem de cada bacia na área de estudo recebeu o valor máximo do escoamento acumulado. Esta grade foi renomeada para *MaxAcum*, e suas células possuem o valor de máximo do escoamento acumulado, que são 308 e 241.766.

Para determinar a célula que possui o máximo valor de escoamento realizou-se, na calculadora de mapas, a seguinte equação: “*([MaxAcum] <> [Esc\_acu1]).setnull([redesdren])*”, que atribuiu *NoData* a todas células que foram diferentes entre as grades *MaxAcum* e *Esc\_acu1* e atribuindo valor 1 para as que forem iguais, que são as células de máximo valor de escoamento acumulado. Esta grade foi renomeada para *Fozes*.

A seguir é necessário refazer a grade de sentido de escoamento, corrigindo-a através do seguinte processamento e comandos:

a) `([Fozes].costdistance([H1-cel], "H-dir".asfilename, nil, nil))`, para gerar a grade com a direção do menor custo H-dir, que apresenta valores de 1 a 8;

b) `([H-dir] > 0).con(([H-dir] - 1).exp2.int, 16.asgrid)`, para gerar o grid H-Diresc, com as direções sendo potências de 2, ou seja, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128;

c) `([H1-cel].streamlink([H-diresc]))`, para gerar a grade Segmentos com todas as feições lineares da rede de drenagem segmentadas.;

d) `([H-1cel].isnull.con([Sen_esc1],[H-diresc]))`, para gerar a grade SenEsc-ok com a direção de escoamento corrigida; e

e) `([SenEsc-ok].watershed([segmentos]))`, para criar a grade Bacias-seg que contém as bacias de contribuição de cada segmento identificado.

Na seqüência, para se determinar os valores estatísticos de média, máximo e mínimo de cada bacia de contribuição de cada segmento da drenagem, utiliza-se o comando *ZonalStats* que retorna uma grade com as células da bacia de contribuição de cada segmento da drenagem associadas ao valor da estatística desejada. Desta forma, utiliza-se o comando `"([M1].zonalstats(#grid_statype_max,[bacias-seg],prj.makenull,[bacias-seg].getvtab.getfields.get(0),true))"` para retornar o valor máximo da altimetria para cada bacia de contribuição, e o comando `"([M1].zonalstats(#grid_statype_min,[bacias-seg],prj.makenull,[bacias-seg].getvtab.getfields.get(0),true))"` para retornar o valor mínimo da altimetria.

Após obtidas as grades com os valores de máxima e mínima altimetria para cada bacia de contribuição, aplica-se uma álgebra de mapas, através do seguinte comando `"([max-alt] - [min-alt])"`, que gera uma grade com altimetria relativa das bacias de contribuição de cada segmento da drenagem.

#### **4.2.11. Cálculo da distância euclidiana em relação à drenagem.**

Este cálculo é realizado no módulo *GRID* do ARCINFO e sua expressão do comando utilizado é a seguinte: `"dist_euclid = eucdistance(rios)"`, onde `dist_euclid` é a grade de saída com os valores de distância euclidiana associados as células, e "rios" é uma grade com feições lineares da drenagem, sendo a fonte da distância.

#### **4.2.12. Definição das unidades de paisagem.**

As unidades de paisagem definidas neste estudo são agrupamentos daquelas representadas pelas unidades de do Mapa de Solos do Estado do Rio de Janeiro (Embrapa Solos, não publicado), relativas à Folha Varre-Sai do IBGE (1991). Desta forma,

estabeleceu-se trabalhar com um nível hierárquico mais elevado, que englobará as unidades de paisagens do domínio dos Latossolos, dos Argissolos, dos Cambissolos, dos Gleissolos e dos Afloramentos de Rocha, agrupando as unidades de mapeamento definidas no item 4.1.6.

#### **4.2.13. Reconhecimento do padrão geomórfico das paisagens.**

Para reconhecer os valores dos atributos de cada unidade de paisagem, é necessário associar todos os temas geometricamente, como se fossem as bandas de uma imagem. Isto é feito no ERDAS IMAGINE 8.5, pela opção “*Layer Stack*” no menu “*Image*  $\times$  *Interpreter*  $\times$  *Utilities*  $\times$  *Layer Stack*”.

Assim, foi constituída uma imagem com todos os temas envolvidos no trabalho, que serve tanto para obter o padrão geomórfico, quanto para dar entrada no simulador de redes neurais.

Especificamente, o padrão geomórfico de cada paisagem foi individualizado por parâmetros estatísticos relativos aos temas considerados, ou seja, altimetria, declividade, aspecto, escoamento superficial acumulado, sentido do escoamento superficial, perfil de curvatura, curvatura plana, curvatura, altimetria relativa e distância euclidiana.

#### **4.2.14. Classificação das paisagens pela rede neural artificial.**

Após a análise dos temas envolvidos e da definição do padrão geomórfico de cada paisagem, elaborou-se uma rede neural artificial (RNA) para a classificação das mesmas. Para fins de comparação entre o classificador RNA, elaborou-se também uma classificação pelo algoritmo de máxima verossimilhança.

Para a construção da RNA foram feitos treinamentos de 20.000 ciclos, com as amostras para este fim, procurando-se definir a arquitetura ideal para o objetivo estipulado, fazendo variar a taxa de aprendizagem (?), da seguinte forma:

☛ De 0 a 10.000 ciclos  $\times$  ? = 0.2

☛ De 10.000 a 15.000  $\times$  ? = 0.1

☛ De 15.000 a 20.000  $\times$  ? = 0.075

A arquitetura da rede é composta de uma camada de entrada contendo um neurônio para cada tema de entrada, uma ou duas camadas ocultas e uma camada de saída contendo tantos neurônios quantas forem as classes de paisagem. A figura 15 representa o esquema que foi desenvolvido para a RNA. Esta RNA é totalmente conectada, com utilização do algoritmo de retro-propagação do erro.

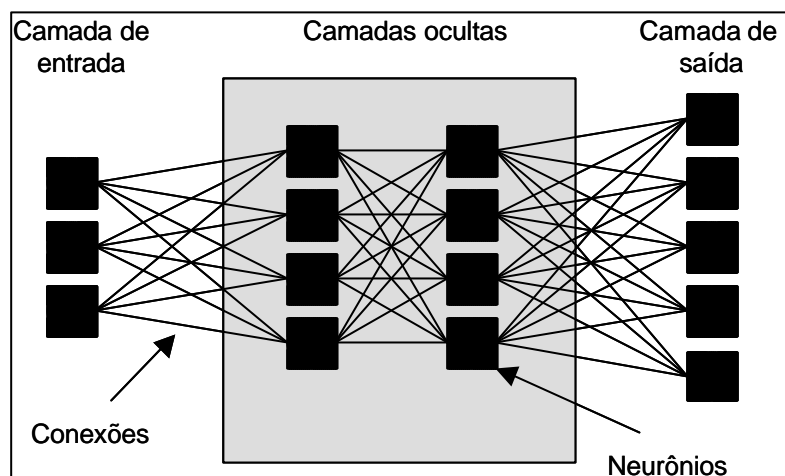


Figura 15. Representação esquemática da arquitetura da RNA.

## 5. Resultados e discussão.

### 5.1. Avaliação e definição da resolução da grade

Após a geração dos modelos digitais de elevação (MDE) para as resoluções, ou tamanho de células, definidos, ou seja, 240, 120, 60, 30, 20, 15, 10 e 7,5 metros, cujas grades foram nomeadas respectivamente de mde240, mde120, mde60, mde30, mde20, mde15, mde10 e mde75, foi obtida a grade com a declividade em porcentagem, esta grade foi elevada ao quadrado, ou seja, multiplicada por ela mesma (conforme esquema da Figura 14), e observado seus valores de média, máximo, mínimo, desvio padrão e calculada a raiz quadrada da média.

No quadro 07, que apresenta os resultados obtidos por este processamento, observa-se que os valores da raiz quadrada da média, quando se refina a resolução a partir de 30 m, se tornam relativamente próximos, indicando pouca variação e uma correspondência maior com os dados de altimetria primários. Este comportamento pode ser melhor visualizado observando-se a Figura 16. Segundo HUTCHINSON & GALLANT (2000), este comportamento, onde os contornos são mais bem representados por resoluções mais finas, se refletirá em grandes valores de depressões espúrias.

Quadro 07. Valores de máximo, mínimo, média, desvio padrão e raiz da média em relação à resolução dos MDE's gerados.

Resolução (m)	240	120	60	30	20	15	10	7,5
MAX	3039	5304	7756	13174	17258	23809	32100	41869
MED	194,627	435,994	737,846	1.091	1209,256	1279,65	1353,182	1393,627
MIN	0	0	0	0	0	0	0	0
DESPAD	278	495	736	1117	1291	1414	1578	1689
RQMED	13,95	20,88	27,16	33,03	34,77	35,77	36,79	37,33

Onde: MAX = máximo; MED = média; MIN = mínimo, DESPAD = desvio padrão e RQMED = raiz quadrada da média

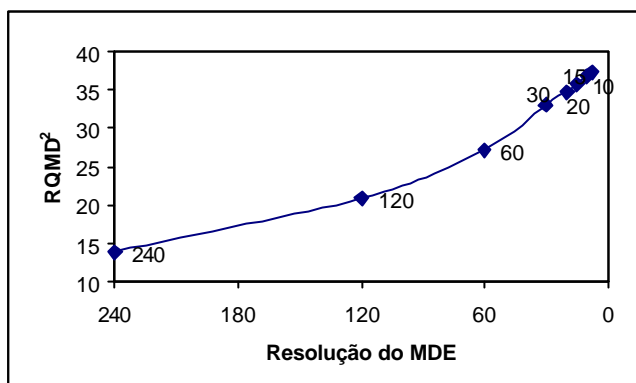


Figura 16. Raiz quadrada da média da declividade ao quadrado em função da resolução do MDE dividida sucessivamente entre 240 e 7,5 m.

Quanto às depressões espúrias dos MDE's gerados com diferentes resoluções, o Quadro 08, apresenta o valor absoluto do número de depressões encontradas pela utilização do comando SINK, aplicado a cada um dos modelos. Corroborando com as observações de HUTCHINSON & GALLANT (2000), quanto mais fina é a resolução, maior é a correspondência entre as curvas de nível originais e aquelas geradas pelo MDE, porém o número absoluto de depressões espúrias geradas também aumenta.

Quadro 08. Número de depressões espúrias em relação à resolução da grade do MDE.

Resolução (m)	Depressões espúrias
240	4
120	13
60	37
30	143
20	224
15	260
10	367
7,5	546

Na comparação visual entre as curvas de nível originais e aquelas geradas a partir do MDE (Figura 17) realizada para as resoluções de 60, 30, 20, 15, 10 e 7,5 m pode-se fazer as seguintes observações.

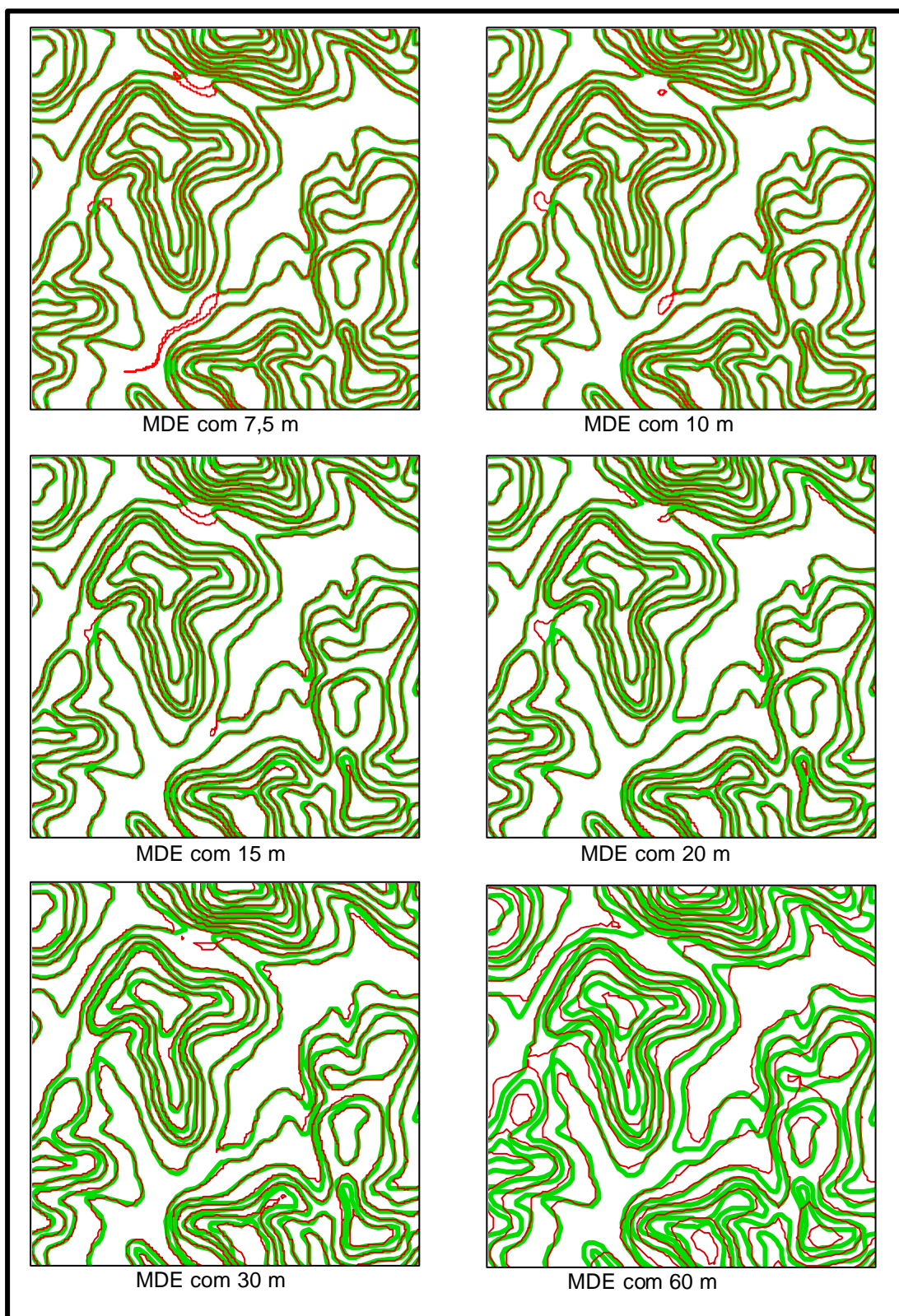


Figura 17. Comparação entre as curvas de nível derivadas dos MDE's, de cor vermelha, e aquelas originais de parte da folha topográfica Varre-Sai, de cor verde.

As curvas de nível derivadas do MDE com 60 m de resolução não possuem uma boa equivalência com as curvas de nível originais. Por outro lado, aquelas geradas a partir dos MDE's com as resoluções mais finas, ou seja, de 7,5 e 10 m, extrapolaram na interpolação e derivaram curvas além das originais, assim como o derivado do MDE com 15 m de resolução. As curvas de nível derivadas dos MDE's com 20 e 30 m de resolução foram aquelas que mais se aproximaram dos dados primários (curvas de nível originais), criando poucos contornos diferentes.

Desta forma, avalia-se que a resolução da grade para geração do MDE e dos temas dele derivados, deve estar entre 30 e 20 m de tamanho da célula. Nestes casos, o número de depressões espúrias situa-se entre 143 e 224, a raiz quadrada da média do quadrado da declividade se posiciona, na curva da Figura 16, no início de um ponto de melhor ajuste e as curvas derivadas dos modelos estão consistentemente próximas das originais.

## **5.2. Removendo as depressões espúrias do MDE.**

Com o objetivo de corrigir hidrologicamente o MDE com 20 m de resolução, foi realizado o processamento para a remoção das depressões espúrias, conforme já comentado no item 4.2.4. Este processamento foi feito iterativamente, pois a cada remoção das depressões, novas são formadas e necessitam de outro processamento. Assim, o número de depressões vai sendo minimizado até chegar a zero, quando o modelo é dito hidrologicamente correto e pode servir de base para a geração dos temas derivados.

Foram necessárias apenas duas iterações para eliminar as depressões espúrias, sendo que na primeira o número de depressões passou de um total de 224 para 26, e na segunda caiu para apenas uma. Após o preenchimento, não mais gerou outras depressões.

O MDE hidrologicamente correto gerado pode ser observado na Figura 18, bem como suas principais características. Observa-se que a altimetria local varia de 197 a 1.135m, o que é considerado relativamente uma grande amplitude de cotas altimétricas.

## **5.3. Os temas derivados do MDE e suas características gerais.**

A geração ou obtenção dos temas derivados foi feita seguindo os passos definidos no item 4.2. Desta forma, a seguir são apresentados os temas em formato raster, bem como suas características numéricas para toda a área de estudo.

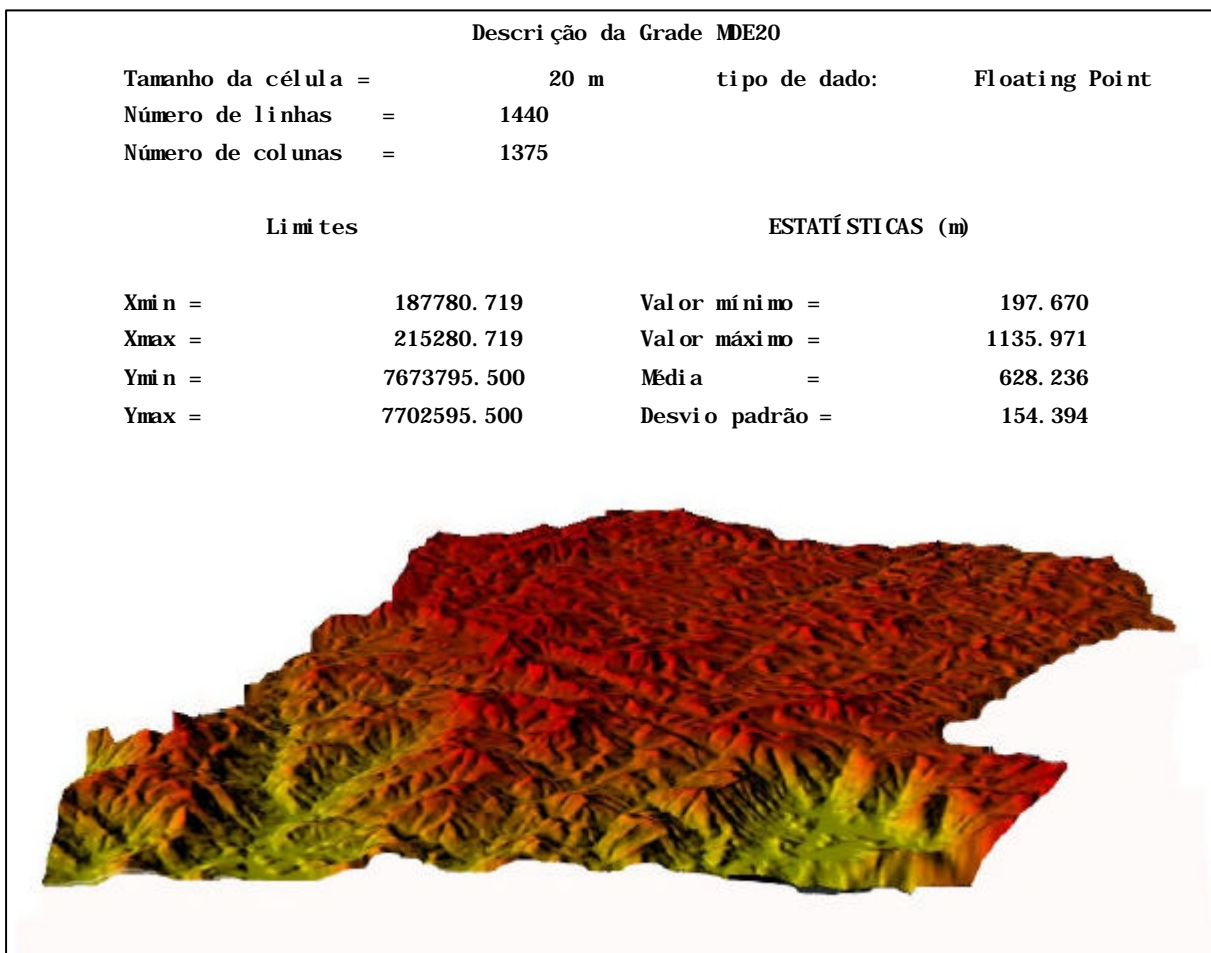


Figura 18. Visualização 3D com exagero vertical de 3x do MDE hidrologicamente correto com 20 m de resolução e suas características numéricas.

### 5.3.1. Tema declividade em porcentagem.

A Figura 19 representa o tema declividade em porcentagem e a Figura 20 apresenta o histograma com a distribuição das classes. Por se tratar de um modelo numérico de terreno com valores contínuos, para uma melhor visualização da declividade, esta foi classificada segundo Embrapa (1999), ou seja, de 0 a 3%, de >3 a 8%, de >8 a 20%, >20 a 45%, >45 a 75% e >75%, sendo respectivamente consideradas as fases de relevo plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado.

Pelo Quadro 09, pode-se verificar que a maior parte da área, ou seja, 45% pertence a classe de declive forte ondulado, seguido pela classe ondulado com 22% aproximadamente. Em terceira posição está a classe de declive montanhoso com 19%, em quarta posição está a classe suave ondulado com 8%, em quinta posição aparece a classe de relevo plano, com aproximadamente 3%, e por último, com menos área, vem a classe de relevo escarpado, com apenas 1%. Assim, pode-se definir que a área de estudo encontra-se

com relevo bastante movimentado, condicionado pelos fatores de formação que atuam, pois as classes ondulado, forte ondulado e montanhoso perfazem um total de 86% de toda a área.

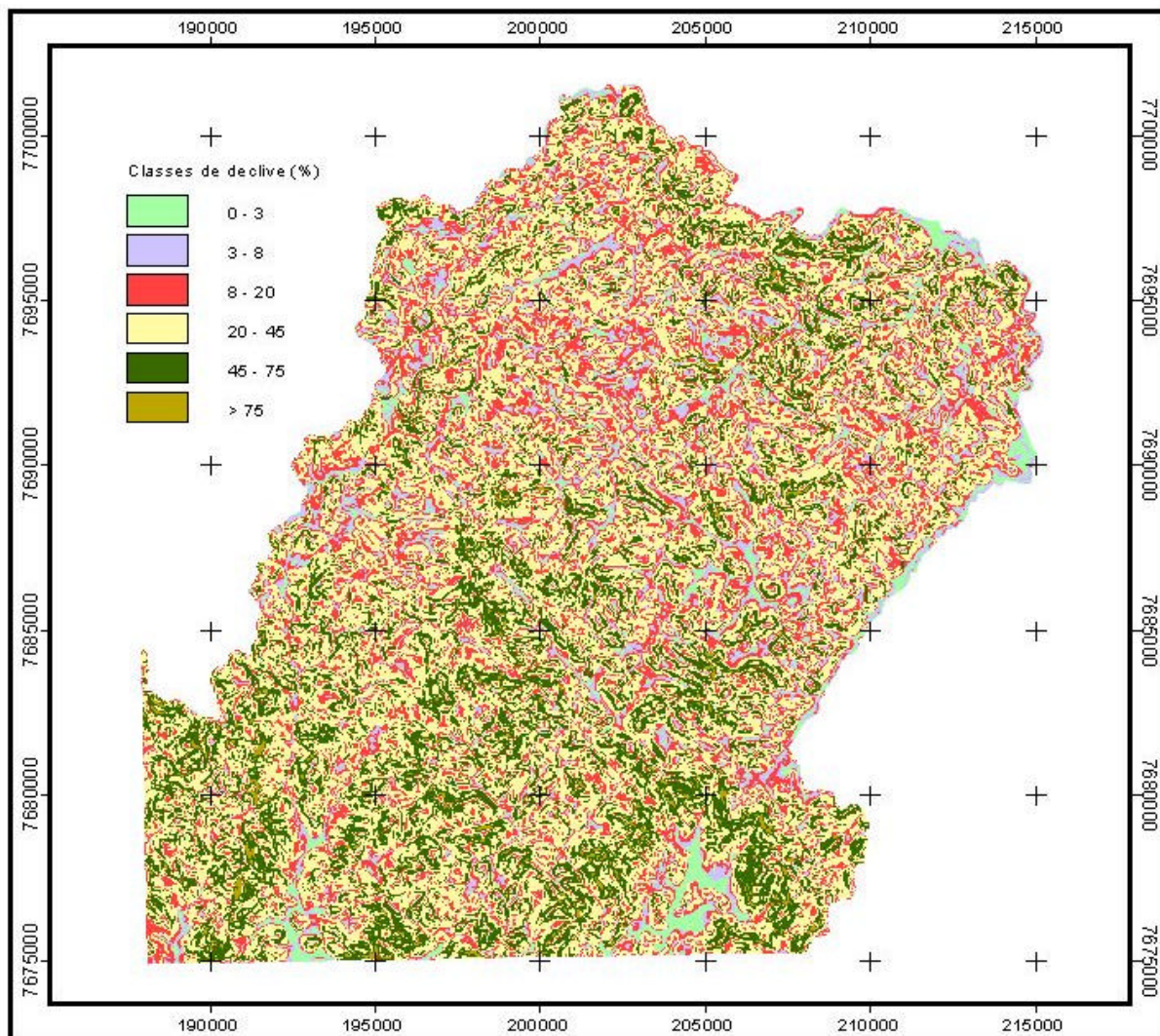


Figura 19. Mapa de declividade da área de estudo, classificado segundo Embrapa (1999).

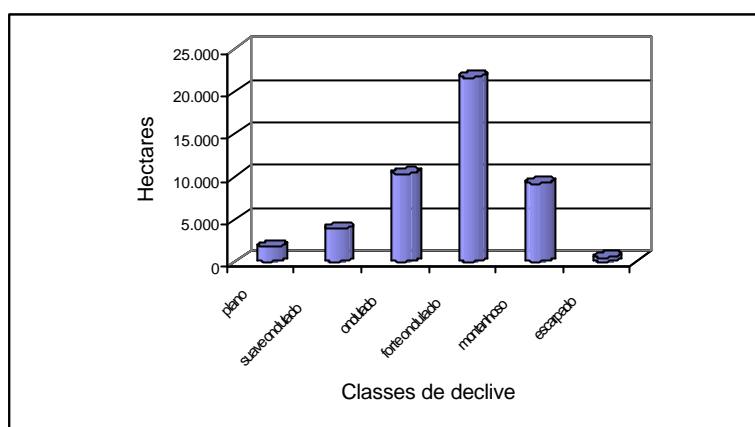


Figura 20. Histograma com as áreas absolutas de cada classe de declividade, para toda a área.

Quadro 09. Valores de número de células, área e percentual de cada classe de declive considerando toda a área de estudo.

Classe de declive	nº de células	área (ha)	%
Plano	43.575	1.743	3,68
suave ondulado	97.025	3.881	8,18
Ondulado	259.121	10.365	21,86
forte ondulado	541.915	21.677	45,72
Montanhoso	230.922	9.237	19,48
Escarpado	12.858	514	1,08

### 5.3.2. Tema de Aspecto

Trata-se de um modelo numérico de terreno com valores contínuos de 0 a 360, que representa a direção da declividade e pode ser observado na Figura 21. Analisando o Quadro 10, pode-se identificar que não existe uma direção preferencial das faces das vertentes, com uma ligeira predominância da direção Sul, com aproximadamente 28%, seguido das direções Norte e Leste, ambas com aproximadamente 24% e, por último, a direção Oeste, com 23%. Nota-se que aquelas células cujo valor da declividade é zero, são assinaladas neste tema com o valor -1, pois não se consegue definir a direção de sua declividade.

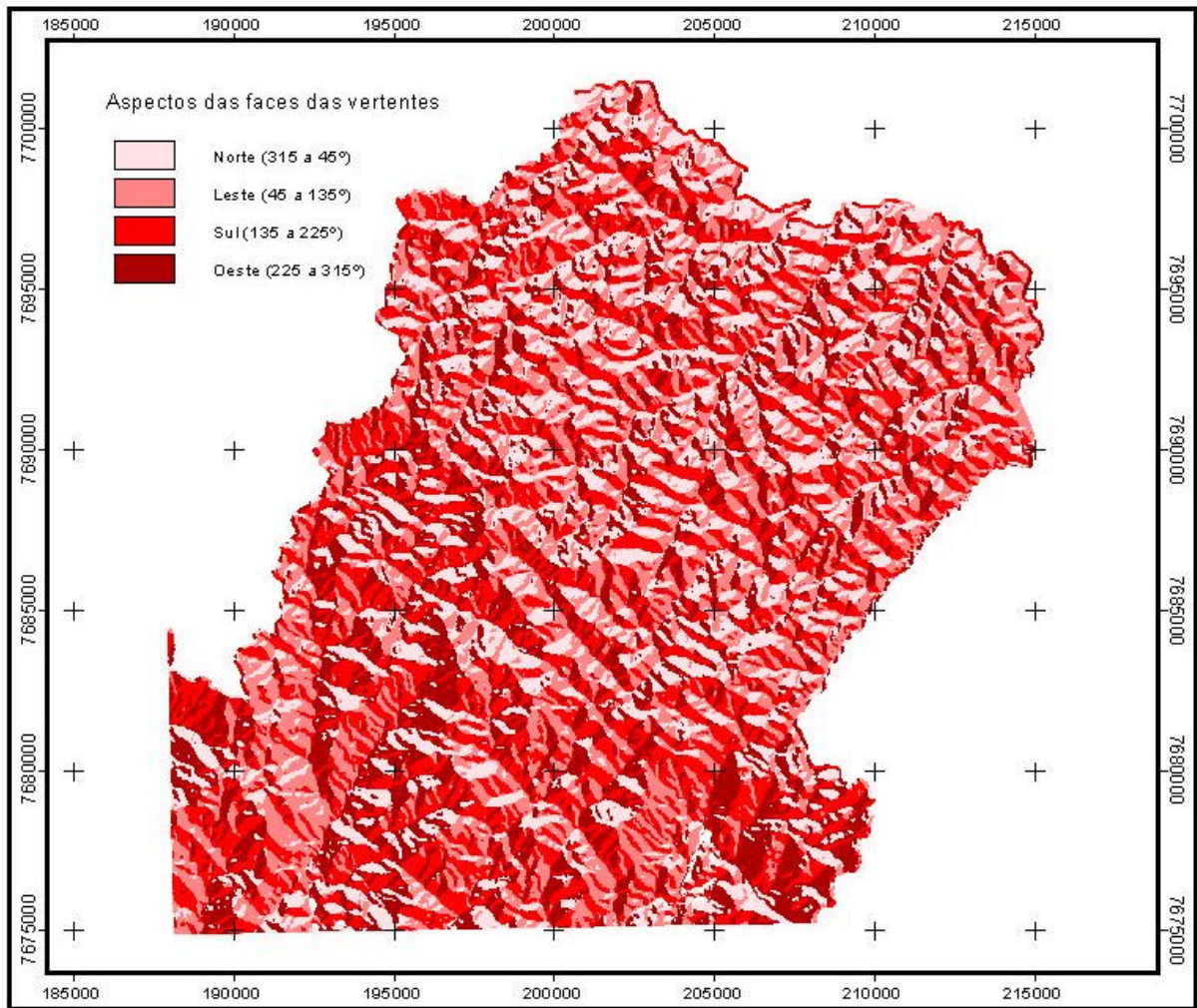


Figura 21. Representação do tema Aspecto de toda a área de estudo, com as faces classificadas como Norte (315 a 45°), Leste (45 a 135°), Sul (135 a 225°) e Oeste (225 a 315°).

Quadro 10. Valores de número de células, área e percentagem da direção das faces das vertentes de toda a área de estudo.

Aspecto	nº de células	área (ha)	%
Norte	287.318	11.493	24,3
Leste	292.010	11.680	24,7
Sul	330.208	13.208	27,9
Oeste	272.898	10.916	23,1

### 5.3.3. Temas Curvatura e Perfil e Plano de curvatura.

Os três temas gerados, representados por modelo numéricos de terreno contínuos, podem ser visualizados na Figura 22. De maneira geral, para toda a área de trabalho, os resultados apresentados no Quadro 11, indicam uma predominância de formas de relevo côncavo (valores negativos) sobre o convexo (valores positivos), quando consideramos os temas perfil e plano de curvatura. Para o tema curvatura, as formas côncavas e convexas praticamente se igualam.

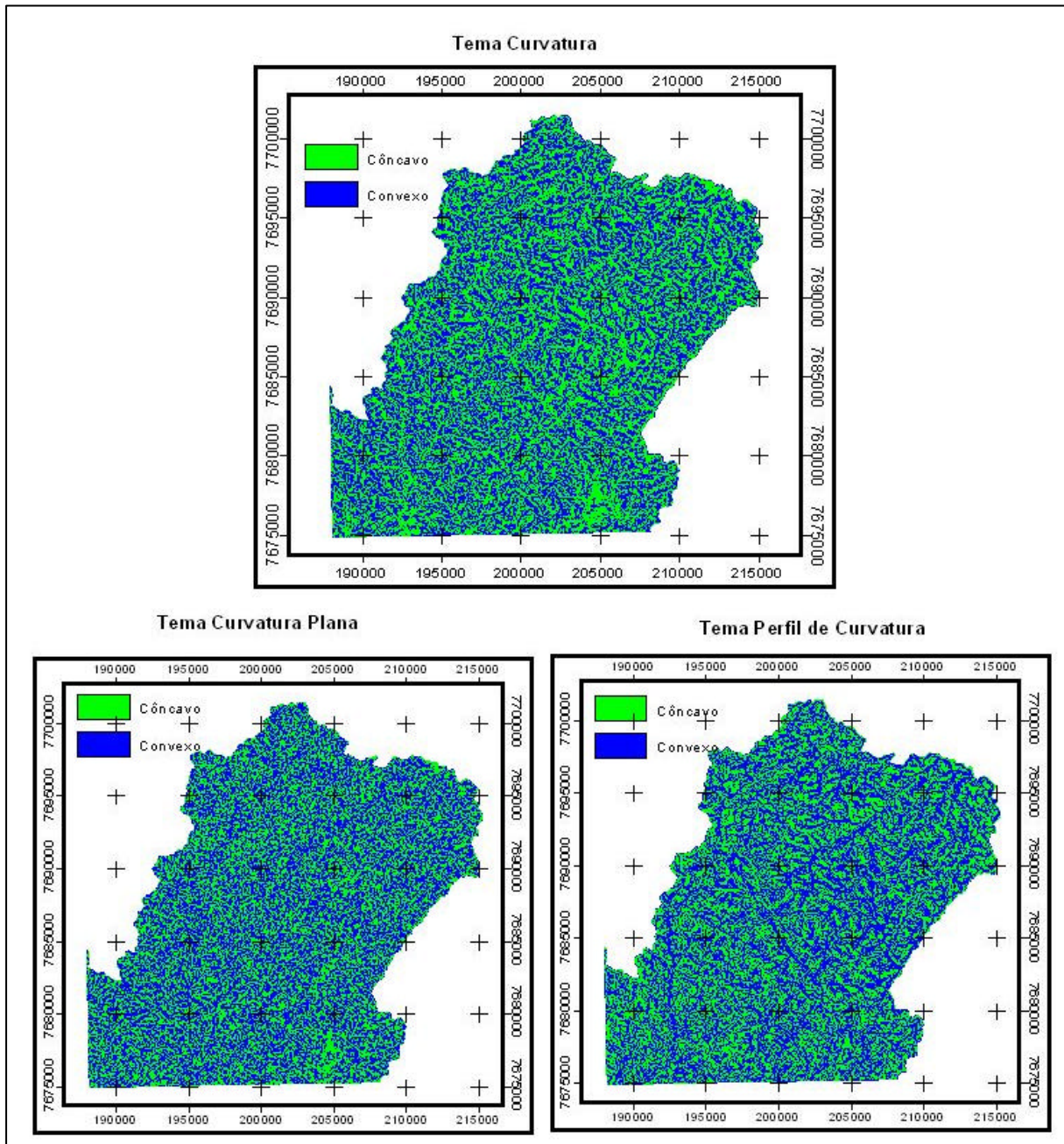


Figura 22. Representação dos temas relativos à curvatura, perfil de curvatura e curvatura plana.

Quadro 11. Número de células, área, porcentagem das classes de forma do terreno côncavo e convexo e valores de máximo e mínimo para os temas curvatura, perfil de curvatura e curvatura plana.

Temas	Côncavo		Convexo		Valores	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Máximo	Mínimo
Perfil de curvatura	21.439	45,2	25.977	54,8	6,721	-4,695
Plano de curvatura	20.454	43,1	26.963	56,9	5,017	-4,462
Curvatura	23.585	49,7	23.831	50,3	8,915	-9,507

Os valores máximo e mínimo para os temas Perfil e Plano de curvatura se encaixam na descrição encontrada em ESRI (1994), que considera, para áreas montanhosas, valores de 4 a -4. Entretanto, para o tema curvatura, os valores de máximo e mínimo em muito extrapolam aqueles considerados dentro desta faixa, provavelmente em razão de imperfeições do próprio MDE e da complexidade do relevo da área em estudo.

#### **5.3.4. Tema do sentido do escoamento superficial.**

Este tema contém valores reais associados às células, conforme comentado no item 3.7.5. A Figura 23 representa este tema e a Figura 24 mostra a distribuição em termos de área de cada um dos sentidos de escoamento possíveis.

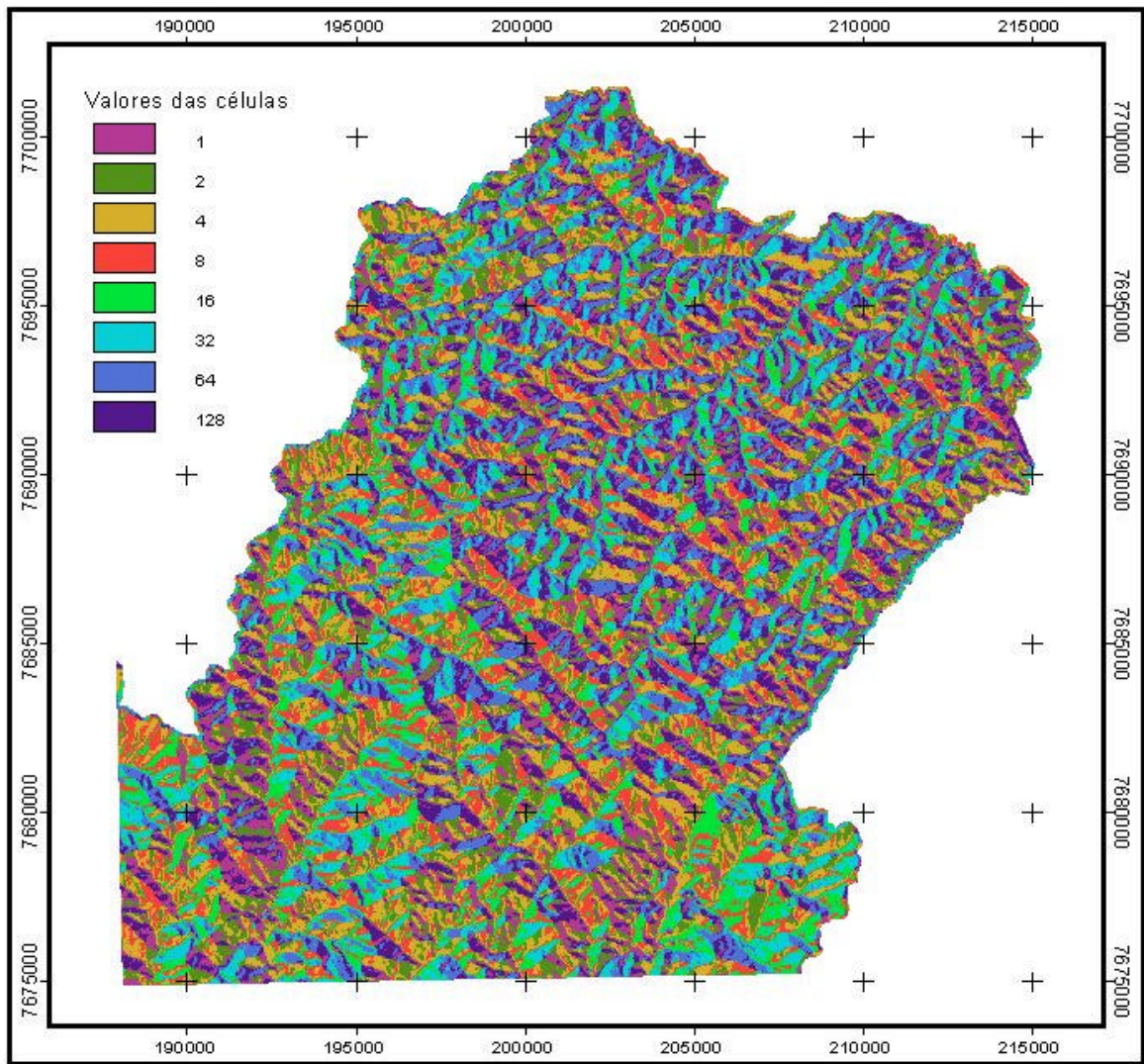


Figura 23. Representação do tema de escoamento superficial da área de estudo.

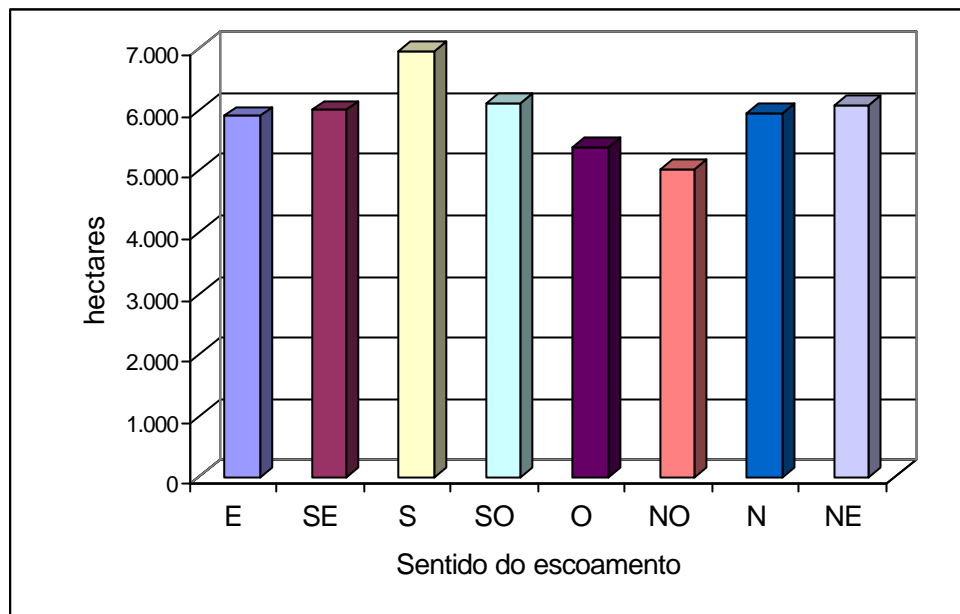


Figura 24. Distribuição das áreas de cada sentido de escoamento.

Observa-se que o sentido de escoamento S (sul) é o que possui maior área. Em seguida, os sentidos SO (sudoeste), NE (nordeste), SE (sudeste), E (este) e N (norte) aparecem como os de maior área, em ordem decrescente. Os sentidos de escoamento O (oeste) e NO (noroeste) são os que possuem menor área, em se considerando toda a área de trabalho.

### 5.3.5. Tema escoamento superficial acumulado.

Este tema foi gerado a partir do procedimento já comentado no item 4.2.9. A Figura 25 representa, portanto, uma parte do resultado deste processamento, atribuindo-se uma cor para os valores associados das células menores que 200, e outra cor para aqueles valores maiores ou iguais a 200. Desta forma, admite-se que as células com valores associados maiores que 200 representam a drenagem numérica da área, que, como mostra a Figura 25, possui uma boa correspondência com a drenagem vetorial obtida da carta topográfica do IBGE. Ainda neta figura pode-se verificar pelas cores usadas, que apenas os segmentos da hidrografia mais próximos às nascentes não estão incluídos na drenagem numérica.

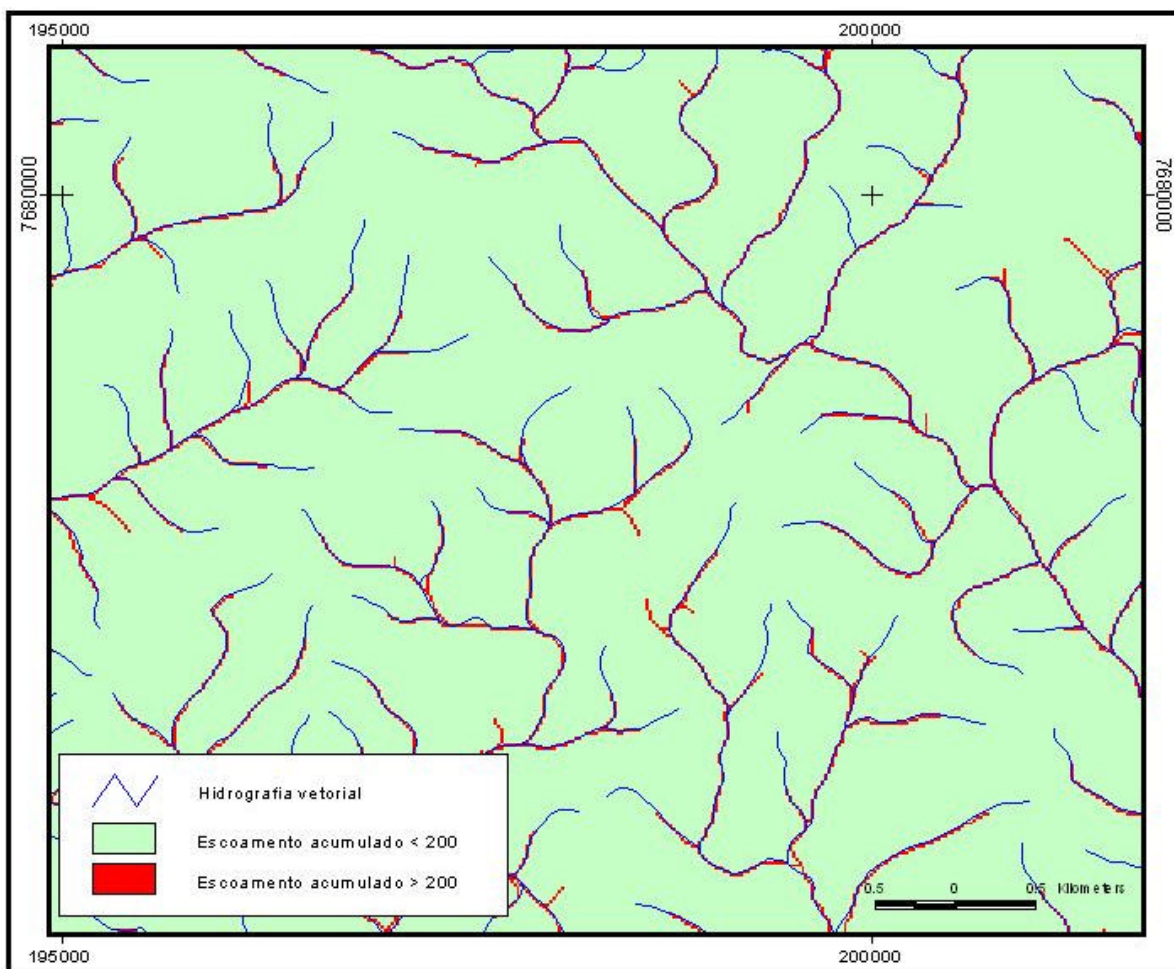


Figura 25. Parte do tema escoamento superficial acumulado, sendo sobreposto pela hidrografia vetorial.

### 5.3.6. Tema da altimetria relativa das subbacias.

Este processamento envolveu uma série de etapas, descritas no item 4.2.10, que gerou vários temas intermediários interessantes. O primeiro deles foi a segmentação da área em bacias hidrográficas maiores, o que pode ser visualizado na Figura 26. Nesta, observa-se que existe uma divisão a um nível maior, onde a bacia número 1 é composta por afluentes do rio Itabapoana e tem sentido nordeste, enquanto as demais compõem-se de afluentes do rio Carangola, com sentido sul. Nota-se que algumas pequenas bacias estão delimitadas, tanto na parte sul quanto na parte oeste da área, sendo que as mesmas aparecem associadas a segmentos de drenagem incompletos, em razão de os limites sul e oeste da área de estudo estarem condicionados pela abrangência da folha topográfica Varre-Sai (IBGE, 1991).

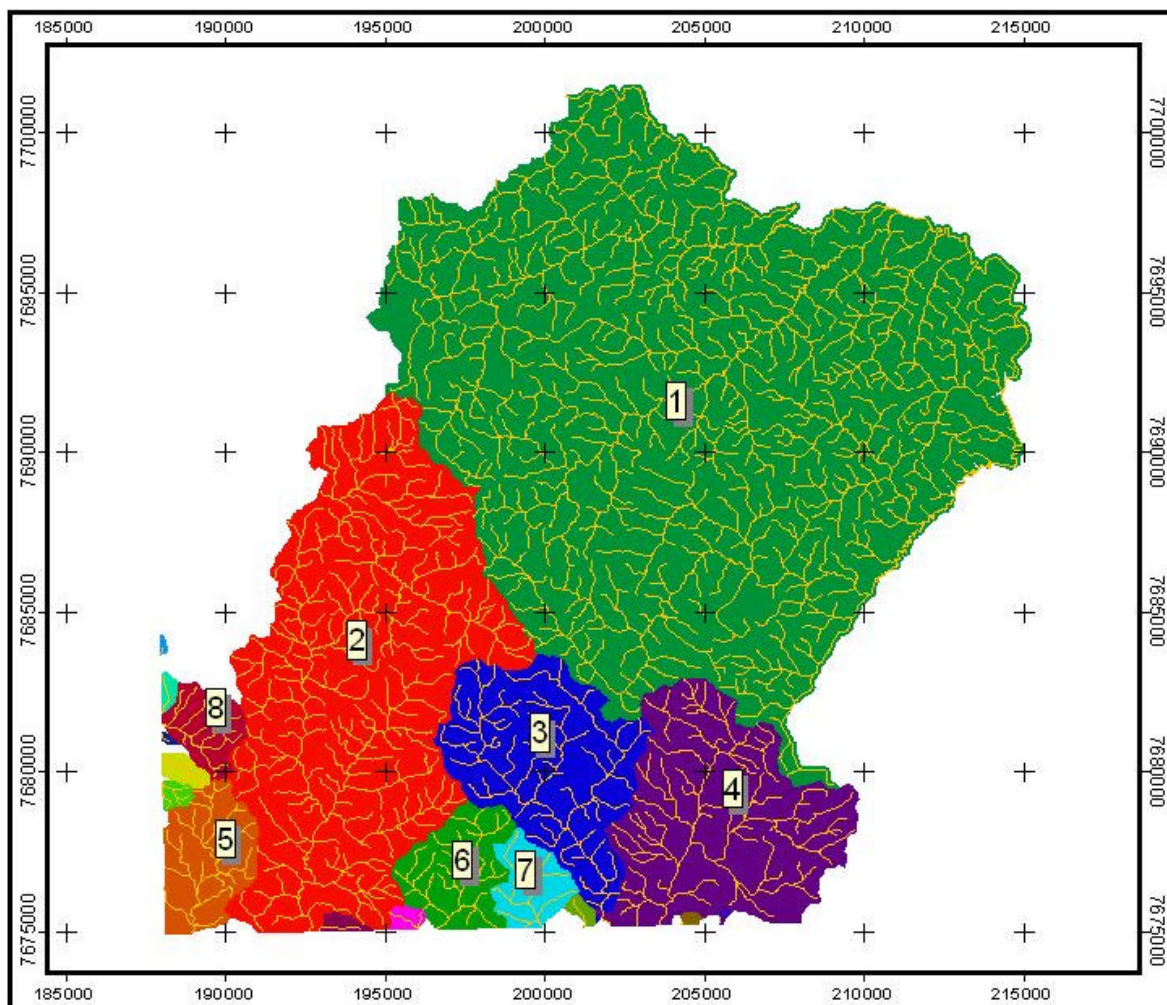


Figura 26. Bacias hidrográficas da área de estudo.

A área de contribuição de cada bacia definida pela Figura anterior pode ser observada no Quadro 12.

Quadro 12. Bacias hidrográficas e respectivas áreas.

Bacias	Área (ha)
1	26.211
2	9.604
4	4.074
3	3.082
5	1.101
6	1.036
7	533
8	501
outras	504

A segunda etapa deste processamento envolveu definir a área de contribuição de cada segmento da drenagem, o que subdividiu a área em 1.994 regiões, cada uma formando a bacia de contribuição para um segmento da drenagem. O resultado de parte

deste processamento pode ser visto na Figura 27, onde as cores diferentes mostram as bacias de contribuição de cada segmento.

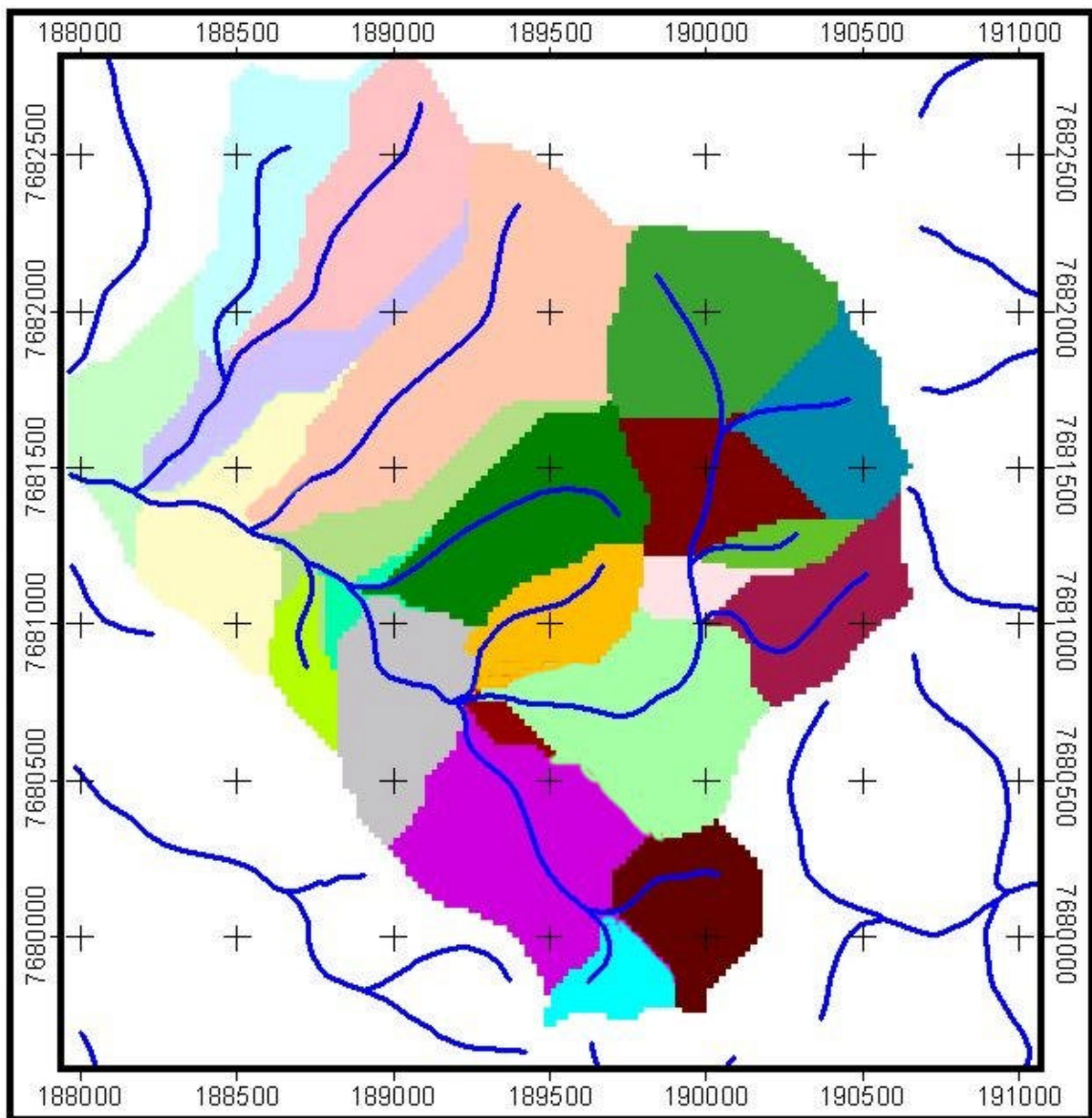


Figura 27. Bacias de contribuição para cada segmento da drenagem representado por cores diferentes, para parte da área de estudo.

A terceira etapa deste processamento consiste em gerar duas grades com os valores de máxima e mínima altimetria, e depois contabilizar a diferença entre elas, gerando finalmente a grade com a altimetria relativa das bacias de contribuição de cada segmento da drenagem, que pode ser visualizada na Figura 28, a qual foi segmentada em 9 classes para facilitar a compreensão deste tema. Observam-se áreas onde a altimetria relativa é homogênea e onde ela é maior ou menor, dando uma idéia do comprimento da vertente que se direciona para o segmento da drenagem.

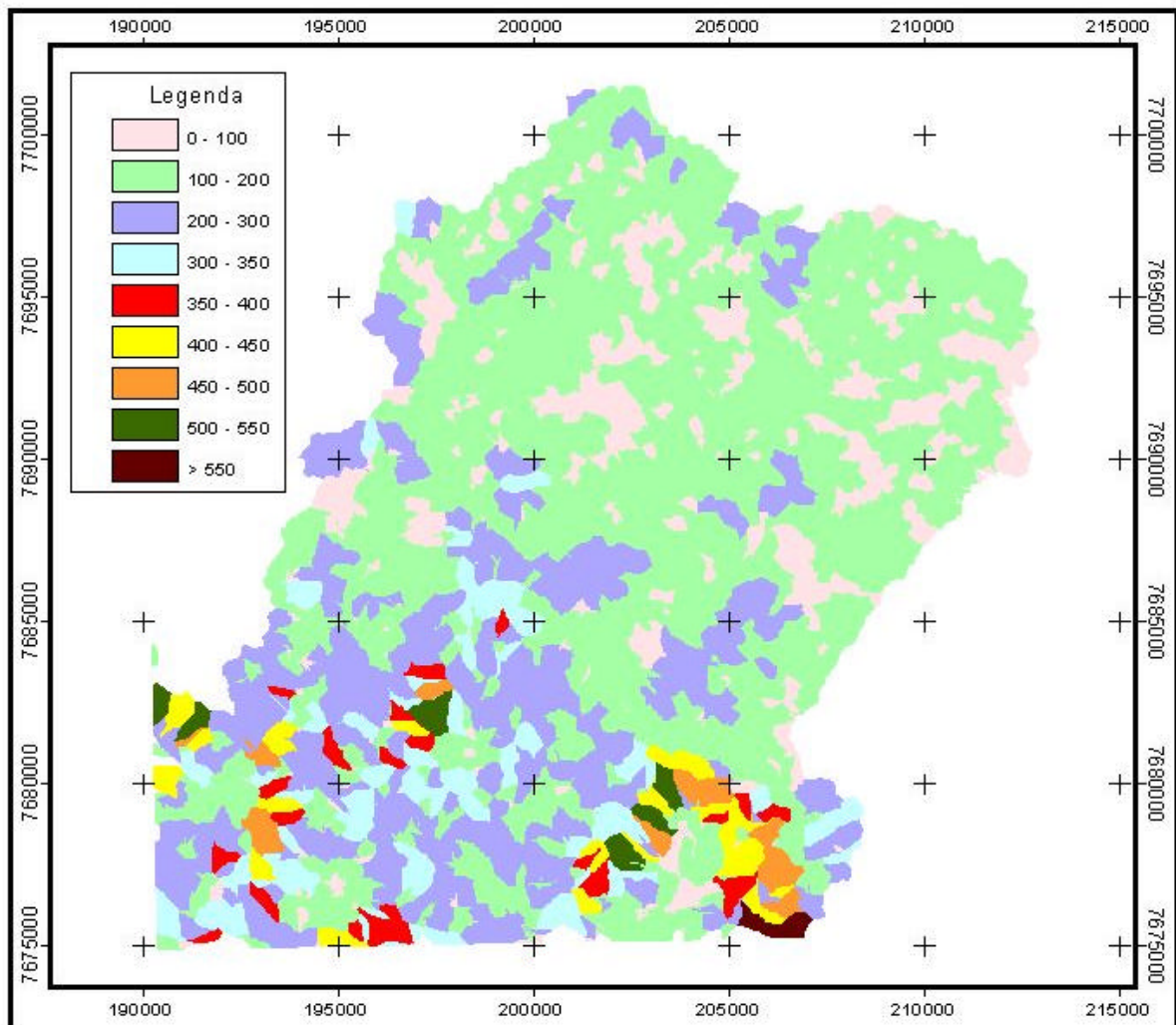


Figura 28. Grade com valores de altimetria relativa, em metros, para as bacias de contribuição de cada segmento da drenagem.

#### 5.4. Tema de precipitação.

Este tema foi criado pelo interpolador “topogrid”, a partir das isoietas de precipitação, e gerou uma grade com amplitude de 1.241 a 1.461 mm/ano de precipitação média anual. A Figura 29 representa este tema e pode-se observar um acréscimo na precipitação no sentido leste.

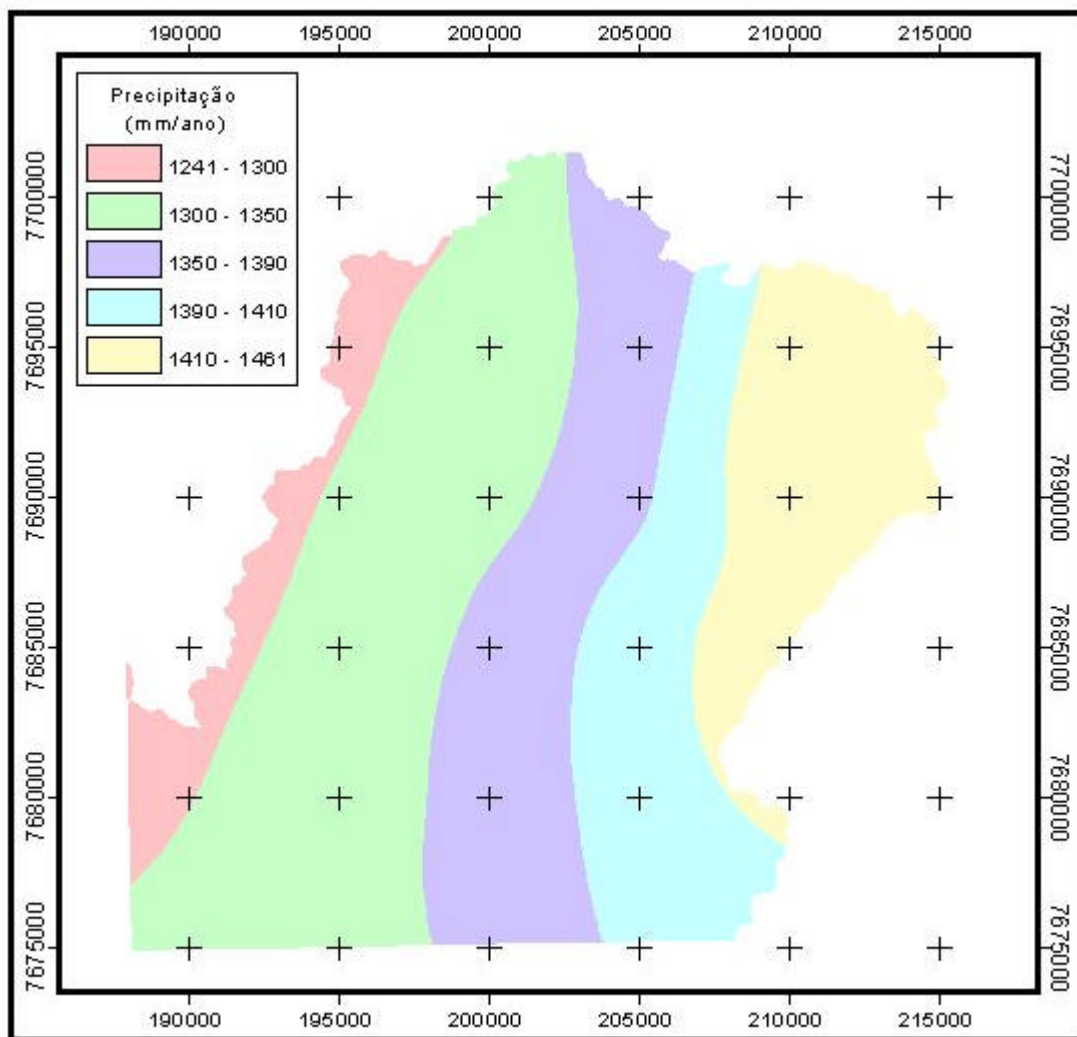


Figura 29. Representação do tema de precipitação média anual, em mm/ano, para toda a área de estudo.

### 5.5. Tema de distância euclidiana.

O cálculo da distância euclidiana resultou numa grade com valores variando de 0 a 1389 m. Entretanto, a maior parte dos valores, cerca de 96 % da área de estudo, encontra-se na faixa entre 0 e 300 m, como pode ser observado na Figura 30. A visualização de parte deste tema é apresentada na Figura 31.

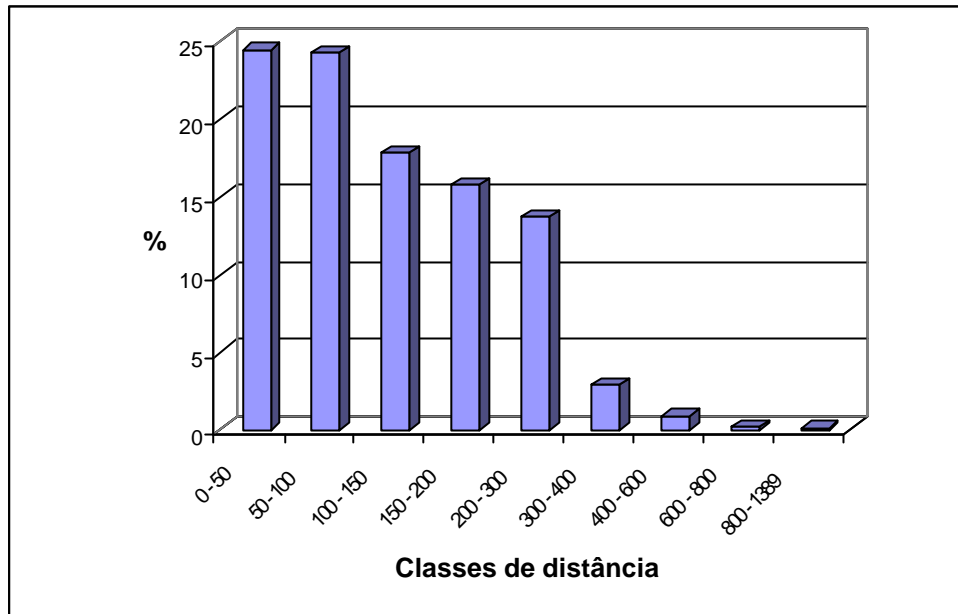


Figura 30. Distribuição percentual da área de cada classe de distância euclidiana a partir da hidrografia.

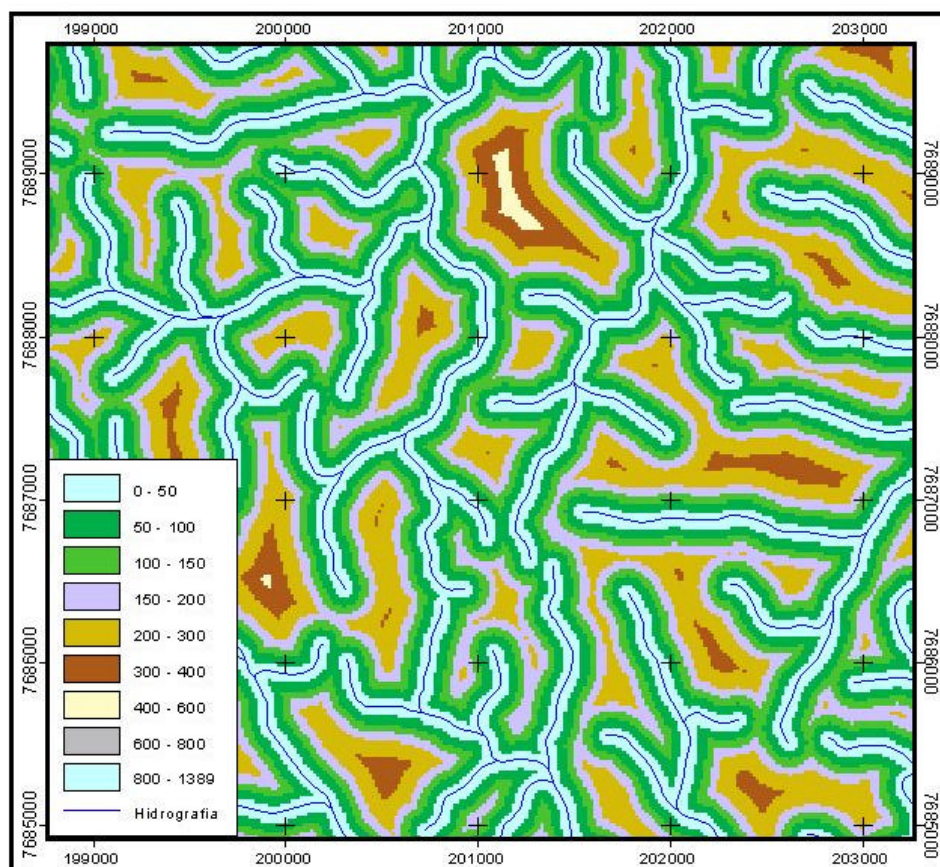


Figura 31. Visualização de parte da área de estudo com as classes de distância euclidiana.

## 5.6. Padrões geomórficos das unidades de paisagem.

As unidades de paisagem, definidas no item 4.2.12, possuem os seguintes atributos, que definem seus padrões geomórficos.

### 5.6.1. Padrão geomórfico da paisagem do domínio dos Latossolos.

A análise do cruzamento dos temas de paisagens e litologia (CPRM-RJ, não publicado), revelou que 62,5% da área total desta paisagem está associada a gnaisses, 23,6% a granulitos e apenas 13,9% a granitos.

Em termos de geologia, a análise espacial deste tema (SILVA & CUNHA, 2001) em relação ao de paisagens, identificou que aproximadamente 49% desta área estão associados à Unidade Itaperuna, componente do Complexo Paraíba do Sul, relativo ao Meso/neoproterozóico. Por outro lado, 24% de suas terras estão associados à Suíte Natividade (Neoproterozóico/cambriano), enquanto aproximadamente 19% se associam à Unidade São Fidélis. Em última posição, em termos de área, com apenas 8%, esta paisagem associa-se a Suíte Varre-Sai (Neoproterozóico/Cambriano).

Esta paisagem pode ser observada nas Figuras 32 e 33.



Figura 32. Aspecto geral da unidade de paisagem dos Latossolos.



Figura 33. Aspecto de área arada da unidade de paisagem dos Latossolos.

Os valores estatísticos e de distribuição dos atributos numéricos são apresentados a seguir, para os temas envolvidos, a saber: altimetria (m), declividade (%), aspecto (graus), curvatura, perfil de curvatura, curvatura plana, sentido do escoamento, escoamento acumulado, altimetria relativa (m), distância euclidiana (m) e precipitação (mm/ano)

O Quadro 13, a seguir, apresenta o resultado dos valores estatísticos pertinentes de cada atributo para a unidade de paisagem dos Latossolos.

Quadro 13. Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões dos temas de atributos numéricos relativos à unidade de paisagem dos Latossolos.

Tema	máximo	Mínimo	média	desvio padrão
altimetria (m)	938,8	503,6	706,0	62,0
declividade (%)	124,9	0,0	27,9	16,5
perfil de curvatura	6,3	-4,7	0,021	0,5
Curvatura	8,9	-9,5	0,017	0,7
curvatura plana	4,6	-4,5	0,037	0,3
sentido de escoamento	128,0	1,0	35,5	44,4
escoamento acumulado	192.326,0	0,0	213,8	4.215,0
altimetria relativa (m)	505,8	0,0	149,8	54,0
distância euclidiana (m)	1.381,6	0,0	125,1	94,1
aspecto (graus)	360,0	0,0	169,7	105,8
precipitação (mm/ano)	1.461,7	1.247,8	1.375,6	45,9

O atributo de aspecto da vertente pode ser discutido em relação ao agrupamento de células, com as faces classificadas como Norte (315 a 45°), Leste (45 a 135°), Sul (135 a 225°) e Oeste (225 a 315°). Desta forma, o Quadro 14 mostra a distribuição em termos de área para cada uma das faces; nele se observa uma tendência de as vertentes estarem mais direcionadas para Norte, Leste e Sul, nesta ordem, e menos direcionadas para Oeste.

Quadro 14. Distribuição percentual e das áreas de faces Norte, Leste, Sul e Oeste, para a unidade de paisagem dos Latossolos.

Aspecto	Área (ha)	%
Norte	7.276	28
Leste	6.653	26
Sul	6.866	26
Oeste	5.223	20

O tema de escoamento acumulado, apesar de apresentar valores entre 0 e 192.000, possui a maior parte de seus dados (98%) dentro de uma faixa menor, variando de 0 a 500, conforme pode ser observado pela distribuição apresentada no Quadro 15.

Quadro 15. Distribuição das classes de valores do tema de escoamento acumulado para a unidade de paisagem dos Latossolos.

Classe	Área (ha)	%
0 a 100	25.092	96,4
100 a 200	206	0,8
200 a 300	123	0,5
300 a 400	88	0,3
400 a 500	60	0,2
500 a 600	45	0,2
> 600	424	1,6

Com respeito à distribuição de valores de alguns dos atributos numéricos, podemos observar a Figura 34, com os histogramas dos temas pertinentes à unidade de paisagem dos Latossolos.

Pelos histogramas desta figura, pode-se verificar uma distribuição próxima da normalidade para os temas de altimetria, curvatura, perfil de curvatura, curvatura plana e altimetria relativa. Já em relação aos temas de declividade e da distância euclidiana, a distribuição não é normal, inerente à própria concepção do tema. O tema de aspecto apresenta características de uma distribuição irregular, observando-se três picos mais expressivos.

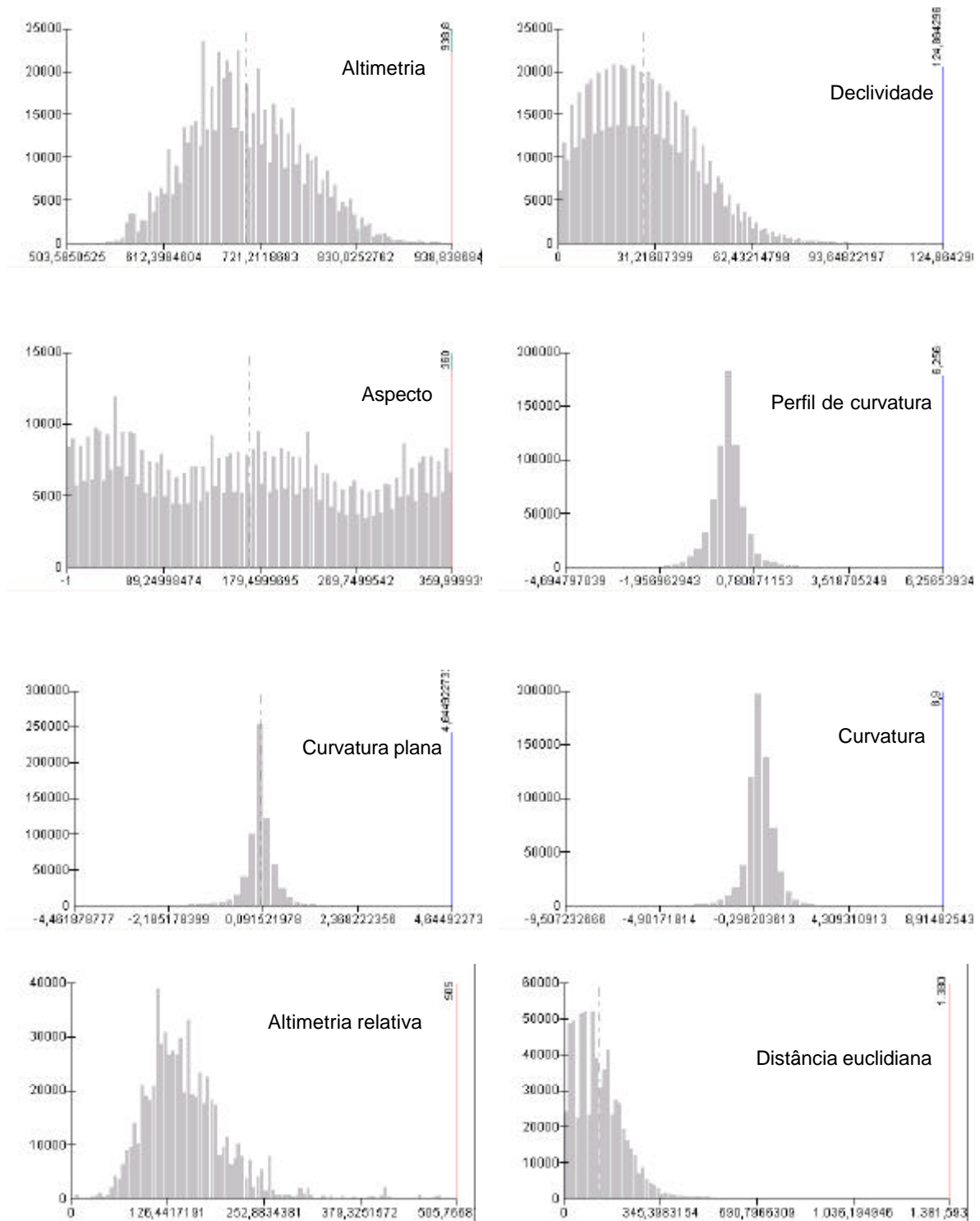


Figura 34. Histogramas de distribuição dos valores numéricos dos temas envolvidos e pertencentes à unidade de paisagem de domínio dos Latossolos.

### **5.6.2. Padrão geomórfico da paisagem do domínio dos Argissolos.**

A análise do cruzamento do tema de litologia com o de paisagens mostrou que esta paisagem está associada a gnaisses (58,3%) e granulitos (41,7%), relativamente à área total desta paisagem, sem associação com os granitos.

Segundo as informações contidas no mapa de geologia (SILVA & CUNHA, 2001), a análise espacial deste tema em relação ao de paisagens, revelou que aproximadamente 42% das terras desta paisagem estão associadas à Suíte Natividade (Neoproterozócio/cambriano), enquanto 32% associam-se à Unidade Itaperuna. Com menor extensão territorial (27% aproximadamente), ocorre nesta paisagem a associação com a Unidade São Fidélis.

O aspecto geral desta paisagem pode ser visualizado nas Figuras 35 e 36, onde se observa a erosão laminar e em sulcos, que é a forma mais comum de degradação nesta paisagem.



Figura 35. Aspecto da degradação em forma de processos erosivos das terras da unidade de paisagem de domínio dos Argissolos.



Figura 36. Aspecto dos processos erosivos de degradação das terras da unidade de paisagem de domínio dos Argissolos.

A distribuição e os valores estatísticos dos atributos numéricos são apresentados a seguir, para os temas envolvidos: altimetria (m), declividade (%), aspecto (graus), curvatura, perfil de curvatura, curvatura plana, sentido do escoamento, escoamento acumulado, altimetria relativa (m), distância euclidiana (m) e precipitação (mm/ano)

O Quadro a seguir, apresenta o resultado dos valores estatísticos pertinentes de cada atributo para a unidade de paisagem dos Argissolos.

Quadro 16. Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões dos temas de atributos numéricos relativos à unidade de paisagem dos Argissolos.

Tema	máximo	Mínimo	média	desvio padrão
altimetria (m)	1.136,0	197,7	481,5	159,2
declividade (%)	131,4	0,0	34,6	18,0
perfil de curvatura	6,7	-3,9	0,037	0,5
curvatura	7,1	-8,9	-0,009	0,7
curvatura plana	4,9	-3,6	0,028	0,4
sentido de escoamento	128.000,0	1,0	25,4	37,2
escoamento acumulado	235.288,0	0,0	334,3	5.428,2
altimetria relativa (m)	626,9	0,0	262,5	111,6
distância euclidiana (m)	863,5	0,0	131,1	98,9
aspecto (graus)	360,0	0,0	184,7	94,8
precipitação (mm/ano)	1.413,1	1.241,8	1.341,1	39,5

A direção para qual a face da vertente está voltada ou o aspecto, pode ser avaliado em relação ao agrupamento de células, com as faces classificadas como Norte (315 a 45°), Leste (45 a 135°), Sul (135 a 225°) e Oeste (225 a 315°). Desta forma, o Quadro 17 apresenta a porcentagem de área de cada classe de aspecto visando um entendimento e comparação com as outras unidades de paisagem.

Quadro 17. Distribuição percentual e de áreas das faces Norte, Leste, Sul e Oeste, para a unidade de paisagem dos Argissolos

Classe	Área (ha)	%
Norte	2.734	18
Leste	3.481	23
Sul	4.664	31
Oeste	4.239	28

Quanto ao tema de escoamento acumulado, assim como na unidade de paisagem dos Latossolos, seus valores possuem uma grande variação, dentro da faixa de 0 a 235.288; entretanto, a maior parte de seus valores (97,6%) encontra-se na faixa de 0 a 500, como pode ser observado pela distribuição apresentada no Quadro 18.

Quadro 18. Distribuição de área e percentual de faixas de valores do tema de escoamento superficial acumulado.

Valor	Área (ha)	%
0 a 100	14.851	95,7
100 a 200	137	0,9
200 a 300	78	0,5
300 a 400	51	0,3
400 a 500	37	0,2
500 a 600	29	0,2
> 600	334	2,2

A distribuição dos valores de alguns dos atributos numéricos pode ser observada na Figura 37 que contém os histogramas dos temas pertinentes à unidade de paisagem dos Argissolos. Pelos histogramas pode-se verificar uma distribuição próxima da normalidade para os temas de curvatura, perfil de curvatura e curvatura plana. Já em relação aos demais temas, ou seja, declividade, distância euclidiana, altimetria, altimetria relativa e aspecto, estes não possuem uma distribuição normal, o que em certos casos é inerente à própria concepção do tema.

### **5.6.3. Padrão geomórfico da paisagem do domínio dos Gleissolos.**

Segundo mapa de geologia (SILVA & CUNHA, 2001), aproximadamente 51% do total de terras desta paisagem estão associados à Unidade Itaperuna, 43% associam-se à Suíte Natividade e 6% à Unidade São Fidélis.

Este tipo de paisagem está associado predominantemente à feição de pequenas planícies contidas no final da encosta aluvial, conforme pode ser observado no modelo da Figura 01 e nas Figuras 38 e 39.

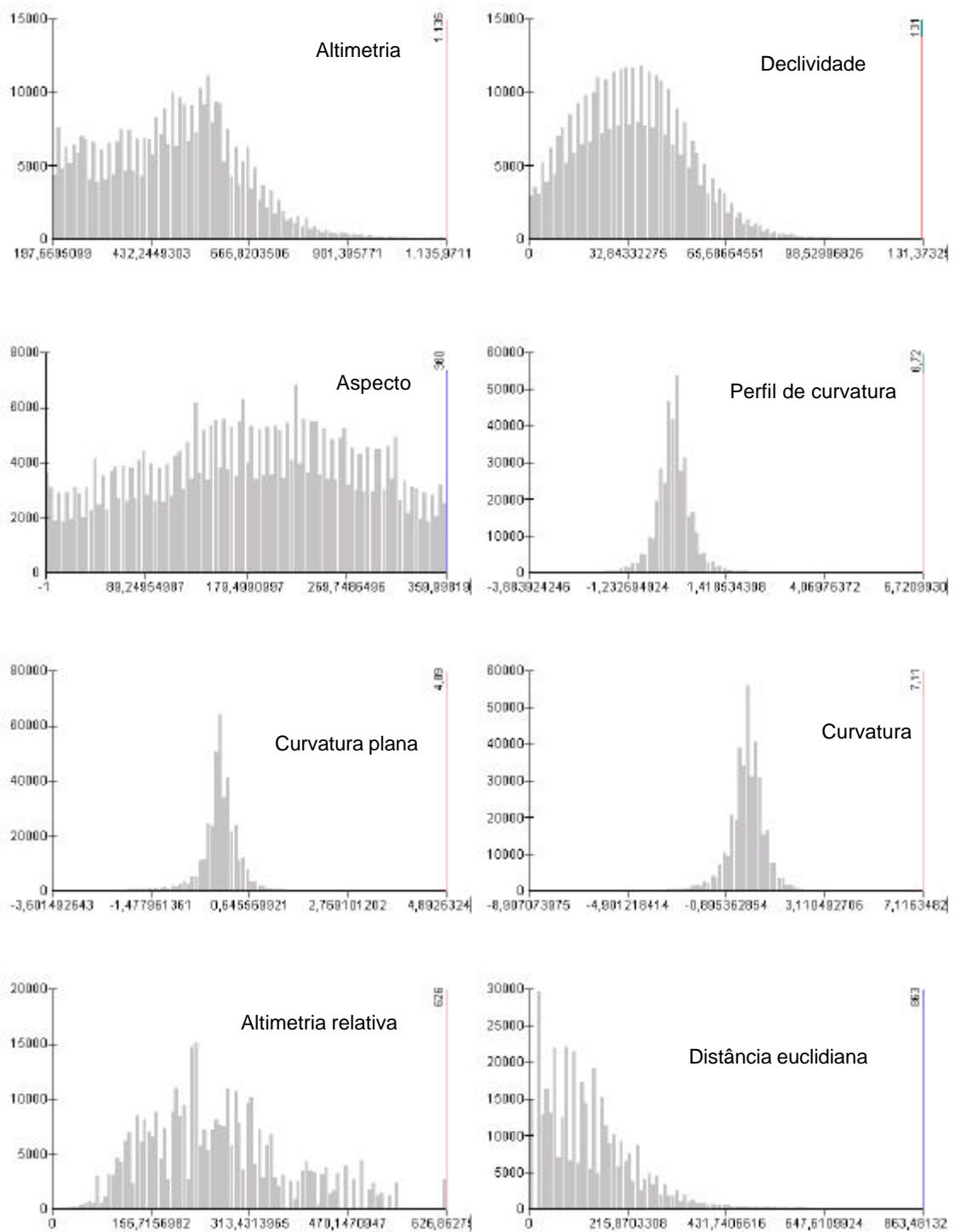


Figura 37. Histogramas de distribuição dos valores numéricos dos temas envolvidos e pertencentes à unidade de paisagem de domínio dos Argissolos.



Figura 38. Aspecto da unidade de paisagem dos Gleissolos associados ao final da encosta aluvial, em primeiro plano, e ao fundo o domínio colinoso da unidade de paisagem dos Latossolos.



Figura 39. Aspecto da unidade de paisagem de domínio dos Gleissolos, em primeiro plano, e dos Argissolos ao fundo.

Com relação aos atributos geomorfométricos desta unidade de paisagem, o Quadro 19 apresenta o resultado dos valores estatísticos pertinentes a cada um.

Quadro 19. Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões dos temas de atributos numéricos relativos à unidade de paisagem dos Gleissolos.

Tema	máximo	Mínimo	média	desvio padrão
altimetria (m)	795,1	197,7	579,7	160,0
declividade (%)	83,1	0,0	10,9	10,7
perfil de curvatura	5,1	-2,4	0,176	0,4
curvatura	5,6	-7,9	-0,169	0,5
curvatura plana	3,2	-3,3	0,007	0,2
sentido de escoamento	128,0	1,0	33,5	42,6
escoamento acumulado	241.766,0	0,0	3.145,3	17.748,8
altimetria relativa (m)	626,9	0,0	139,4	71,2
distância euclidiana (m)	506,4	0,0	51,9	47,8
aspecto (graus)	360,0	0,0	165,0	109,9
precipitação (mm/ano)	1.455,5	1.260,6	1.379,3	47,2

A avaliação da direção para a qual a face da vertente está voltada ou o aspecto, pode ser feita em relação ao agrupamento de células, com as faces classificadas como Norte (315 a 45°), Leste (45 a 135°), Sul (135 a 225°) e Oeste (225 a 315°). O Quadro 20 apresenta a porcentagem de área de cada classe de aspecto visando um melhor entendimento deste atributo e comparação com as outras unidades de paisagem. Pode-se observar que 30,8% da área desta unidade de paisagem está com sua face voltada para Norte, seguido pela face voltada para Leste com 28,3%. As faces Sul e Oeste possuem menor representatividade em termos de área.

Quadro 20. Distribuição percentual e de áreas das faces Norte, Leste, Sul e Oeste, para a unidade de paisagem dos Gleissolos.

Aspecto	Área (ha)	%
Norte	907	30,8
Leste	831	28,3
Sul	633	21,5
Oeste	569	19,4

Com relação ao atributo de escoamento acumulado, assim como na unidade de paisagem dos latossolos, seus valores possuem uma grande amplitude, dentro da faixa de 0 a 241.766. A maior parte de seus valores (87,2%) encontra-se na faixa de 0 a 100, como pode ser observado pela distribuição apresentada no Quadro 21. Contudo, observa-se também que 10,3% de sua área possuem valores de escoamento acumulado maiores que 600, fato condizente com o tipo de paisagem de solos hidromórficos, que ocorrem principalmente nas várzeas, no final das vertentes.

Quadro 21. Distribuição de área e percentual de faixas de valores do atributo de escoamento superficial acumulado para a unidade de paisagem dos Gleissolos.

Valor	Área (ha)	%
0 a 100	2.565	87,2
100 a 200	26	0,9
200 a 300	12	0,4
300 a 400	13	0,4
400 a 500	13	0,4
500 a 600	9	0,3
> 600	303	10,3

Os histogramas representando a distribuição dos valores de alguns dos atributos numéricos desta unidade de paisagem podem ser observados na Figura 40. Pelos histogramas pode-se verificar uma distribuição próxima da normalidade para os temas de curvatura, perfil de curvatura e curvatura plana. Já em relação aos demais temas, ou seja, declividade, distância euclidiana, altimetria, altimetria relativa e aspecto, constata-se que não possuem uma distribuição normal, o que em certos casos é inerente à própria concepção do tema.

#### **5.6.4. Padrão geomórfico da paisagem do domínio dos Cambissolos.**

Os resultados obtidos do cruzamento do tema de litologia com o de paisagens mostraram que, em relação à área total desta paisagem, existe uma associação de 63% com as rochas de gnaisses e de 37% com os granulitos. Por se tratar de uma paisagem constituída por solos mais rasos e, apesar da limitação da escala do mapa de litologia, estas rochas, por estarem profundamente alteradas, devem provavelmente ter uma influência marcante no que se refere a alguns aspectos, como, por exemplo, a baixa fertilidade natural.

Desconsiderando a restrição imposta pela incompatibilidade de escalas e do nível de informação, segundo o resultado da análise espacial do tema de geologia (SILVA & CUNHA, 2001) em relação ao de paisagens, 47% das terras pertencentes a esta paisagem estão associados à Unidade Itaperuna, seguidos por 29% associados a Suíte Natividade e 24% associados a Unidade São Fidélis.

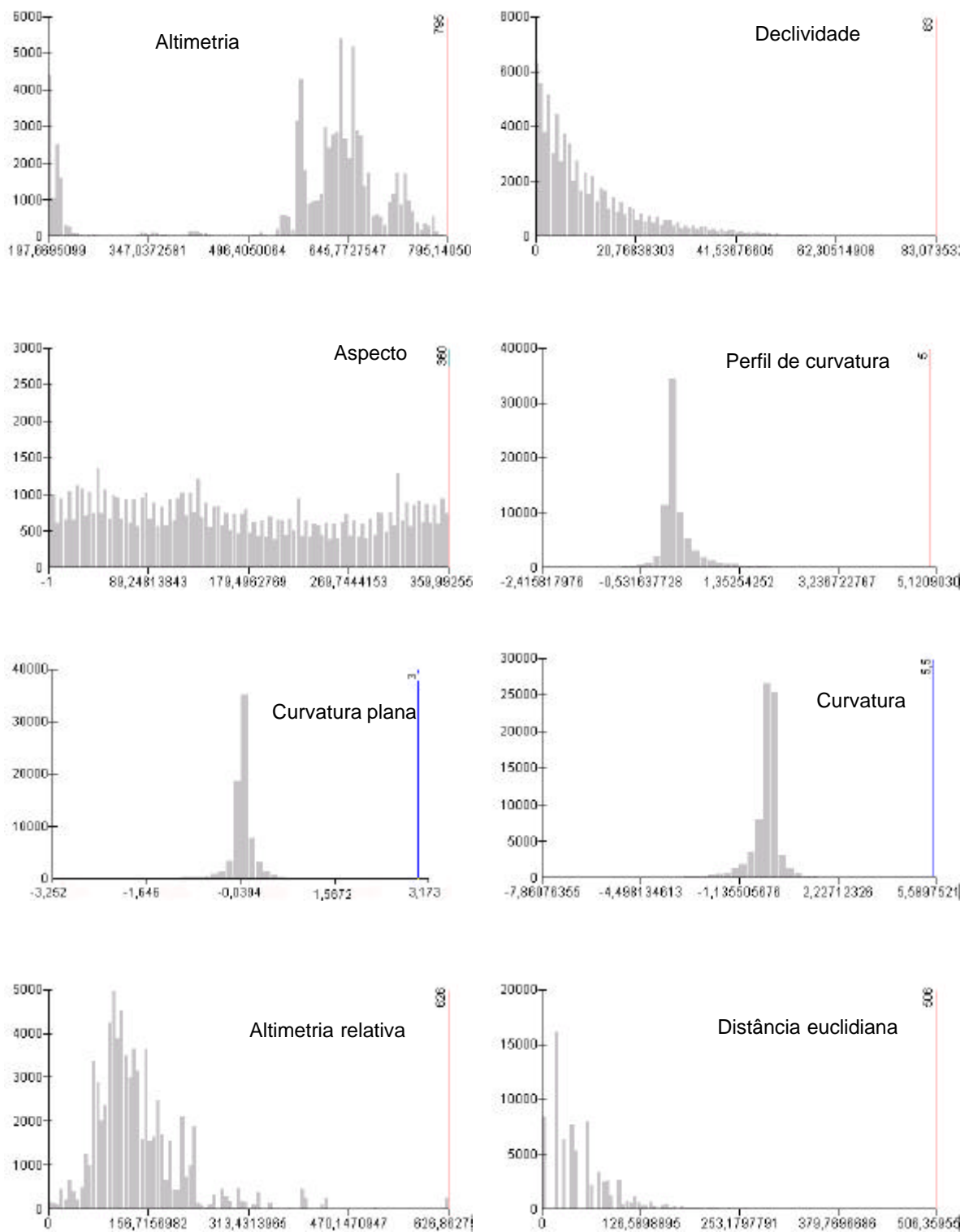


Figura 40. Histogramas de distribuição dos valores numéricos dos temas envolvidos e pertencentes à unidade de paisagem do domínio dos Gleissolos.

A unidade de paisagem dos cambissolos ocorre em áreas de relevo mais movimentado, conforme pode ser observada na Figura 41 a seguir, onde aparecem formas serranas e colinosas.



Figura 41. Aspecto da unidade de paisagem de domínio dos Cambissolos, em relevo forte ondulado e montanhoso.

Com relação aos atributos geomorfométricos desta unidade de paisagem, o Quadro 22 apresenta o resultado dos valores estatísticos pertinentes a cada um.

Quadro 22. Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões dos temas de atributos numéricos relativos à unidade de paisagem dos Cambissolos.

Tema	máximo	Mínimo	média	desvio padrão
altimetria (m)	1.017,9	435,8	747,5	104,2
declividade (%)	111,0	0,2	39,5	17,2
perfil de curvatura	4,6	-2,7	-0,018	0,5
curvatura	4,7	-7,0	0,049	0,8
curvatura plana	2,8	-3,3	0,030	0,4
sentido de escoamento	128,0	1,0	27,7	39,4
escoamento acumulado	14.724,0	0,0	23,6	184,1
altimetria relativa (m)	549,8	59,7	260,6	65,9
distância euclidiana (m)	440,0	0,0	132,9	84,0
aspecto (graus)	360,0	0,0	182,3	95,8
precipitação (mm/ano)	1.407,9	1.262,9	1.343,2	22,4

A avaliação da direção para qual a face da vertente está voltada ou o aspecto pode ser feita em relação ao agrupamento de células, com as faces classificadas como Norte (315 a 45°), Leste (45 a 135°), Sul (135 a 225°) e Oeste (225 a 315°). Pela observação dos resultados apresentados no Quadro 23, pode-se verificar que 32,2% da área desta unidade de paisagem estão com sua face voltada para Sul, seguidos pela face voltada para Oeste

com 25,3%. As faces Leste e Norte possuem menor representatividade em termos de área, possuindo respectivamente 21,9 e 20,7% do total da área desta unidade de paisagem.

Quadro 23. Distribuição percentual e de áreas das faces Norte, Leste, Sul e Oeste, para a unidade de paisagem dos Cambissolos.

Aspecto	Área (ha)	%
Norte	612	20,7
Leste	647	21,9
Sul	952	32,2
Oeste	749	25,3

Com relação ao atributo de escoamento acumulado, seus valores possuem uma amplitude menor, quando comparados com as unidades de paisagem dos latossolos, argissolos e gleissolos, estando dentro da faixa de 0 a 14.724. De toda forma, a maior parte de seus valores (97,3%) encontra-se na faixa de 0 a 100, como pode ser observado pela distribuição apresentada no Quadro 24. A área com valores maiores que 100 representa apenas 2,7%, o que é condizente com o tipo de paisagem de esta unidade, que se encontra principalmente nas escarpas serranas e encostas mais íngremes.

Quadro 24. Distribuição de área e percentual de faixas de valores do atributo de escoamento superficial acumulado para a unidade de paisagem dos Cambissolos.

Valor	Área (ha)	%
0 a 100	2.880	97,3
100 a 200	25	0,8
200 a 300	14	0,5
300 a 400	10	0,3
400 a 500	6	0,2
500 a 600	4	0,1
> 600	20	0,7

A representação da distribuição dos valores de alguns atributos geomorfométricos desta unidade de paisagem pode ser observada na Figura 42 através dos histogramas correspondentes. Por eles pode-se verificar uma distribuição próxima da normalidade para os temas de declividade, curvatura, perfil de curvatura e curvatura plana. Já em relação aos demais temas, ou seja, distância euclidiana, altimetria, altimetria relativa e aspecto, não possuem uma distribuição normal, o que em certos casos é inerente à própria concepção do tema.

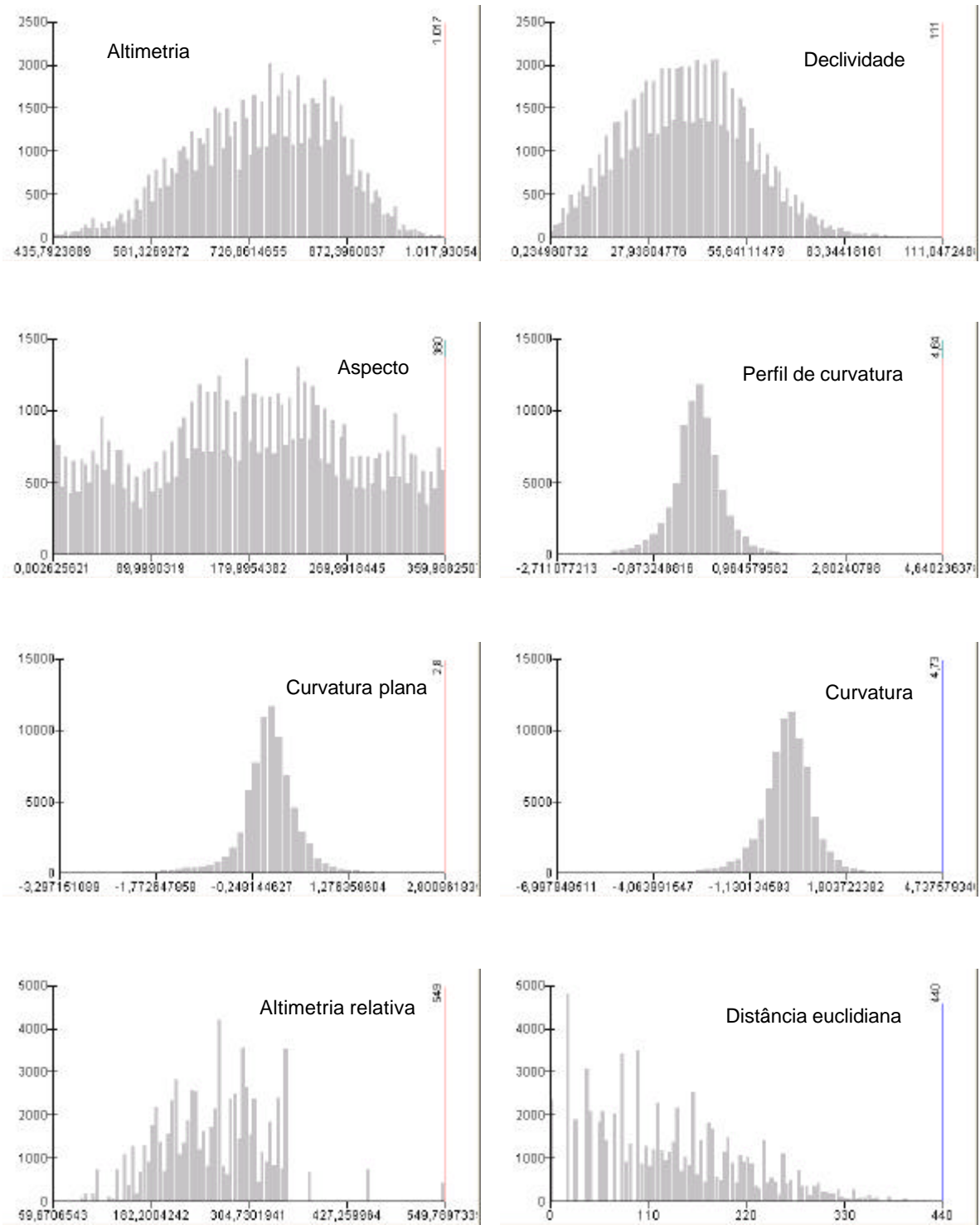


Figura 42. Histogramas de distribuição dos valores numéricos de alguns dos temas envolvidos e pertencentes à unidade de paisagem do domínio dos Cambissolos.

### 5.6.5. Padrão geomórfico da paisagem do domínio dos Afloramentos.

Esta paisagem é composta, segundo o resultado do cruzamento entre os temas de litologia e paisagens, principalmente de granulitos, ocupando aproximadamente 70 % de sua área e, em menor proporção de gnaisses (30% aproximadamente).

Segundo a análise espacial realizada entre os temas de geologia e de paisagens, as terras desta paisagem encontram-se associadas da seguinte forma: 84% pertencem à Suíte Natividade e 16% à Unidade São Fidélis.

O aspecto geral desta unidade de paisagem pode ser observado na Figura 43.



Figura 43. Ao fundo observa-se aspecto da unidade de paisagem do domínio dos Afloramentos de Rocha.

Os atributos geomorfométricos desta unidade de paisagem foram avaliados e os resultados estatísticos podem ser vistos no Quadro 25.

Quadro 25. Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões dos temas de atributos numéricos relativos à unidade de paisagem dos Afloramentos de Rocha.

Tema	máximo	mínimo	média	desvio padrão
altimetria (m)	785,1	284,6	567,0	102,7
declividade (%)	118,7	0,6	53,9	20,0
perfil de curvatura	4,0	-3,2	-0,207	0,6
curvatura	7,9	-4,6	0,407	0,9
curvatura plana	5,0	-2,5	0,201	0,5
sentido de escoamento	128,0	1,0	20,8	31,5
escoamento acumulado	914,0	0,0	5,5	36,2
altimetria relativa (m)	626,9	121,9	380,7	99,6
distância euclidiana (m)	640,0	0,0	221,3	119,4
aspecto (graus)	360,0	0,0	197,5	87,9
precipitação (mm/ano)	1.403,9	1.273,4	1.339,9	44,3

A avaliação da direção para a qual a face da vertente está voltada ou o aspecto, pode ser feita em relação ao agrupamento de células, com as faces classificadas como Norte (315 a 45°), Leste (45 a 135°), Sul (135 a 225°) e Oeste (225 a 315°). Pela observação dos resultados apresentados no Quadro 26, pode-se verificar que 40,0% da área desta unidade de paisagem está com sua face voltada para Oeste, seguido pela face voltada para Sul, que perfaz 27,5% da área. As faces Leste e Norte possuem menor representatividade em termos de área, possuindo respectivamente 20,5 e 12,27% do total da área desta unidade de paisagem.

Quadro 26. Distribuição percentual e de áreas das faces Norte, Leste, Sul e Oeste, para a unidade de paisagem dos Afloramentos de Rocha.

Aspecto	Área (ha)	%
Norte	28	12,2
Leste	47	20,5
Sul	63	27,5
Oeste	92	40,0

Com relação à distribuição dos valores relativos ao atributo de escoamento acumulado, estes possuem uma menor amplitude em relação às outras unidades de paisagem, estando dentro da faixa de 0 a 914. Ainda mais, praticamente todos os seus valores encontram-se dentro da faixa de 0 a 100, como pode ser observado pela distribuição apresentada no Quadro 27 onde as demais classes aparecem com 0%. Apenas a classe de valores acima de 600, entretanto, possui uma área de 0,4 ha, o que percentualmente é insignificante e pelo arredondamento, é transformado em 0%. Este resultado é condizente com o tipo de paisagem desta unidade, que se encontra principalmente nas escarpas serranas degradadas.

Quadro 27. Distribuição de área e percentual de faixas de valores do atributo de escoamento superficial acumulado para a unidade de paisagem dos Afloramentos de Rocha.

Valor	Área (ha)	%
0 a 100	229	100,0
100 a 200	0	0,0
200 a 300	0	0,0
300 a 400	0	0,0
400 a 500	0	0,0
500 a 600	0	0,0
> 600	0,4	0,0

A Figura 44 mostra os histogramas com a distribuição dos valores de alguns atributos geomorfométricos desta unidade de paisagem. Através destes histogramas pode-se verificar uma distribuição próxima da normalidade para os temas de declividade, curvatura, perfil de curvatura e curvatura plana. Já em relação aos demais temas, ou seja, distância euclidiana, altimetria, altimetria relativa e aspecto, não possuem uma distribuição normal, o que em certos casos é inerente à própria concepção do tema.

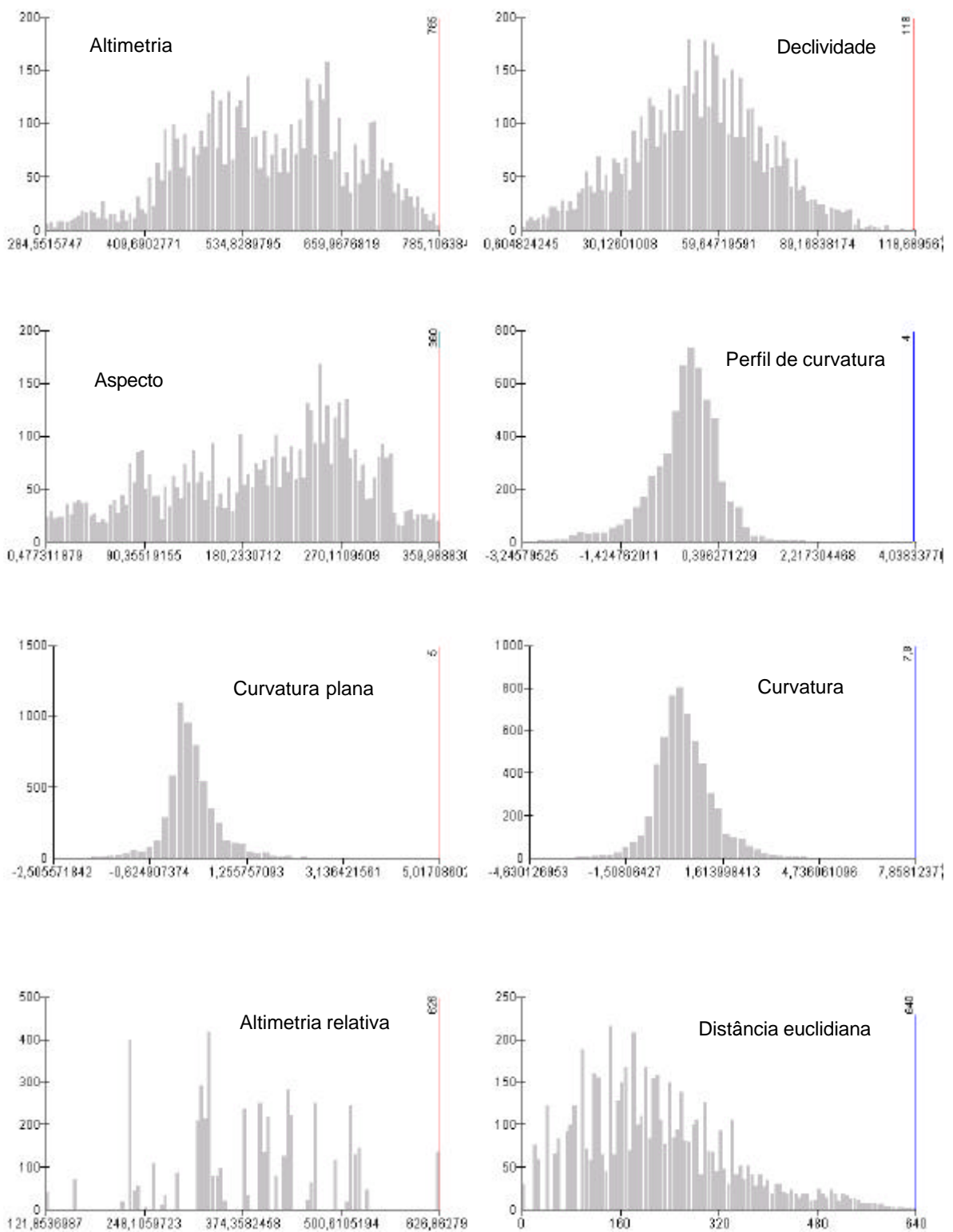


Figura 44. Histogramas de distribuição de valores de alguns dos atributos geomorfométricos da unidade de paisagem dos Afloramentos de Rocha.

## 5.7. Análise conjunta dos padrões geomórficos das unidades de paisagem.

Os valores de média e desvio padrão das variáveis geomorfométricas para cada uma das cinco unidades de paisagem estão listados no Quadro 28 e graficamente representados na Figura 45.

Quadro 28. Média e desvio padrão das variáveis geomorfométricas para cada tipo de paisagem.

	Altimetria (m)		Declive (%)		Per.Curv.		Curvatura		Curv.PI.	
	med.	DP	med.	DP	med.	DP	med.	DP	med.	DP
Paisagem 1	706,0	62,0	27,9	16,5	0,021	0,5	0,017	0,7	0,037	0,3
Paisagem 2	481,5	159,2	34,6	18,0	0,037	0,5	-0,009	0,7	0,028	0,4
Paisagem 3	579,7	160,0	10,9	10,7	0,176	0,4	-0,169	0,5	0,007	0,2
Paisagem 4	747,5	104,2	39,5	17,2	-0,018	0,5	0,049	0,8	0,030	0,4
Paisagem 5	567,0	102,7	53,9	20,0	-0,207	0,6	0,407	0,9	0,201	0,5

-----Continuação-----

	SE		Esc_acum		Alt_Rel (m)		Dist_euc (m)		Aspecto (°)	
	med.	DP	Med.	DP	med.	DP	med.	DP	med.	DP
Paisagem 1	35,5	44,4	213,8	4.215,0	149,8	54,0	125,1	94,1	169,7	105,8
Paisagem 2	25,4	37,2	334,3	5.428,2	262,5	111,6	131,1	98,9	184,7	94,8
Paisagem 3	33,5	42,6	3.145,3	17.748	139,4	71,2	51,9	47,8	165,0	109,9
Paisagem 4	27,7	39,4	23,6	184,1	260,6	65,9	132,9	84,0	182,3	95,8
Paisagem 5	20,8	31,5	5,5	36,2	380,7	99,6	221,3	119,4	197,5	87,9

Onde: Per.Curv. = Perfil de curvatura; Curv.PI. = Curvatura plana; SE = Sentido do escoamento; Esc\_acum = Escoamento acumulado; Alt\_Rel = altimetria relativa; Dist\_euc = distância euclidiana; med. = média; DP = Desvio padrão; Paisagem 1 = Unidade de paisagem do domínio dos latossolos; Paisagem 2 = Unidade de paisagem do domínio dos argissolos; Paisagem 3 = Unidade de paisagem do domínio dos gleissolos; Paisagem 4 = Unidade de paisagem do domínio dos cambissolos; e Paisagem 5 = Unidade de paisagem do domínio dos afloramentos de rocha.

As médias dos valores de altimetria das paisagens mostram que as mesmas ocupam locais topograficamente diferentes, com exceção das paisagens 3 e 5 (respectivamente gleissolos e afloramentos). Entretanto, a unidade de paisagem dos gleissolos possui um desvio padrão para a altimetria maior, indicando que ela ocorre tanto em áreas mais elevadas, quanto em áreas mais rebaixadas. A menor média de declividade também ocorre na paisagem 3, contrastando efetivamente com a paisagem 5, que possui a maior média desta variável.

As variáveis de perfil de curvatura, curvatura plana e curvatura apresentam um comportamento típico, no qual os valores de média mais elevados, tanto positivos quanto negativos, estão associados à unidade de paisagem dos afloramentos de rocha (paisagem 5). O maior valor de média da variável de escoamento acumulado está associado à unidade

de paisagem dos gleissolos (paisagem 3), portanto perfeitamente condizente com o esperado, já comentado no item 3.7.6.

A média da variável do atributo de altimetria relativa (3.7.7) para cada paisagem reflete, de certa forma, o balanço entre as forças que atuam nos processos pedogenéticos e morfogenéticos. Desta forma, os menores valores ocorrem nas paisagens 3 e 1, respectivamente dos gleissolos e latossolos, onde a pedogênese parece atuar de forma mais intensa que a morfogênese.

Considerando agora os maiores valores de altimetria relativa, encontrados para as paisagens 5, 2 e 4, nesta ordem de grandeza, vê-se que a morfogênese atua com grande intensidade nas paisagens dos afloramentos de rocha e dos cambissolos, paisagens 5 e 4 respectivamente, e para a paisagem dos argissolos (paisagem 2), parece estar contribuindo para a degradação de suas terras, conforme pode ser observado nas Figuras 35 e 36.

Na Figura 45 pode-se observar graficamente que, pelas médias das variáveis, existe uma diferença significativa no padrão geomórfico das unidades de paisagem consideradas.

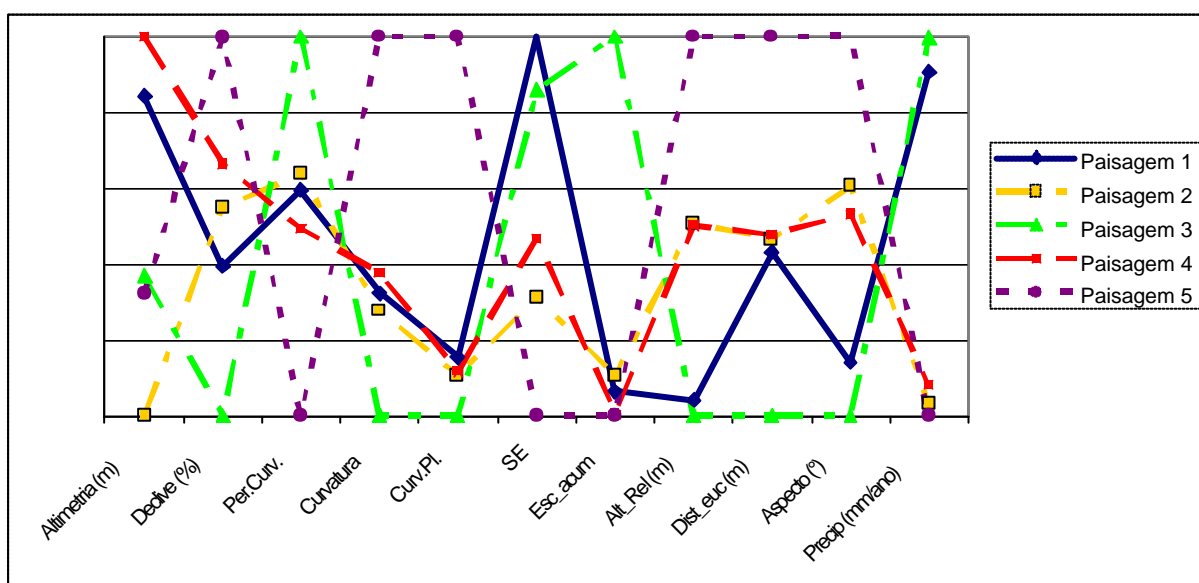


Figura 45. Padrão geomórfico das cinco unidades de paisagem (Os valores para cada média das variáveis foram re-escalados entre 0 e 1, pela proporção da classe com valor máximo de média sendo igual a 1 e com valor mínimo de média igual a 0, com o máximo indicado pelo topo da figura).

Apesar de a média ser uma medida de tendência central e refletir melhor o comportamento para populações que possuam distribuição normal ou próximo da normalidade, o que não é o caso de todos os atributos geomorfométricos utilizados neste estudo, pode-se esperar que, pelo comportamento dos atributos observados na Figura 46, estes irão contribuir, de uma forma ou de outra, para realçar as diferenças existentes entre

as unidades de paisagem e como variáveis de entrada para os classificadores supervisionados, comentados no próximo item.

## **5.8. Classificação supervisionada das paisagens.**

Nesta etapa do trabalho utilizaram-se dois classificadores supervisionados, para fins de comparação. A primeira classificação utilizou um sistema simulador de redes neurais (RNA) denominado de JavaNNS (Java Neural Network Simulator - Version 1.1 - University of Tübingen) e a segunda foi feita pelo algoritmo de máxima verossimilhança (MaxVer). Com o intuito de facilitar a manipulação dos dados para a classificação final das paisagens, foi definido um subconjunto de células de 901 linhas por 457 colunas formando um retângulo, totalizando 441.757 células, ou uma área equivalente aproximadamente a 16.470 ha, que abrange todas as unidades de paisagem definidas.

### **5.8.1. Definição da arquitetura e validação das RNA's.**

A primeira etapa do processo para a classificação pela rede neural artificial (RNA) foi definir a arquitetura ideal da rede para resolver o problema. Esta etapa consiste, como já comentado no item 3.6.1, em inicialmente definir os dados de entrada e as classes de saída.

Os dados de entrada são aqueles atributos das paisagens discutidos no item 5.6, e cada um deles será correspondente a um neurônio da camada de entrada. Assim, foi iniciado o treinamento das redes, tendo na primeira camada da RNA, 11 neurônios correspondentes aos seguintes atributos das paisagens: aspecto, altimetria relativa, curvatura, declividade, sentido do escoamento, escoamento acumulado, distância euclidiana da hidrografia, altimetria, perfil de curvatura, curvatura plana e precipitação.

As classes de saída serão aquelas unidades de paisagem definidas no item 4.2.12, ou seja, do domínio dos latossolos, dos argissolos, dos gleissolos, dos cambissolos e dos afloramentos de rocha. Desta forma, a camada de saída da RNA terá 5 neurônios representando as 5 classes desejadas.

O passo seguinte é a obtenção das amostras de treinamento e validação. Para isso, foi feita uma composição de todos os atributos numa mesma imagem, pela opção "Layer Stack" do ERDAS IMAGINE 8.5 (ERDAS Systems). Previamente todos os atributos foram re-escalados para ficarem com seus valores associados às células na faixa de 0 (zero) a 1 (um), pois a importância dos dados está em sua variação e não em sua magnitude, conforme já discutido no item 3.6.1. Foram colhidas amostras ao acaso, observados seus valores associados para cada atributo e gerado um arquivo de treinamento e outro de validação no formato requerido pelo simulador de redes JavaNNS.

Após treinada a rede com 11 atributos de entrada, verificou-se que o atributo relativo à precipitação estava degradando a resposta da rede, provavelmente por ser um atributo obtido de informações muito generalizadas, aquém do nível de informação obtido pelos demais atributos, além do fato de que este atributo possui uma distribuição contínua e crescente de oeste para leste, diferentemente das demais, que possuem uma distribuição espacial mais dispersa, sem uma ordem contínua de crescimento em seus valores.

Desta forma, optou-se por buscar a ótima arquitetura de uma rede com 10 neurônios na camada de entrada. Procurando verificar o desempenho da classificação das RNA's, foram conduzidas duas formas de se obterem os dados de treino e de validação. No primeiro caso, as amostras de treinamento foram selecionadas de forma bastante criteriosa, procurando-se não pegar padrões que pudessem estar fora das classes determinadas. Por exemplo, para se obter os padrões de treino para a paisagem do domínio dos latossolos, foram colhidos os valores das células da grade nos locais onde existia a maior chance de se encontrar este tipo de solo. Desta forma, células muito próximas ou coincidentes com a drenagem foram excluídas, mantendo-se aquelas relativamente mais afastadas da drenagem. Isto porque aquelas células coincidentes ou muito próximas da drenagem provavelmente não representam o domínio dos latossolos, e sim o domínio dos gleissolos.

No segundo caso, as amostras de treinamento foram colhidas de forma relativamente mais aleatória, e neste caso, para a paisagem do domínio dos latossolos, por exemplo, foram colhidos os valores de todas as células, independente de estarem ou não muito próximas ou coincidentes com a drenagem.

Os padrões para validação das redes foram obtidos de forma totalmente aleatória, sem preocupação com sua localização relativa à drenagem. O Quadro 29 apresenta o número de padrões de treino e validação obtidos de forma mais criteriosa ou mais aleatória.

Quadro 29. Número de padrões de treinamento e validação para cada unidade de paisagem obtidos de forma criteriosa e aleatória.

Paisagens	Número de padrões e forma de obtenção			
	Aleatória		Criteriosa	
	treino	validação	treino	validação
P1 – Latossolos	272	272	350	359
P2 – Argissolos	257	250	332	350
P3 – Gleissolos	250	246	280	300
P4 – Cambissolos	350	315	300	345
P5 – Afloramentos de rocha	125	126	135	130

Vale ressaltar que nesta fase existe uma grande manipulação de formas, formatos e tipos de arquivos, e que para se chegar aos arquivos de treino e validação no formato requerido pelo simulador de RNA JavaNNS (2001) devem-se tomar alguns cuidados e verificar sempre a consistência dos dados, e observar se os arquivos resultantes estão dentro do desejado.

Para a verificação da exatidão das respostas dos classificadores, um dos parâmetros mais utilizados e eficientes na determinação da exatidão é o índice kappa, obtido mediante a adoção de uma referência para a comparação das classificações (mapeamentos) produzidas. Neste caso, a análise da exatidão das classificações é obtida através das matrizes de confusão ou matrizes de erro, sendo posteriormente calculado o índice de Kappa de concordância (MANGABEIRA *et al.*, 2003).

#### **5.8.1.1. Padrões coletados criteriosamente.**

Depois de gerados os arquivos de treino e validação no formato requerido pelo JavaNNS, foram realizados os treinamentos com várias arquiteturas de RNA's, buscando-se aquela que apresente o menor SSE (Sum of Squared Errors) e que também seja a de menor número de neurônios na camada oculta. Desta forma, para aqueles padrões de treino obtidos de forma criteriosa foram treinadas seqüencialmente 7 arquiteturas de RNA's, sendo todas com 10 neurônios de entrada e 5 de saída. Optou-se por utilizar o método construtivo, quando o número de neurônios ocultos cresce a partir de 1 e, observando o comportamento do erro durante 20 mil ciclos de aprendizagem, define-se qual a melhor arquitetura a ser validada. O comportamento do SSE após 20 mil ciclos de treinamento, para as redes com 5 e 7 neurônios na camada oculta foi considerado bom, chegando a 9,18 e 4,0, para as redes com 5 e 7 neurônios respectivamente. Na seqüência, para verificar se o bom desempenho da RNA ocorre também com os padrões de validação, estes foram testados e comparados com o classificador de máxima verossimilhança (maxver).

Desta forma, o arquivo de validação foi apresentado às 2 arquiteturas de RNA e ao classificador maxver, e os resultados das classificações foram comparados com a resposta esperada, gerando para cada RNA e para o maxver uma matriz de confusão, com o índice Kappa e outros valores estatísticos. Estes resultados são apresentados no Quadro 30.

Quadro 30. Matrizes de confusão, índices kappa e outros valores estatísticos da classificação do arquivo de validação pelas RNA's testadas e pelo maxver, em relação ao número de células.

Rede com 5 neurônios na cama oculta							
Class	1	2	3	4	5	TOTAL	Users(%)
1	358	10	16	81	0	465	77.0
2	0	296	3	3	19	321	92.2
3	0	0	281	0	0	281	100.0
4	1	1	0	259	5	266	97.4
5	0	43	0	2	106	151	70.2
TOTAL	359	350	300	345	130	1484	
Produ.	99.7	84.6	93.7	75.1	81.5		

Exatidão global : 87.6  
 Kappa = 0.842  
 VAR = 0.000117  
 Z estatístico = 77.760

Rede com 7 neurônios na camada oculta							
Class	1	2	3	4	5	TOTAL	Users(%)
1	358	12	5	81	0	456	78.5
2	0	305	2	1	22	330	92.4
3	0	0	293	0	0	293	100.0
4	1	4	0	256	9	270	94.8
5	0	29	0	7	99	135	73.3
TOTAL	359	350	300	345	130	1484	
Produ.	99.7	87.1	97.7	74.2	76.2		

Exatidão global : 88.3  
 Kappa = 0.851  
 VAR = 0.000112  
 Z estatístico = 80.584

Máxima Verossimilhança							
Reference data							
Class	1	2	3	4	5	TOTAL	Users
1	282	0	32	49	0	363	77.7
2	49	346	17	40	42	494	70.0
3	0	0	251	0	0	251	100.0
4	28	1	0	256	8	293	87.4
5	0	3	0	0	80	83	96.4
TOTAL	359	350	300	345	130	1484	
Produ.	78.6	98.9	83.7	74.2	61.5		

Exatidão global : 81.9  
 Kappa = 0.767  
 VAR = 0.000163  
 Z estatístico = 59.971

Onde: Class 1 = Paisagem 1; class 2 = Paisagem 2; class 3 = Paisagem 3; class 4 = Paisagem 4, class 5 = Paisagem 5, e VAR = variância.

De maneira geral, observa-se pelo Quadro 31 que a RNA que melhor classificou os padrões de validação foi aquela com 7 neurônios na camada oculta, pois apresentou um valor de exatidão global de 88,3%, com o índice Kappa de 0,851. Analisando os resultados da classificação da amostra de validação da rede com 7 neurônios, podemos observar que o maior acerto (99,7%) é referente à classe 1, ou paisagem do domínio dos latossolos, seguido pela classe 3 (97,7%) do domínio dos gleissolos e pela classe 2 (domínio dos argissolos) com um acerto de 87,1%. Destaca-se ainda que a classificação pelo maxver apresentou o pior valor de exatidão global com 81,9%.

A partir dos resultados apresentados no Quadro 30, elaborou-se a matriz de significância do índice kappa, que pode ser observado no Quadro 31.

Quadro 31. Matriz de significância de Kappa para as RNA's e maxver testadas.

Classificador	r5_t1	r7_t1	maxver
KAPPA	0,842	0,851	0,767
Variância	0,000117	0,000112	0,000163
r5_t2	<b>77,843</b>		
r7_t1	0,595	<b>80,412</b>	
Maxver	4,482	5,065	<b>60,076</b>

Onde: r5\_t1 = rede com 5 neurônios na camada oculta; r7\_t1 = rede com 7 neurônios na camada oculta; e maxver = classificador por máxima verossimilhança.

Neste quadro, que apresenta a matriz de significância de Kappa, os valores em negrito, por serem maiores que 1,96, indicam que todos os classificadores são significativamente melhores que uma classificação randômica ou aleatória, com 5% de significância. Já os outros valores fora da diagonal (também maiores que 1,96) indicam diferenças significativas entre os classificadores, sendo verdade também o inverso, ou seja, valores menores que 1,96 indicam que a classificação entre as redes não foi significativamente diferente. Assim, não houve diferença significativa entre a classificação pelas redes com 5 e 7 neurônios na camada oculta, e as duas redes tiveram resultados significativamente diferentes e melhores que o classificador maxver.

Desta forma, foi definida que a classificação será feita pelas RNA's com 5 e 7 neurônios na camada oculta, 10 na camada de entrada e 5 na de saída, o que pode ser esquematicamente visualizado na Figura 46, e pelo maxver, para fins de comparação.

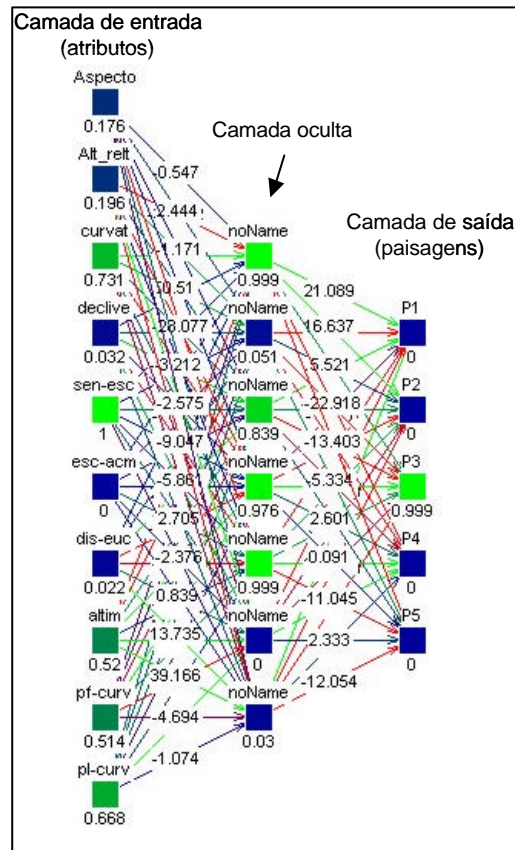


Figura 46. Representação gráfica da RNA com 10, 7 e 5 neurônios nas camadas de entrada, oculta e de saída (respectivamente) e suas ligações.

### 5.8.1.2. Padrões coletados aleatoriamente.

Buscando-se a melhor arquitetura da RNA para resolver o problema da classificação das paisagens utilizando-se padrões de treino coletados de forma aleatória, da mesma forma que a anterior, utilizou-se o método construtivo de redes, adicionando-se neurônios à camada oculta e observando-se a evolução do SSE durante o aprendizado da rede. Desta forma, a partir da adição do 11º neurônio a rede começou a convergir para um SSE considerado aceitável. A Figura 47 apresenta a evolução do SSE na medida em que se aumenta o número de neurônios da camada oculta, considerando-se dois treinamentos, ou aprendizagens, para cada arquitetura iniciando-se os mesmos em superfícies de erro diferentes, ou seja, cada treinamento foi iniciado com pesos das ligações diferentes e obtidos de forma aleatória.

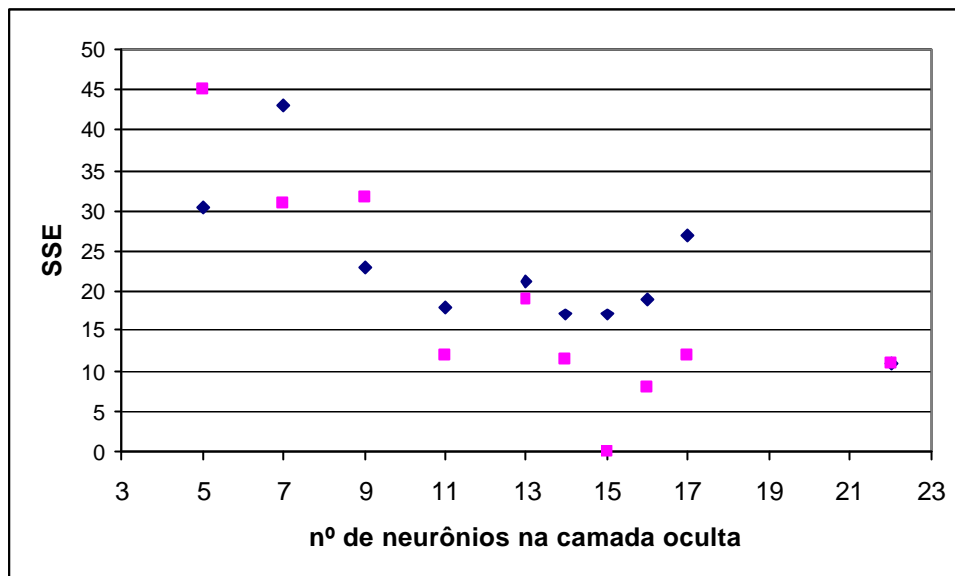


Figura 47. Erro (SSE) com o aumento do número de neurônios na camada oculta, onde a cor azul representa o 1º treinamento e a rosa representa o 2º.

Observa-se que no 2º treinamento da rede com 15 neurônios, o erro convergiu para zero, provavelmente indicando que esta rede esteja memorizando os padrões e não conseguindo generalizar, já que nenhuma outra arquitetura ou treinamento chegou a este valor. Após esta fase, foi decidido realizar a validação das seguintes arquiteturas de rede: r11\_t1, r11\_t2, r13\_t2, r14\_t1, r14\_t2, r15\_t1, r15\_t2, r16\_t1, r16\_t2, r17\_t2, r22\_t1 e r22\_t2, onde os nomes estão codificados e significam, por exemplo, para a rede r16\_t2 que são 16 neurônios na camada oculta (r16) e o segundo treinamento (t2).

Os resultados da matriz de confusão e outros valores estatísticos da validação das redes citadas são apresentados no Anexo 2, e a partir destas matrizes de confusão foi gerada a matriz de significância de Kappa para as RNA's e maxver, que é apresentada no Quadro 32, a seguir.

Os valores na diagonal em negrito, observados no Quadro 32, indicam que todos os classificadores obtiveram um resultado melhor que uma classificação randômica e os 6 melhores classificadores, em ordem decrescente, foram r22\_t1, r16\_t2, r17\_t2, r22\_t2, r11\_t1 e r15\_t1. De maneira geral, o classificador maxver foi o que apresentou o pior resultado, sendo significativamente diferente dos demais. Excetuando-se os valores da diagonal (em negrito) já comentados, aqueles realçados em negrito e itálico indicam haver diferença significativa entre os classificadores. Assim, por exemplo, a rede r14\_t1 obteve um resultado da avaliação significativamente diferente das redes r16\_t2, r17\_t2 e r22\_t1.

Após esta avaliação definiu-se que serão utilizadas as redes r22\_t1, r16\_t2 e r17\_t2, r22\_t2, r11\_t1 e r15\_t1 para realizar a classificação das paisagens da área de estudo, além do maxver, que mesmo apresentando um resultado pior que os demais, será avaliado na classificação de toda a área de estudo.

Quadro 32. Matriz de significância do índice kappa para a validação dos classificadores testados.

Classificador	r11_t1	r11_t2	r13_t2	R14_t1	r14_t2	r15_t1	r15_t2	r16_t1	r16_t2	R17_t2	r22_t1	r22_t2	maxver
Kappa	0,821	0,799	0,818	0,786	0,79	0,821	0,808	0,811	0,833	0,826	0,837	0,822	0,703
Variancia	0,000163	0,00018	0,000164	0,00019	0,000186	0,000164	0,000171	0,000171	0,000153	0,000159	0,000151	0,000163	0,000237
r11_t1	<b>64,306</b>												
r11_t2	1,188	<b>59,554</b>											
r13_t2	0,166	1,024	<b>63,875</b>										
r14_t1	1,863	0,676	1,701	<b>57,022</b>									
r14_t2	1,659	0,47	1,497	0,206	<b>57,926</b>								
r15_t1	0	1,186	0,166	1,86	1,657	<b>64,109</b>							
r15_t2	0,711	0,48	0,546	1,158	0,953	0,71	<b>61,789</b>						
r16_t1	0,547	0,641	0,382	1,316	1,111	0,546	0,162	<b>62,019</b>					
r16_t2	0,675	1,863	0,842	<b>2,538</b>	<b>2,335</b>	0,674	1,389	1,222	<b>67,344</b>				
r17_t2	0,279	1,466	0,445	<b>2,141</b>	1,938	0,278	0,991	0,826	0,396	<b>65,506</b>			
r22_t1	0,903	<b>2,089</b>	1,071	<b>2,762</b>	<b>2,56</b>	0,901	1,616	1,449	0,229	0,625	<b>68,114</b>		
r22_t2	0,055	1,242	0,221	1,916	1,713	0,055	0,766	0,602	0,619	0,223	0,846	<b>64,384</b>	
maxver	<b>5.900</b>	<b>4.701</b>	<b>5.743</b>	<b>4.017</b>	<b>4.230</b>	<b>5.893</b>	<b>5.198</b>	<b>5.347</b>	<b>6.583</b>	<b>6.181</b>	<b>6.803</b>	<b>5.950</b>	<b>45.665</b>

### 5.8.2. A classificação pelas RNA's e pelo Maxver.

Procurando-se avaliar as classificações geradas pelas RNA's e pelo Maxver, discutidos nos dois itens anteriores, após a classificação de um subconjunto da área de estudo englobando um retângulo de 901 x 457 células, foram elaboradas as matrizes de confusão e calculados a exatidão global e o índice Kappa para cada uma delas, que podem ser observadas no Anexo 3. No Quadro 33 é apresentado um resumo do resultado das classificações, a fim de comparar os valores de exatidão global e do índice Kappa de cada uma das classificações, no qual observa-se que os melhores resultados foram obtidos pelas RNA's r5\_p\_criterioso e r16\_p\_aleatório e, em se comparando as classificações por máxima verossimilhança, pelo classificador maxver\_criterioso, que possuem exatidão global de 70,0, 69,6 e 65,9 % e índice kappa de 0,55, 0,55 e 0,49, respectivamente.

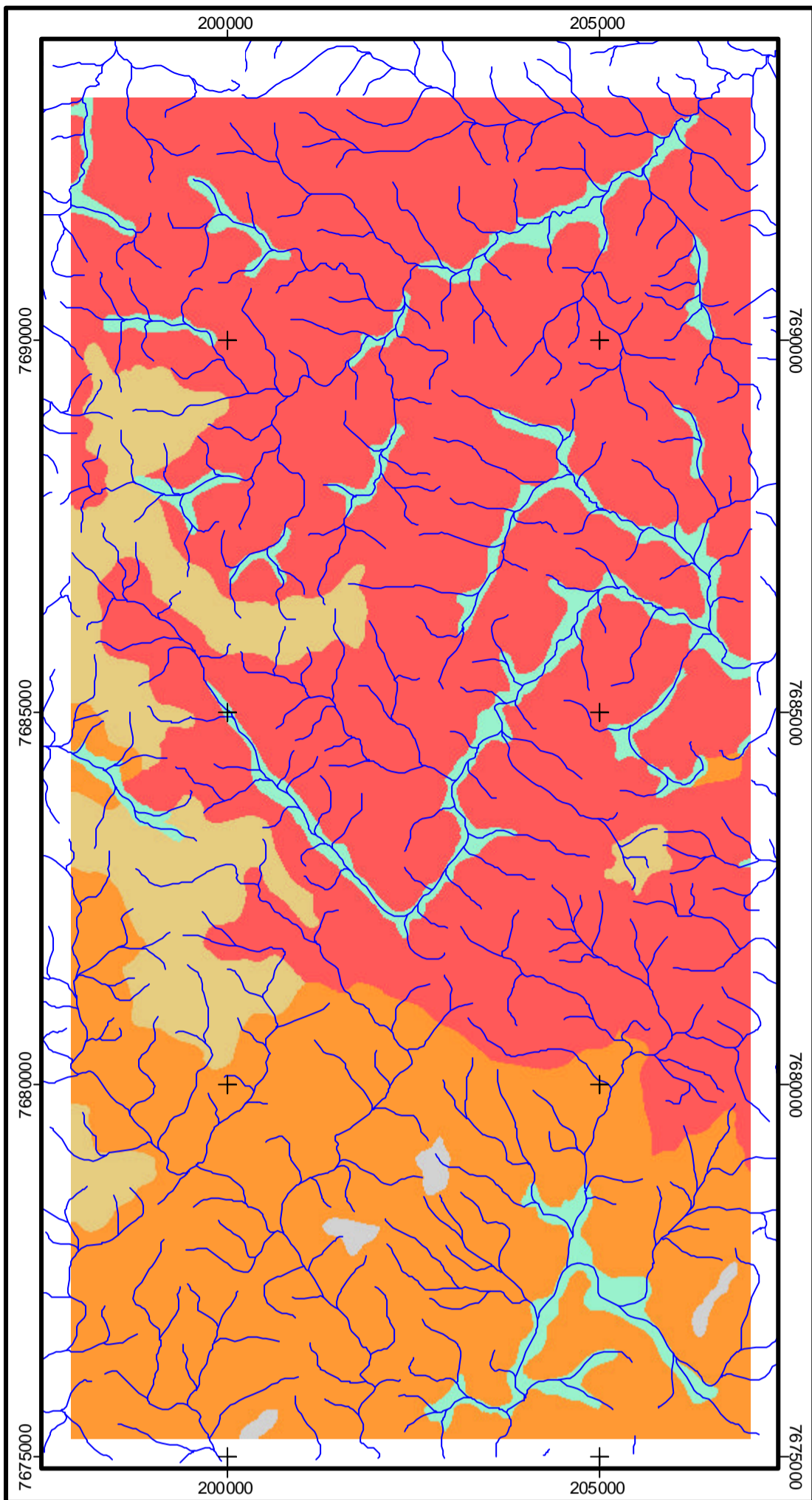
Quadro 33. Exatidão global e índice kappa do resultado da classificação da área de estudo pelos classificadores selecionados.

Classificador	Número de neurônios na camada oculta	Exatidão global	Índice kappa
RNA_p_criterioso	7	68,5	0,54
RNA_p_criterioso	5	70,0	0,55
maxver_criterioso	--	65,9	0,49
RNA_p_aleatório	11	67,7	0,52
RNA_p_aleatório	15	66,1	0,51
RNA_p_aleatório	16	69,6	0,55
RNA_p_aleatório	17	66,3	0,51
RNA_p_aleatório(1)	22	69,1	0,54
RNA_p_aleatório(2)	22	68,1	0,53
maxver_aleatório	--	62,1	0,46

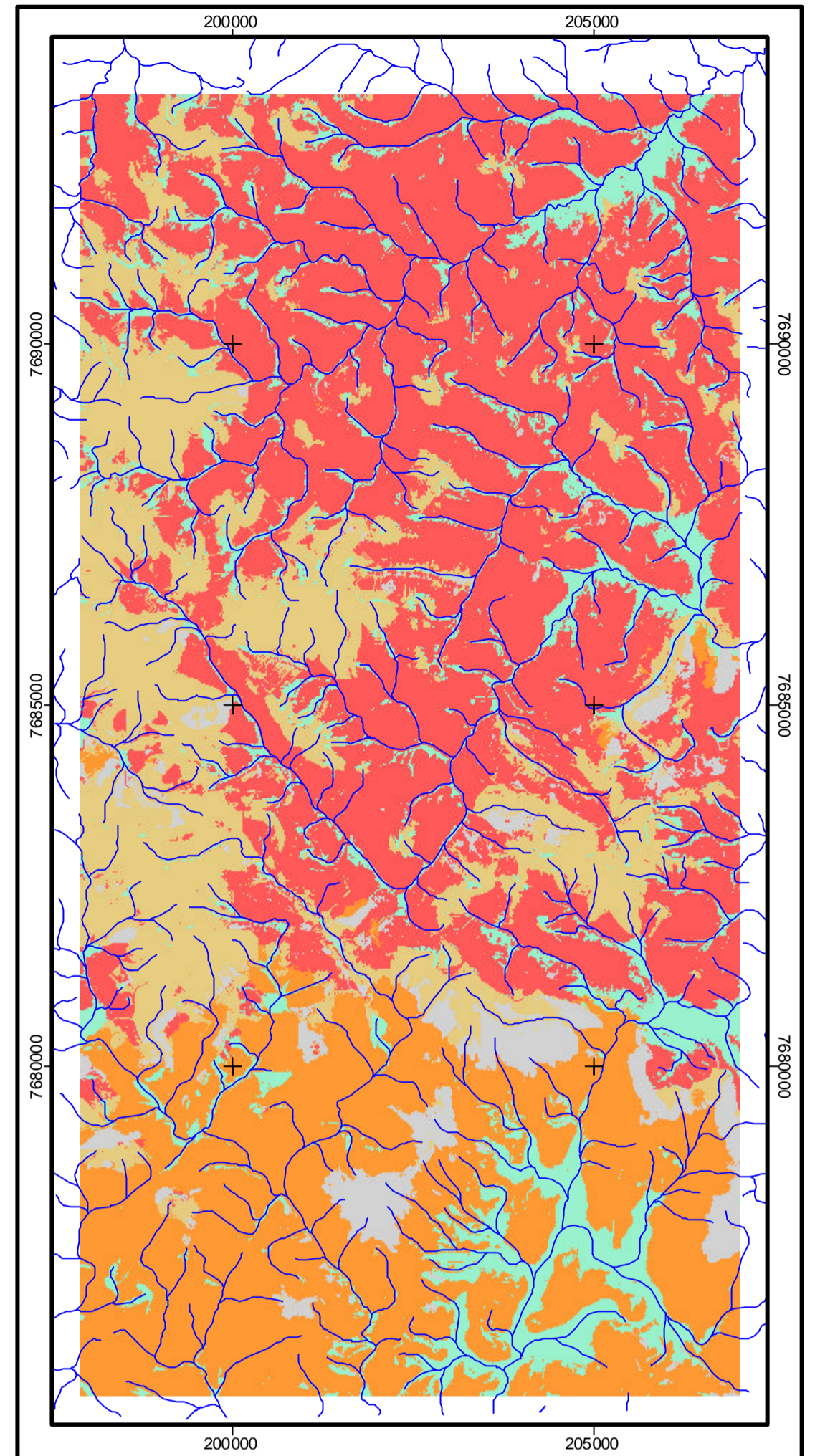
Onde: RNA\_p\_criterioso = rede neural artificial treinada com padrões coletados de maneira criteriosa; maxver\_criterioso = classificador por máxima verossimilhança e padrões de treino coletados criteriosamente; RNA\_p\_aleatório (2) = rede neural artificial treinada com padrões coletados de maneira aleatória – segundo treinamento; e maxver\_aleatório = classificador por máxima verossimilhança e padrões de treino coletados aleatoriamente.

Os mapas com os resultados das três melhores classificações são apresentados na Figura 48, bem como o mapa de paisagens, que serviu de referência, e a partir deles é feita uma discussão sobre os erros de inclusão e de omissão.

Mapa de paisagens de referência.  
Escala 1:75.000



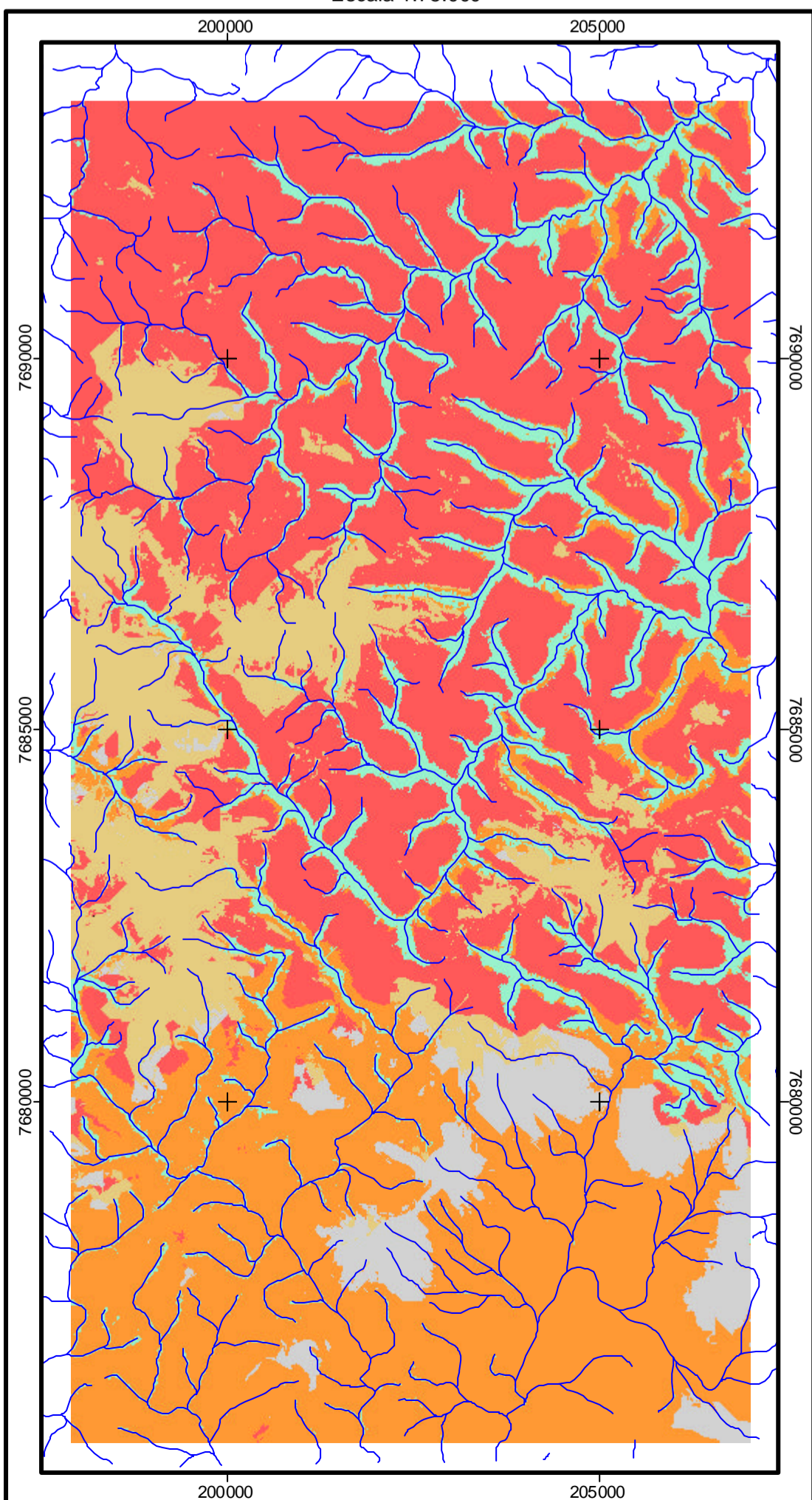
Mapa da classificação pela RNA com 16 neurônios e padrões aleatórios  
Escala 1:75.000



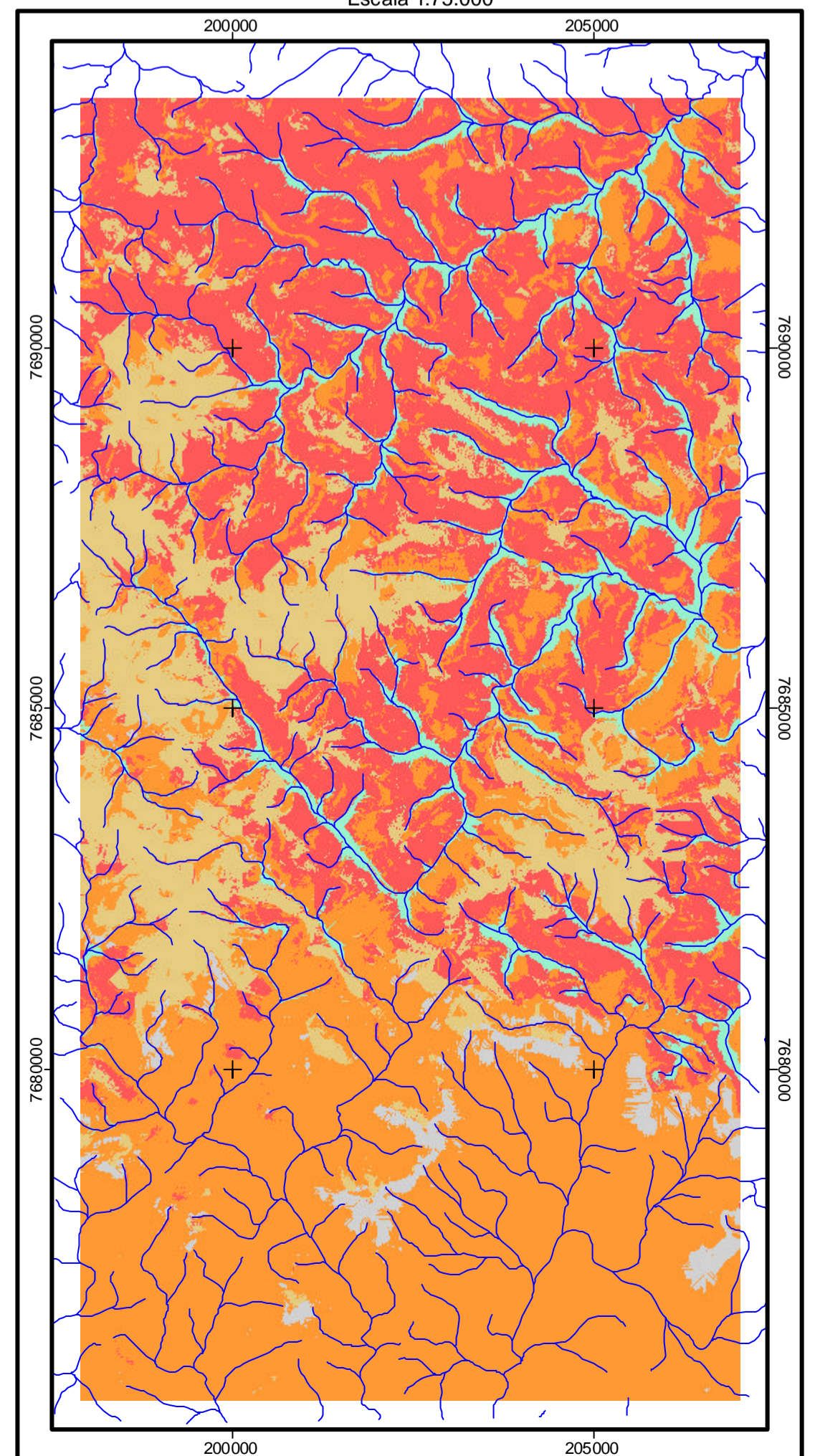
LEGENDA

- Paisagem do domínio dos Latossolos
- Paisagem do domínio dos Argissolos
- Paisagem do domínio dos Gleissolos
- Paisagem do domínio dos Cambissolos
- Paisagem do domínio dos Afloramentos de rocha

Mapa da classificação pela RNA com 5 neurônios e padrões criteriosos.  
Escala 1:75.000



Mapa da classificação por máxima verossimilhança e padrões criteriosos.  
Escala 1:75.000



## 5.9. Discussão das classificações.

Levando em consideração o aspecto visual das classificações, na Figura 48, observa-se um melhor delineamento, com uma classificação mais concisa, daquela obtida pela rede com 5 neurônios, onde a paisagem do domínio dos Gleissolos, e também as demais classificações acompanham, de forma consistente, a rede de drenagem. Ainda, nesta classificação, existem menos grupos de células, ou regiões, difundidos dentro das paisagens, o que indica que as RNA menores generalizam melhor as classes. Já naquela classificação pela rede com 16 neurônios, as classes de paisagens aparecem um pouco mais espalhadas ou difundidas por toda a área de estudo, e ainda mais pela obtida pelo Maxver. Neste tipo de avaliação visual, observa-se também uma boa separação de limites entre a paisagem dos Argissolos e dos Latossolos.

Como uma medida de avaliação das classificações, foi realizada uma comparação entre a localização de dois perfis de Latossolos descritos pela Embrapa-Solos para o levantamento do Estado do Rio de Janeiro. Estes dois perfis estão apresentados no Quadro 34, e suas posições geográficas em relação à classificação, na Figura 49. Foi constatado que em todas as 3 classificações discutidas, existe a equivalência, ou seja, em todas elas os perfis estão dentro da paisagem do domínio dos Latossolos.

Quadro 34. Descrição sumária dos perfis de solo contidos na área de estudo.

NÚMERO DE CAMPO - NORJ 07	DATA - 12.05.2003
CLASSIFICAÇÃO ATUAL - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso.	
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - estrada de Varre-Sai para Pirapetinga de Bom Jesus, 1,5 km após o entroncamento com a rodovia RJ-214, que liga Varre-Sai a Natividade, entrando-se à esquerda (descendo) por 300 metros, e em seguida novamente à esquerda, em antigo carreador de café, por mais 500 metros, 50 metros à esquerda. Varre-Sai, RJ. (0203303 - 7682235 UTM). Folha SF.24-V-A-IV-3 (Varre-Sai).	
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - trincheira aberta em terço superior de encosta com 60 a 70% de declive, sob floresta secundária.	
ALTITUDE - 750 metros.	
NÚMERO DE CAMPO - NORJ 08	DATA - 13.05.2003
CLASSIFICAÇÃO ATUAL - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano.	
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - rodovia RJ-230, trecho Santa Clara - Rosal, a 3,0 km do ribeirão da Onça (entroncamento com a rodovia RJ-214, para Varre-Sai), 250 metros à direita. Porciúncula, RJ. (0202908 - 7693163 UTM). Folha SF.24-V-A-IV-3 (Varre-Sai).	
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - trincheira aberta em topo de elevação com 2 a 3% de declive, sob floresta secundária.	
ALTITUDE - 730 metros.	

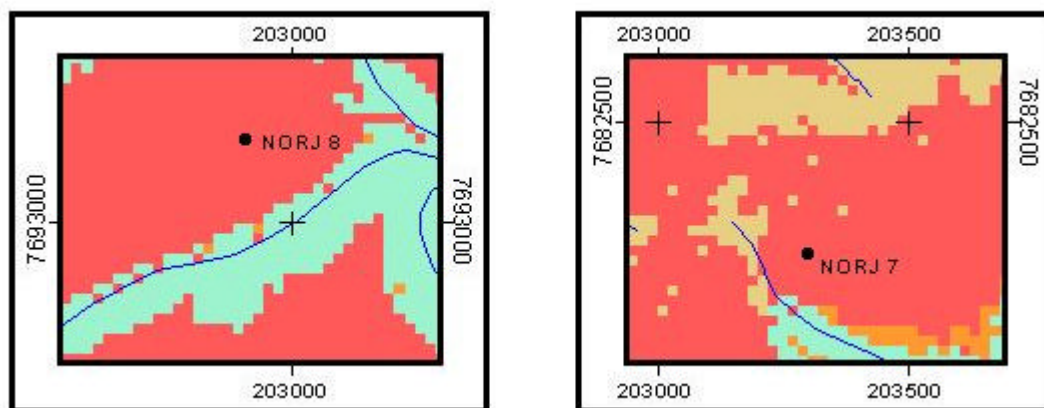


Figura 49. Localização dos perfis NORJ 07 e NORJ 08 sobre a classificação obtida pela rede com 5 neurônios.

Numa avaliação pelos valores do índice kappa, segundo uma proposição de LANDIS & KOCH (1977), o intervalo entre 0,4 e 0,6, valores obtidos nas classificações, indicam uma boa qualidade das mesmas. Pelos valores obtidos na exatidão global, todos acima de 65,9%, pode-se avaliá-los como um resultado de satisfatório para bom.

Numa análise visual de parte da classificação da área de estudo (Figura 50), pode-se observar que a classificação é consistente, apesar de representar um erro em relação à imagem de referência, pois aquelas áreas consideradas, entre outros atributos, de relevo mais côncavo, planar ou convexo, foram classificadas separadamente, levando em consideração também outros atributos. Observando-se a Figura 50, vê-se que, tanto pela classificação pela RNA, quanto pelo classificador maxver, houve uma tendência de as áreas côncavas serem classificadas como cambissolos, e analisando apenas o classificador maxver, aquelas convexas como argissolos e as de relevo planar como latossolos ou gleissolos, dependendo da posição na paisagem. Isto indica que a curvatura foi um atributo importante na classificação, associado também a outros fatores como a distância euclidiana, a altimetria relativa, a declividade e a própria altimetria.

No caso da Figura 50, comparando-se com o mapa de solos, a unidade de mapeamento apresentada é o LVAd2 que, conforme o Quadro 4, representa uma associação entre Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo, e o GXbd1 (associação de Gleissolo Háplico e Gleissolo Melânico). Desta forma, pode-se avaliar que as classificações apresentadas tenham conseguido separar, em tese, as Latossolos dos Argissolos, e ainda definido paisagens de Cambissolos dentro desta área. Quanto aos Gleissolos, a separação foi razoavelmente boa, enquanto esta unidade de mapeamento ficou bastante representada pelos canais de drenagem e seu entorno, porém extrapolando em algumas áreas.

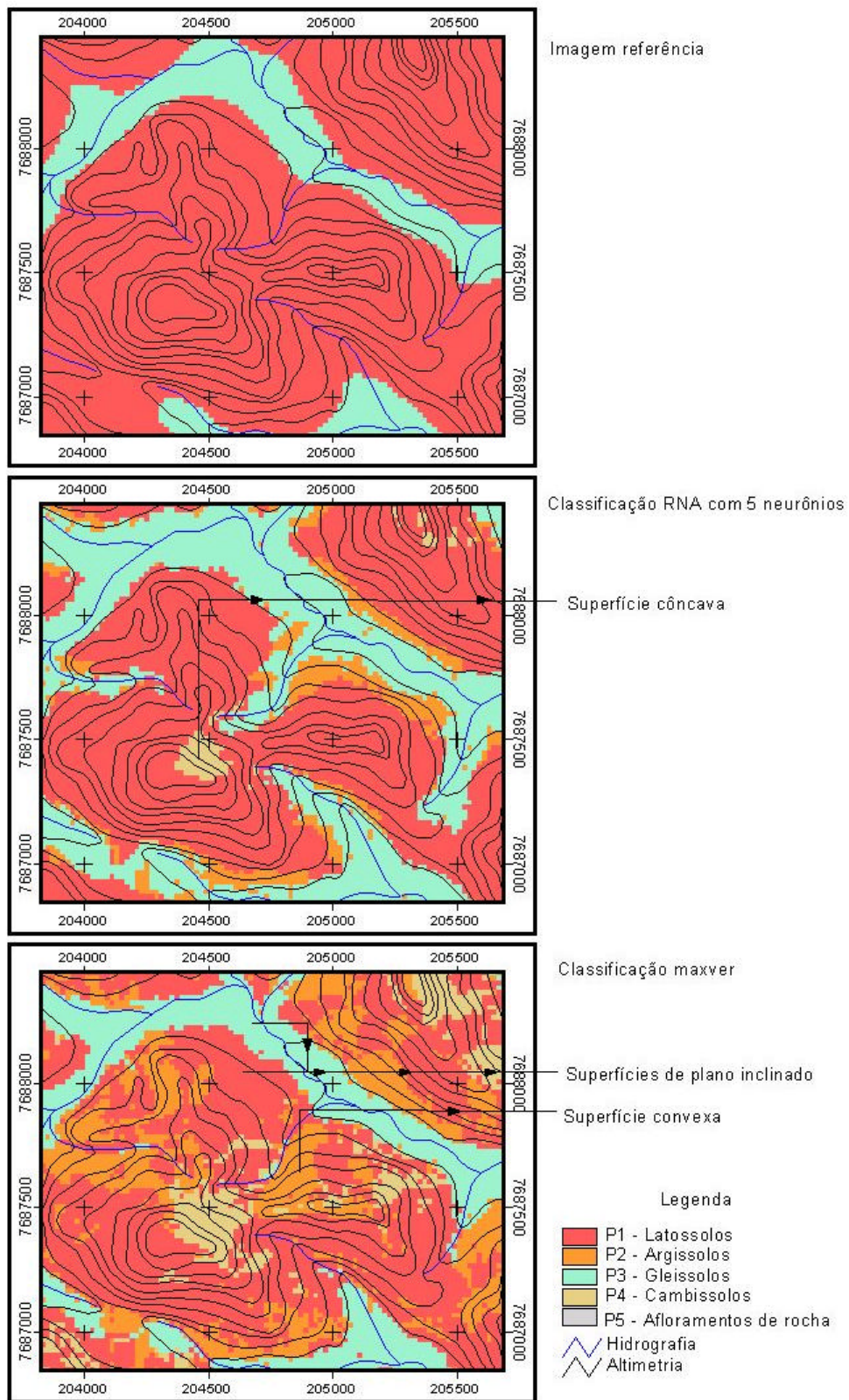


Figura 50. Comparação entre a imagem de referência, a classificação pela RNA e pelo maxver.

Subsidiado, então, pelas classificações supervisionadas, pôde-se elaborar uma topossequência esquemática padrão de solos (Figura 51) para a área de estudo, que

definiria os solos das áreas côncavas, convexas e planares, em relação à posição na paisagem, conforme modelo proposto por DALRYMPLE *et al.* (1968), e corroborando em parte com RESENDE *et al.* (1997) e CARVALHO FILHO (1989). Assim, espera-se que nas áreas mais côncavas, ocorram os cambissolos, nas áreas mais convexas os argissolos e nas áreas com relevo planar, dependendo da posição na paisagem, ou seja, próximo à hidrografia ou mais afastado dela, apareçam os gleissolos e os latossolos, respectivamente.

Ainda, dentro daquelas unidades definidas por DALRYMPLE *et al.* (1968), nas unidades 1 e 2, onde os processos do solo estão predominantemente associados com o movimento vertical subsuperficial da água, sendo mínimo o corrimento superficial e transporte, ocorrem os latossolos. Nas unidades 3 e 4, onde existe o escorregamento de solo com processos intensos de intemperismo físico e químico, ocorrem os cambissolos. Nas unidades 5, 6 e 7, com o transporte de material pelo movimento de massa e ação superficial e subsuperficial da água, ocorrem associados os latossolos e os argissolos. Nas unidades 8 e 9, que recebem os sedimentos transportados das unidades a montante, ocorrem predominantemente os gleissolos, e em menor proporção os neossolos flúvicos.

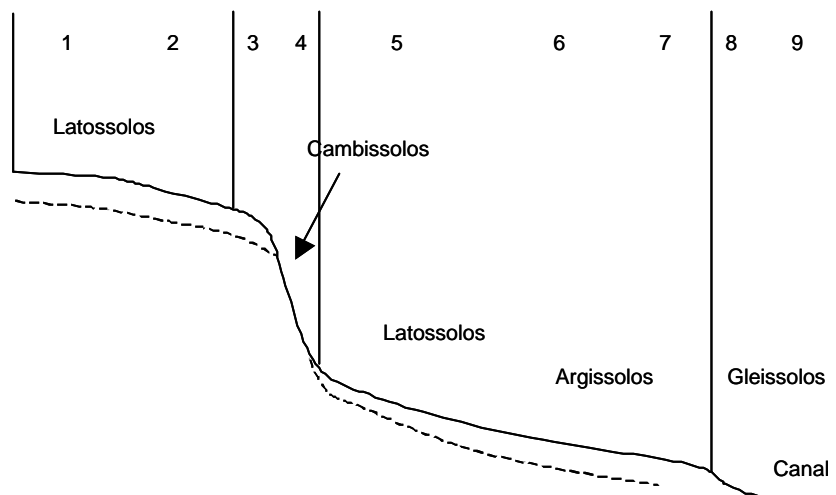


Figura 51. Toposseqüência esquemática dos solos na paisagem de domínio dos Latossolos.

Em relação ao sul da área de estudo, onde predomina a unidade de paisagem do domínio dos argissolos, conforme pode ser visto na Figura 52, a classificação da P3 – Gleissolos foi extrapolada, seguindo a drenagem, talvez com maior influência do atributo da distância euclidiana. Já a P5 – Afloramentos de rocha, também foi extrapolada, provavelmente em razão da declividade. Nesta área também aparecem pequenas células classificadas com da P4 – Cambissolos.

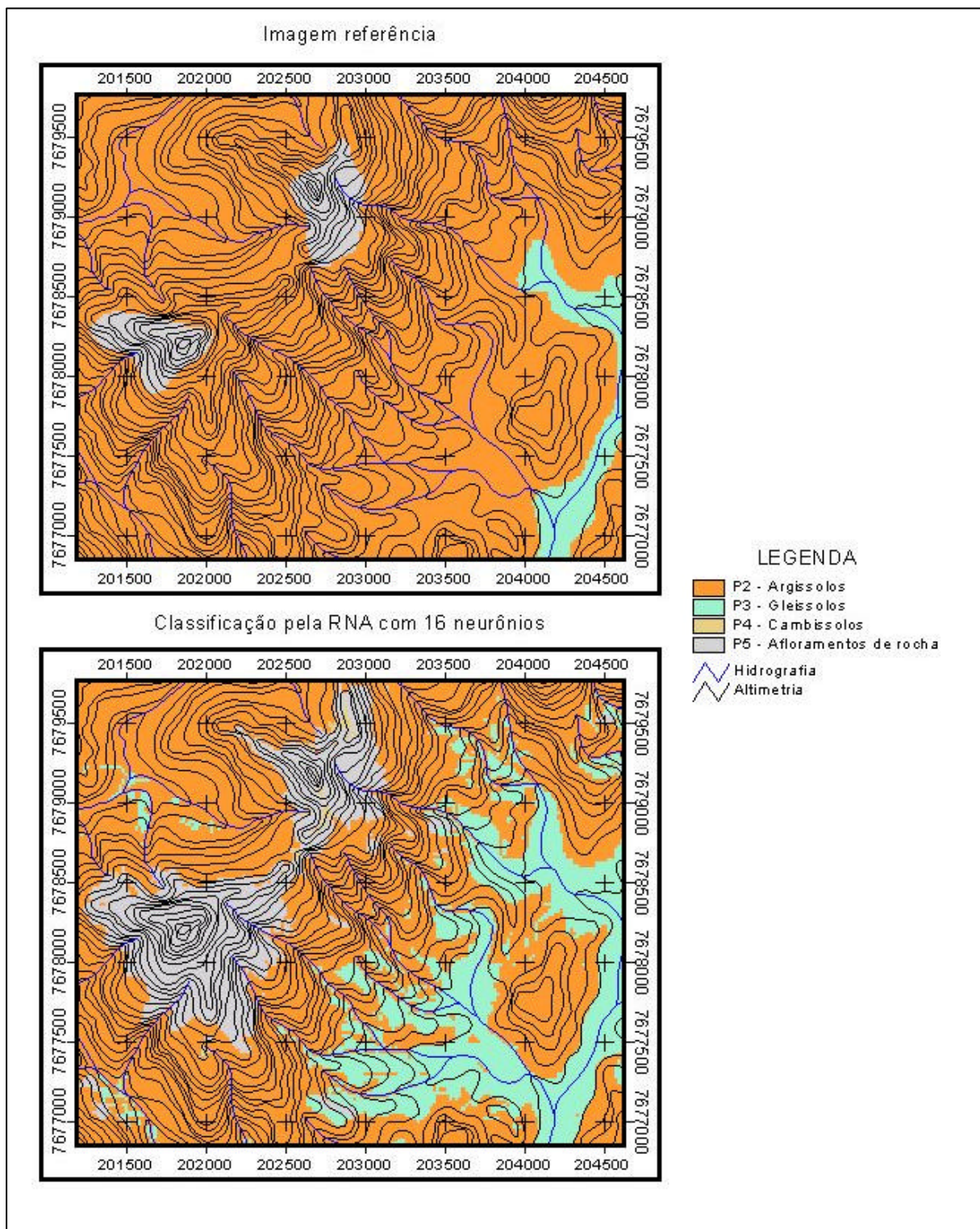


Figura 52. Comparação entre a imagem de referência e a classificação pela RNA com 16 neurônios.

A partir do modelo discutido na Figura 52, elaborou-se uma outra toposseqüência representativa desta área, onde observa-se (Figura 53) que as áreas mais declivosas pertencem à P5 – Afloramentos de rocha, a P2 – Argissolos situa-se abaixo da anterior, com menor inclinação, e ao fundo, próximo aos rios, ocorre a P3 – Gleissolos.

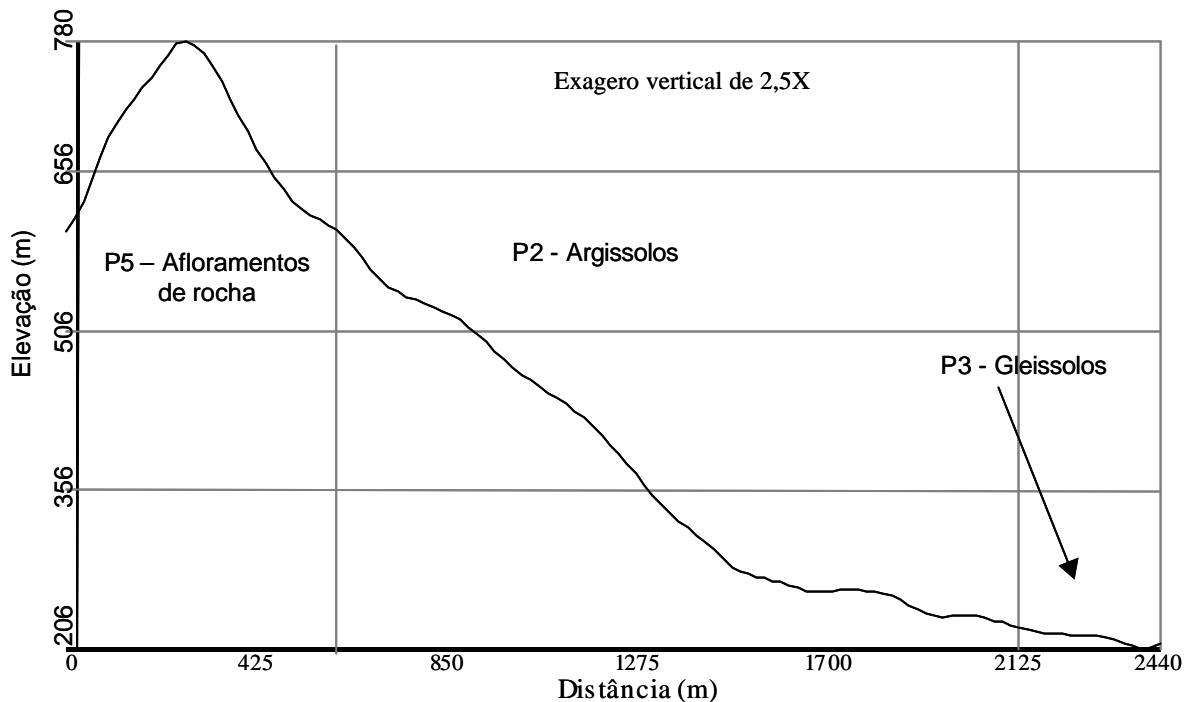


Figura 53. Toposseqüência representativa do sul da área de estudo, onde domina a P2 – Argissolos.

Finalizando a discussão, espera-se que este tipo de abordagem, de classificação supervisionada de paisagens, possa contribuir para melhor entender a relação do solo com as paisagens de forma a eliminar substancialmente a subjetividade intrínseca dos mapeamentos de solos elaborados de forma convencional, ou seja, mapeamentos dependentes do conhecimento e da experiência daqueles que os realizam.

## 6. Conclusões

Após este estudo, pode-se concluir que:

- ? Esta forma de abordagem pode contribuir para os levantamentos de solos, subsidiando-os no delineamento dos mapas, e tornando-os mais rápidos e menos onerosos, diminuindo também a sua subjetividade;
- ? O modelo digital de elevação (MDE) é fator chave na determinação dos outros atributos dele derivados. Em razão disto, quanto melhor for o MDE, mais representativos serão seus atributos, sendo dependente da fonte primária de dados de elevação;
- ? Os atributos derivados do MDE podem contribuir, isoladamente ou em conjunto, para se entender a relação solo-paisagem de áreas de mares de morro;

- ? A utilização de classificadores supervisionados, tanto redes neurais artificiais (RNA), quanto a máxima verossimilhança (maxver), foram importantes nas classificações das paisagens, discriminando estatisticamente bem o modelo de paisagem proposto;
- ? A utilização de RNA's nos procedimentos, apesar da grande manipulação de formas, formatos e tipos de arquivos, e da necessidade de verificação constante da consistência dos dados, foi melhor que a maxver, em função dos valores de exatidão global e do índice kappa, conseguindo discriminar consistentemente as paisagens definidas;
- ? A utilização do simulador de RNA JavaNNS (2001) foi importante pela interface amigável e por se tratar de um sistema livre e de fácil acesso, com arquivos de ajuda e manual de utilização;
- ? O método de retro-propagação (backpropagation) utilizado na construção da RNA foi importante e, após treinamentos efetuados na rede, conseguiu reduzir o erro até valores considerados aceitáveis para a classificação;
- ? A chave principal para se resolver problemas desta natureza está na entrada de dados: quanto mais detalhados puderem ser, melhores resultados serão alcançados;
- ? A continuidade da análise deste estudo dependerá de maior esforço de campo, ou seja, mais checagens de campo em pontos aleatórios previamente escolhidos e detalhamento de topossequências representativas.

## **7. Recomendações**

Tendo em vista o trabalho realizado nesta tese, recomenda-se que:

- ? Futuros trabalhos devem ser conduzidos enfocando áreas menores e com modelos mais detalhados;
- ? Estudos desta natureza devem ser feitos em áreas onde haja levantamentos de solos mais detalhados, procurando apurar os procedimentos desta abordagem;
- ? Pode-se, pela mesma abordagem deste estudo, buscar compreender o modelo de distribuição de carbono no solo, da espessura de horizontes, da mineralogia, entre outros;

- ? O simulador de RNA JavaNNS (2001) deve ser utilizado nas futuras pesquisas, pois é um sistema livre e com manuais e ajuda, enfocando a aprendizagem por retro-propagação (backpropagation).

## 8. Bibliografia

- AB'SABER, A.N. **Da participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro.** São Paulo :USP. Geomorfologia, 28. 38p. 1972.
- ALMEIDA, F.F.M de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1981. **Brazilian structural provinces: an introduction.** *Earth Science Review*, 17: 1-29.
- ALMEIDA, F.F.M. **Origem e evolução da plataforma continental brasileira.** Rio de Janeiro :DNPM. Boletim [da] Div. de Geologia e Mineralogia, 241. 36p. 1967.
- ALMEIDA, F.F.M. **The system of continental rifts bordering the Santos basin, Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 48 (suplemento). p. 15-26. 1976.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective.** Ottawa, 1989. 294p. WDL Publications.
- BARBOSA, A.L.M.; LIMA E.C. VON S. de; GROSSI SAD, J.H.; Alves, M. R.; Baltazar O. F. ROCHA, R. L. S. **Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, 1:50.000, Folhas Varre-Sai, Eugenópolis, Itaperuna e Miracema.** DRM-RJ/ GEOSOL, Relatório Final, (s. ed.), texto 262 p., il., mapas. 1981.
- BIGARELLA, J.J. & ANDRADE, G.O. **Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos de Pernambuco (Grupo Barreiras).** Arquivos Inst. Ciências da Terra, v. 2. p. 2-14. 1964.
- BIGARELLA, J.J. **The Barreiras group in Northeastern Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 47 (suplemento), p. 365-393. 1975.
- BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. **Considerações a respeito da evolução das vertentes.** Boletim Paranaense de Geografia, 16/17, Curitiba, p. 85-116. 1965.
- BIRKELAND, Peter W. **Pedology, Weathering, and Geomorphological Research.** New York. Oxford University Press. London. 1974. Toronto.
- BLANCANEUX, P. *et al.* **Interações Ambientais no Cerrado: Microbacia Piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil.** Brasília: EMBRAPA- SPI/ Rio de Janeiro: EMBRAPA- CNPS/ Paris: ORSTOM, 339p, 1998.
- BLASZCZYNSKI, J. S. **Landform characterization with geographic information Systems.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 63 (2): 183-191, 1997.
- BRABANT, P. La connaissance de l'organisation des solos dans le paysage, un préalable à la cartographie et à l'évaluation des terres. **SOLTROP 89: Actes du premier Séminaire Franco-Africain de Pédologie Tropicale.** Lomé, 1989. Paris: ORSTOM, 1989. p.65-85.
- BRAGA, A. de P.; CARVALHO, A. P. de L.F. de e LUDERMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações.** Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora. 2000. 262p.
- BROWN, D. G.; LUSCH, D. P. & DUDA, K. A. **Supervised classification of types of glaciated landscapes using digital elevation data.** *Geomorphology* 21 : 233-250. 1998.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assesment.** New York, 1986. 194p. Oxford University Press Inc.

- CÂMARA, G. **Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução**. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. ed. Sistema de Informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília: Embrapa – CPAC, 1993. p15-37.
- CARVALHO FILHO, A. **Caracterização mineralógica, química e física de solos de duas unidades de paisagem do Planalto de Viçosa, MG**. Viçosa, UFV. 1989. 114p. (Tese de Mestrado)
- CHORLEY, R. J. **Geomorphology and general systems theory**. U. S. Geological Survey, Professional Paper 500-B, 1962 (tradução em Notícia Geomorfológica, 11 (21):3-22, 1971).
- CHOU, Y. H. **Exploring spatial analysis in geographic information systems**. Santa Fe, 1997. 478p. OnWord Press.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo, Hucitec, 1979.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. IGCE. UNESP. Ed. Edgard Blücher Ltda. 236 p. 1999
- CMMAD. **Nosso Futuro Comum**. Ed. Fundação Getulio Vargas, 2ª edição. 430p., 1991.
- CONACHER, A. J. e DALRYMPLE, J. B. **The nine-unit land surface model: an approach to pedogeomorphic research**. Geoderma. 18 : 1-154. 1977.
- DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J. e CONACHER, A. J. **A Hypothetical nine-unit landsurface model**. Geomorphology. 12 : 60-76. 1968.
- DANIELS, R. B. e HAMMER, R. D. **Soil Geomorphology**. 1992 Ed. John Wiley & Sons. New York. 236 p.
- DANTAS, MARCELO EDUARDO. **Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. BRASÍLIA, Dezembro 2000. 1 CD-ROM
- DOMINGUES, A.J.P.; LIMA, G.R.; ALONSO, M.T.A.; BULHÕES, M.G. **Estudo do relevo, hidrografia, clima e vegetação das regiões-programa do estado do Rio de Janeiro**. Boletim Geográfico, 34(248), Rio de Janeiro : IBGE, p. 5-73. 1976.
- DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L. e LOMBARDI NETO, F. **Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas**. Documentos IAC. Numero 29. pp91-119. 1992.
- EASTERBROOK, D. J. **Principles of Geomorphology**. McGraw-Hill Book Company. New York. 1969. 462p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p
- ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE. ESRI. **ARC/INFO, Command references**. New York, 1994. p.281.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ESRI. **ArcView GIS**. The Geographic Information System for everyone. New York, 1996a.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ESRI. **ArcView Spatial Analyst: advanced spatial analysis using raster and vetor data**. New York, 1996b.
- ESPINHOSA, M. C. **Utilização do sensoriamento remoto orbital e redes neurais artificiais no mapeamento de macrófitas aquáticas emersas em grandes**

- reservatórios.** Dissertação de mestrado. 2004. UNESP. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Campus de presidente Prudente – SP. Disponível em: [shhttp://www.biblioteca.unesp.br/bibliotecadigital](http://www.biblioteca.unesp.br/bibliotecadigital). acessado em 15/02/05.
- FIGUEIREDO, M.C.H. & CAMPOS NETO, M.C. **Geochemistry of the Rio Doce magmatic arc, southeastern Brazil.** An. Acad. Bras. Ciências, 65 (Supl. 1): 63-81. 1993.
- GLADWIN, T.N.; KENNELLY, J.J. & KRAUSE, T.S. **Shifting Paradigms for Sustainable Development: Implications for Management Theory and Research.** Academy of Management Review. 20 (4): 874-907p., 1995.
- GONÇALVES, A. O.; MARTORANO, L. G.; MENEGUELI, N. do A. & PALMIEIRI, F. Caracterização climática de áreas degradadas em relevo movimentado do bioma mata atlântica no noroeste fluminense. In: **Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo.** Ribeirão Preto – SP. 2003. 4p. 1 CD-ROM. Seção trabalhos.
- GROSSI SAD, J.H. & DUTRA, C.V. **Chemical composition of supracrustal rocks from Paraíba do Sul Group, Rio de Janeiro State, Brazil.** Geochimica Brasiliensis, 2 (2): 143-165. 1988.
- HAAN, C. T.; JOHNSON, H. P.; BRAKENSIEK, D. L. editores. **Hidrologic Modeling of small watersheds.** American Society of Agricultural Engineers, 1982. 533 p.
- HALL, F. G.; BOTKIN, D. B. ; STREBEL, D. E.; WOODS, K. D. e GOETZ, S. J. **Large-scale patterns of forest succession as determined by remote sensing.** Ecology, Durham, v.72, n.2, p.628-640, 1991.
- HAYKIN, S. **Redes Neurais: princípios e prática.** trad. Paulo Martins Engel. - 2 ed. – Porto Alegre: Bookman, 2001. 900p.
- HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C.M.; MILANI, E.J.; ALMEIDA, J.; TUPINAMBÁ, M. **From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil.** In: W. MOHRIAK, MTALWANI (eds.): ATLANTIC RIFTS AND CONTINENTAL MARGINS. American Geophysical Union, Geophysical Monography, 115: 1-31.2000.
- HOFFER, R. M. **Challenges in developing and applying remote sensing to ecosystem management.** In: Remote and GIS in Ecosystem Management. Ed. 5. Alaric Sample, 1994. p.25-47.
- HOLE, F. D. e CAMPBELL, J. B. **Soil landscape analysis.** London: Routledge & Kegan paul. 1985. 196p.
- HUDSON, B. D. **The soil survey as a paradigm-based science.** Soil Science Society of American Journal, v.56, p.836-841.1992.
- HUTCHINSON, M. F. & GALLANT, J. C. **Digital elevation models and representation of terrain shape.** In: WILSON, J. P. & GALLANT, J. C. (editores). Terrain Analysis: Principles and applications. John Wiley & Sons, Inc. 2000.
- HUTCHINSON, M. F. **A new procedure for gridding elevation and stream data with automatic removal of spurious pits:** Journal of Hydrology, v.106, p. 211-232. 1989.
- IBGE (Rio de Janeiro, RJ). **Produção Agrícola Municipal: Rio de Janeiro: 1997 a 2001.** SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: < <http://sidra.ibge.gov.br> > acesso em 15/12/2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Geociências. Departamento de Cartografia. **Varre-Sai. Folha SF.24-V-A-IV-3.** Rio de Janeiro. 1991. Escala 1:50.000.
- JavaNNS. **Java Neural Network Simulator.** Version 1.1. University of Tübingen. 2001. [http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/software/JavaNNS/welcome\\_e.html](http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/software/JavaNNS/welcome_e.html)

- JENSON S. K.; J. O. DOMINGUE. **Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. V.54, N.11, Nov. p.1593-1600. 1988.
- JORNAL DO BRASIL. **Um terço da população é miserável**. Edição de 16/04/2004. Disponível em: <http://jbonline.terra.com.br/> . Consultado em abril de 2004.
- KING, L.C. **A geomorfologia do Brasil Oriental** Revista Brasileira de Geografia, 18(2), Rio de Janeiro: IBGE, p. 147-266. 1956.
- LANDIS, J. R. e KOCH, G. G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. Biometrics, v33. p.159-174. 1977.
- LIMA, M.I.C.; FONSECA, E. G. da; OLIVEIRA, E. P. de; GHIGNONE, J.I.; ROCHA, J.M. R. R.M. Geologia. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD.24 Salvador. Rio de Janeiro, p. 25-192. (Levantamento de Recursos Naturais, 24) 1981.
- MACHADO, N.; VALLADARES, C.S.; HEILBRON, M. e VALERIANO, C.M. **U/Pb geochronology of the central Ribeira belt: implications for the evolution of brasiliano orogeny**. Precambrian Research, 79: 347-361. 1996.
- MACHADO, R. **Litogeoquímica e tectônica dos granitóides neoproterozóicos do Cinturão Paraíba do Sul no Estado do Rio de Janeiro**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Livre Docência, 215 p. 1997.
- MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F. e RHIND, D.W. **Geographical Informations Systems**. Vol I e II. Ed. Longman Scientific and Technical, London. 1991.
- MANSVELT, J. D. Van. **An interdisciplinary approach to integrated a range of agro-landscape values as proposed by representatives of various disciplines**. Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, v.63, p.233-250, 1997.
- MELO, M.S; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M **Gênese e evolução de bacias tafrogênicas continentais do Sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Geociências, 15(3), p. 193-201. 1985.
- MORAES, REGO L.F. 1933. **Contribuição ao estudo das formações pré-devonianas de São Paulo**. São Paulo, Instituto de Astronomia e Geofísica.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2ª edição. Viçosa: UFV, 2003. 307p.
- MOTTA, P. E. F. da; LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A.; PALMIERI, F.; CALDERANNO, S. B.; BARUQUI, A. M.; NAIME, U. J. e LEMOS, A. L. Macropedambientes da região noroeste do estado do Rio de Janeiro. In: **Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Ribeirão Preto – SP. 2003. 4p. 1 CD-ROM. Seção trabalhos.
- MÜLLER, B., REINHARDT, J. e STRICKLAND, M. T. **Neural Networks: An Introduction**. Springer-Verlag Editora – New York. 1995. 329p.
- PEREIRA, L. C.; MARTORANO, L. G.; RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA, P. M. e SILVA, G. P. **Sensoriamento remoto no estudo de correlação vegetação X solos da floresta estadual do Antimari – Acre**. In: Programa e resumos do XXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Porto Alegre. 1991. p271.
- RADAMBRASIL. **Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/ Vitória: Geomorfologia**. Rio de Janeiro. 1983.
- RAUNET, M. Approche systematique appliquee a la cartographie morphopedologique du paysage. **SOLTROP 89: Actes du premier Seminaire Franco-Africain de Pedologie Tropicale**. Lome, 1989. Paris: ORSTOM, 1989. p.143-177.

- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT. 1997. 376p.
- RICCOMINI, C. **O rift continental do Sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/ USP, 256 p. 1989.
- RIZZO, L. T. B. **Relações solo-paisagem em uma área do extremo sul do Estado de São Paulo (Bacia do Rio Ribeira de Iguape)**. Tese de Mestrado. Piracicaba: ESALQ, 1991. 167p.
- ROSIER, G. F. A. Secção de geologia – Estado do Rio de Janeiro. In: **BRASIL. DNPM/DGM. Relatório Annual do Director – Anno de 1951**. Rio de Janeiro: DNPM, p. 28-30. 1952.
- SANTOS, E.P.M. Algumas considerações acerca do conceito de sustentabilidade: suas dimensões políticas, teóricas e ontológicas. In: **Desenvolvimento Sustentável Teorias, Debates, Aplicabilidade**. IFCH/UNICAMP. Campinas-SP. 13-48p., 1996.
- SANTOS, H. G. dos. **Some strategies of quality control for reconnaissance soil survey**. Ithaca, ny., 1978. Thesis (M.Sc.) – Faculty of graduate School of Cornell University, 128p.
- SILVA, C.G. & FERRARI, A.L. **Neotectonismo no litoral nordeste do Estado do Rio de Janeiro**. In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 5, Penedo. Anais, 80-82. 1997.
- SILVA, J.N. & FERRARI, P.G. **Projeto Espírito Santo**. Belo Horizonte, DNPM/CPRM, Relatório Final, 408 p. (inédito) 1976.
- SILVA, L. C. da & CUNHA, H. C. da S. (organizadores) **Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro / organizado por Luiz Carlos da Silva & Hélio Canejo da Silva Cunha**. – Brasília:CPRM. 2ª edição revista em 2001. 1 CD-ROM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- SNNS. **Stuttgart Neural Network Simulator**. Version 4.2. University of Stuttgart e University of Tübingen. 1998. <http://ftp.informatik.uni-tuebingen.de>
- SSDS. Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil survey manual**. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18. Disponível em <http://soils.usda.gov/technical/manual/>. Acesso em 20/01/2005.
- STAR, J.; ESTES, J. **Geographic information systems: an introduction**. New Jersey, 1990. 303p. Prentice-Hall, Inc.
- STRAHLER, A. N. **Systems theory and Physical Geography**. Physical Geography, 1(1): 1-27. 1980.
- TARBOTON D. G., R. L. BRAS, I. RODRIGUEZ-ITURBE. **On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data**. Hydrological Processes. V. 5, p.81-100. 1991.
- TREITZ, P. e HOWARTH, P. **Integrating Spectral, Spatial, and Terrain Variables for Forest Ecosystem Classification**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 66. no 3. 2000. p305-317.
- VIEIRA, C. A. O. **Accuracy of Remotely Sensing Classification of Agricultural Crops: A Comparative Study**. Tese de Doutorado. University of Nottingham. 2000. 352p.
- VITEK, J. D.; GIARDINO, J. R. e FITZGERALD, J. W. **Mapping geomorphology: A journey from paper maps, through computer mapping to GIS and Virtual Reality**. Geomorphology 16. p 233-249. 1996.

- WIEDEMANN, C.M. **The evolution of the Paleozoic, late- to post-collisional magmatic arc of the coastal mobile belt, in the State of Espírito Santo, eastern Brazil.** An. Acad. Bras. Ciências, 65(1): 163-181. IGCP, Project 61. 55 p. 1993.
- WILLE, Silvio A. C. The evolution of mathematical modelling on planing the optimal capacity expansion of urban water supply and wastewater systems. In: **Anais do 6º Simposio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos.** São Paulo – SP. 1985. vol I. p. 354-363.
- WOOD, J. **The geomorphological characterization of digital elevation models.** PhD Tesis. City University. London. Disponível em: <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>. 185p. 2000.
- WYSOCKI, D. A.; SCHOENEBERGER, P. J. e LaGARRY, H. E. Chapter 1. Geomorphology of Soil Landscapes. Wilding, L. P. Section E. Pedology. In: Summer, M. E. (Editor). **HandoBook of Soil Science.** 1999. CRC Press. New York. p 5-36.
- ZINCK, J. A. **Soil Survey: Epistemology of a vital discipline.** International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, The Netherlands. 1990. 40p.

## **9. ANEXOS**

## ANEXO 1



### DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFIA

#### TABELAS DA VETORIZAÇÃO (MAPEAMENTO TOPOGRÁFICO SISTEMÁTICO)

Projeto:	Nome da Folha:	Índice de Nomenclatura:
Órgão editor:	Edição:	Escala:
Ano:	Datum Horizontal:	MI:

Para cada carta topográfica, acompanhando os arquivos vetoriais, deve seguir uma cópia deste documento, devidamente preenchido, identificando os elementos vetorizados na referida carta. A coluna mais à direita das tabelas de elementos das 10 categorias deve ser preenchida com X para identificar o elemento vetorizado.

#### NOTAS TÉCNICAS PARA VETORIZAÇÃO

1 - Copiar o arquivo "padrao.dgn" para o diretório de trabalho. Renomear este arquivo vazio de acordo com o documento "Organização e Estruturação de Arquivos Vetoriais" e utilizá-lo para gerar os 10 arquivos vetoriais.

2 - A coluna mais à direita das tabelas de elementos das 10 categorias deve ser preenchida com **X** para identificar o elemento vetorizado.

3 - Para os elementos do tipo texto, o número que aparece na coluna célula das tabelas de elementos indica o item que contém as especificações de texto nas tabelas "especificações dos elementos do tipo texto", de cada categoria. Quando o texto aceitar mais de uma especificação, conforme o seu tamanho na carta (ex.: rios, lagoas, etc.) verificar a especificação mais adequada nesta última tabela citada. Nestes casos aparecem vários números na coluna célula. São as opções existentes.

4 - Para os elementos do tipo célula, os nomes que aparecem na coluna célula (ex.: hdbalz) identificam efetivamente a célula a ser utilizada para vetorizar o elemento do tipo ponto. As células estão contidas na biblioteca de células (arquivo gvc\_08\_99.cel). Usar a opção "Fill" ligada.

5 - Os elementos do tipo texto estão identificados nas tabelas de elementos de cada categoria. Para vetorizar os textos da carta, consultar as tabelas "especificações dos elementos do tipo texto". Coincidir a justificativa do texto vetorial com o texto raster.

6 - Utilizar o elemento Toponímia para vetorizar os textos encontrados na carta topográfica que não aparecem nas tabelas de elementos de cada categoria.

7 - Para vetorizar os elementos do tipo texto, seguir a seguinte rotina: 1) Acessar a tabela do I/Geovec (gvc\_08\_99.tbl). 2) Selecionar o elemento na tabela. Com isso a simbologia gráfica do elemento (nível, cor, estilo e peso) passa a ser a simbologia ativa do arquivo dgn. 3) Ativar a função "place text", do Microstation e definir o método, a fonte, a justificativa e o tx do texto (consultar a tabela "especificações dos elementos do tipo texto"). 4) Digitar o texto e posicioná-lo no local adequado, de acordo com o arquivo raster. Caso o texto vetorial não coincida com o texto raster, manter o texto vetorial de acordo com as especificações da tabela "especificações dos elementos do tipo texto".

8 - Para todos os elementos do tipo texto, usar "line spacing" (ls=0.03). Usar as opções "Text Node" e "Fast Font" desligadas.


9 - O elemento Cruzeta Geográfica (Canto de Folha), que aparece nas tabelas de elementos das 10 categorias, corresponde a cada canto da carta topográfica. Cada canto de folha deve ser vetorizado pela célula "prcgeo". Esta célula foi construída originalmente para o canto NO. Para vetorizar os demais cantos, utilizar a função "Rotate Element", do Microstation, utilizando os ângulos 90° para o canto SO; 180° para o canto SE e 270° para o canto NE. Os 4 cantos de folha devem constar em todos os arquivos vetorizados.

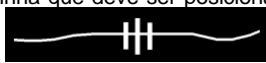
10 - O elemento Delimitador, que aparece nas tabelas de elementos das 10 categorias, é um elemento que tem 2 funções no arquivo vetorial. A 1ª função é fechar os elementos do tipo área que passam para as cartas vizinhas. A 2ª função é servir de referência para alinhar os elementos do tipo linha que passam para as cartas vizinhas. Este elemento é criado a partir do "frame" (linha de borda) da projeção, que é copiado para o arquivo dgn de cada categoria.


**TABELA DE ELEMENTOS - CATEGORIA HIDROGRAFIA (HD)**

Nº	ELEMENTOS HIDROGRÁFICOS	CÓDIGO	NÍVEL	COR	ESTILO	PES	TIPO	CÉLULA	25	50	100	250	CIM	X
								ac=	as=	as=	as=	as=	as=	
1)	Contorno HD Permanente/Contorno Ilha (1)	04302B	2	72	0	1	área	-	-	-	-	-	-	
2)	Cruzeta Geográfica (Canto de Folha - HD)	04197	63	63	0	0	ponto	prcgeo	0.5	1	2	5	20	
3)	Delimitador - HD	04599	62	23	5	0	área	-	-	-	-	-	-	
4)	Direção da Corrente	04194	10	80	0	1	ponto	hddcor	0.5	1	2	5	20	
5)	Rio Permanente (6)	04205	7	77	0	1	linha	-	-	-	-	-	-	
6)	Toponímia-HD	04698	61	61	0	0	texto	-	-	-	-	-	-	

(1) HD = hidrografia; MD = margem dupla; MS = margem simples.

(2) A célula da Catarata/Cachoeira MS (Sem Representação) deve ser posicionada no ponto de interseção entre o traço da cachoeira e o traço do rio de margem simples. Ver exemplo ao lado ?  A linha sinuosa representa o rio. O traço perpendicular representa o símbolo da cachoeira na carta topográfica. O ponto central representa a célula.

(3) Vetorizar a Corredeira/Rápido MD (Com Representação) por meio de uma linha que deve ser posicionada no intervalo entre os traços paralelos que representam a corredeira. Ver exemplo ao lado ?  A linha sinuosa representa o rio. Os 2 traços paralelos representam o símbolo da corredeira na carta topográfica. A linha central representa a corredeira vetorial.

(4) A célula da Corredeira/Rápido MS (Sem Representação) deve ser posicionada no ponto de interseção entre os traços da corredeira e o traço do rio de margem simples. Ver exemplo ao lado ?  A linha sinuosa representa o rio. Os 2 traços paralelos representam o símbolo da corredeira na carta topográfica. O ponto central representa a célula.

(5) Os nomes das ilhas devem ser vetorizados no nível 54 - elemento Ilha (Texto). Para as ilhas sem nome nos rios de margem simples, digitar a palavra Ilha e posicioná-la no interior da ilha. A âncora do nome (ponto da justificativa) deve ficar dentro da ilha.

(6) Os nomes dos rios de margem simples devem ser vetorizados no nível 61 - elemento Toponímia-HD.

(7) Na carta topográfica este elemento está representado por "pattern" especial (traço azuis horizontais alternados). Vetorizar contornando estes traços de modo a fechar a área de inundação.

(8) Digitar o texto TSI e posicioná-lo no interior da área vetorizada. Repetir o posicionamento sempre que a área for cortada por um curso d'água.

**TABELA DE ELEMENTOS - CATEGORIA HIPSOGRAFIA (HP)**

Nº	ELEMENTOS HIPSOGRÁFICOS	CÓDIGO	NÍVEL	COR	ESTILO	PES	TIPO	CÉLULA	25	50	100	250	CIM	X
								ac=	as=	as=	as=	as=	as=	
1)	Cruzeta Geográfica (Canto de Folha - HP)	01197	63	63	0	0	ponto	prcgeo	0.5	1	2	5	20	
2)	Curva Intermediária	01206C	2	2	0	0	linha	-	-	-	-	-	-	
3)	Curva Mestra	01206E	1	1	0	1	linha	-	-	-	-	-	-	
4)	Morro (Texto) (1)	01614	27	27	0	0	texto	3 ou 4	-	-	-	-	-	
5)	Ponto Cotado Não Comprovado (Texto) (2)	01117B	21	0	0	0	texto	9	-	-	-	-	-	
6)	Serra (Linha de Guia) (3)	01220	26	26	0	1	linha	-	-	-	-	-	-	
7)	Serra (Texto) (3)	01620	26	0	0	0	texto	13 a 15	-	-	-	-	-	
8)	Toponímia-HP	01698	61	61	0	0	texto	-	-	-	-	-	-	

(1) Para vetorizar os morros, usar a função "place text", do Microstation, no nível 27. Se o nome do morro estiver escrito em 2 linhas na carta topográfica, digitar o nome como uma única "string" e posicionar em 2 linhas, no arquivo vetorial.

(2) Para vetorizar os elementos Ponto Cotado Comprovado e Ponto Cotado Não Comprovado, seguir a seguinte rotina: 1) Acessar a tabela do I/Geovec. 2) Selecionar o elemento na tabela. 3) Ativar a função "place text", do Microstation e definir o método ("by origin"), a fonte, a justificativa e o tx do texto (consultar os itens 8 e 9 da tabela de especificações dos textos). 4) Digitar o texto e posicioná-lo no local adequado, de acordo com o arquivo raster. Coincidir a justificativa do texto com o ponto central do símbolo raster.

(3) Para vetorizar as serras, sublinhar o nome de cada serra, com a função "place line string", do Microstation, no nível 26 - elemento Serra (Linha de Guia). Além disso, vetorizar o nome da serra, com a função "place text along - above", do Microstation, no nível 26 - elemento Serra (Texto Nome).

(1) Estas especificações também podem ser usadas para as serras de expressão nacional com a fonte 42, conforme o tamanho do trecho da serra representado na carta.

**TABELA DE ELEMENTOS - CATEGORIA LIMITE (LM)**

Nº	ELEMENTO	CÓDIGO	NÍVEL	COR	ESTILO	PES	TIPO	CÉLULA ac=	25 as=	50 as=	100 as=	250 as=	CIM as=	X
1)	Cruzeta Geográfica (Canto de Folha - LM)	02197	63	63	0	0	ponto	prcgeo	0.5	1	2	5	20	
2)	Limite Estadual	02201A	32	32	4	2	linha	-	-	-	-	-	-	
3)	Limite Municipal	02201C	33	33	3	1	linha	-	-	-	-	-	-	
4)	Toponímia-LM	02698	61	61	0	0	texto	-	-	-	-	-	-	

NOTA: Todas as linhas que definem limites, áreas especiais, áreas indígenas e áreas reservadas, quando coincidem com contorno (hd), devem ser vetorizadas pelo interior do rio, seguindo a linha média entre as margens, por uma linha contínua, cortando as ilhas, quando não houver indicativo específico na carta topográfica sobre a quem pertence a ilha.

## ANEXO 02

### MATRIZES DE CONFUSÃO DA VALIDAÇÃO DAS REDES SELECIONADAS E ONDE OS PADROES DE TREINO FORAM COLHIDOS ALEATORIAMENTE

r11_t1 (rede com 11 neurônios na camada oculta - 1º treinamento)										
Reference data										
Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var	
1	209	0	26	27	0	262	79.8	24.288	0.000	0.000000
2	0	227	0	4	7	238	95.4	55.458	0.739	0.000926
3	9	16	220	15	0	260	84.6	29.833	0.942	0.000288
4	54	0	0	269	5	328	82.0	27.985	0.807	0.000731
5	0	7	0	0	114	121	94.2	39.724	0.757	0.000731
U	0	0	0	0	0	0	0.0			
TOTAL	272	250	246	315	126	1209				
Produ.	76.8	90.8	89.4	85.4	90.5					
OVERALL : 85.9      Total Pixels Classified : 1209										
Kappa = 0.821      VAR = 0.000163      Z statistic = 64.219 and The two-tailed Z test = 1.960000										

r11_t2 (rede com 11 neurônios na camada oculta - 2º treinamento)										
Reference data										
Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var	
1	227	0	44	52	2	325	69.8	20.484	0.000	0.000000
2	0	241	0	11	11	263	91.6	42.436	0.611	0.000890
3	5	1	202	11	0	219	92.2	40.399	0.895	0.000444
4	40	0	0	241	6	287	84.0	27.990	0.903	0.000499
5	0	8	0	0	107	115	93.0	35.071	0.783	0.000783
U	0	0	0	0	0	0	0.0			
TOTAL	272	250	246	315	126	1209				
Produ.	83.5	96.4	82.1	76.5	84.9					
OVERALL : 84.2      Total Pixels Classified : 1209										
Kappa = 0.799      VAR = 0.000180      Z statistic = 59.611 and The two-tailed Z test = 1.960000										

r13_t2 (rede com 13 neurônios na camada oculta - 2º treinamento)										
Reference data										
Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var	
1	225	0	22	37	0	284	79.2	24.951	0.000	0.000000
2	0	231	0	15	1	247	93.5	47.219	0.732	0.000861
3	10	9	224	14	3	260	86.2	31.788	0.918	0.000378
4	32	0	0	239	6	277	86.3	30.247	0.826	0.000675
5	5	10	0	10	116	141	82.3	22.837	0.814	0.000725
U	0	0	0	0	0	0	0.0			
TOTAL	272	250	246	315	126	1209				
Produ.	82.7	92.4	91.1	75.9	92.1					
OVERALL : 85.6      Total Pixels Classified : 1209										
Kappa = 0.818      VAR = 0.000164      Z statistic = 63.780 and The two-tailed Z test = 1.960000										

**r14\_t1 (rede com 14 neurônios na camada oculta - 1º treinamento)**

Reference data

Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var
1	226	0	48	33	0	307	73.6	21.998	0.000 0.000000
2	0	228	0	6	3	237	96.2	61.346	0.660 0.000899
3	2	14	198	15	0	229	86.5	30.112	0.952 0.000241
4	44	0	0	261	30	335	77.9	24.640	0.830 0.000760
5	0	8	0	0	93	101	92.1	30.601	0.701 0.000810
U	0	0	0	0	0	0	0.0		

TOTAL | 272 250 246 315 126 | 1209  
 Produ. | 83.1 91.2 80.5 82.9 73.8 |

OVERALL : 83.2 Total Pixels Classified : 1209

Kappa = 0.786 VAR = 0.000190 Z statistic = 57.043 and The two-tailed Z test = 1.960000

**r14\_t2 (rede com 14 neurônios na camada oculta - 2º treinamento)**

Reference data

Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var
1	220	0	42	37	0	299	73.6	21.638	0.000 0.000000
2	3	237	0	17	4	261	90.8	40.106	0.659 0.000928
3	4	1	204	7	0	216	94.4	48.079	0.884 0.000486
4	45	0	0	254	27	326	77.9	24.258	0.930 0.000374
5	0	12	0	0	95	107	88.8	25.961	0.701 0.000836
U	0	0	0	0	0	0	0.0		

TOTAL | 272 250 246 315 126 | 1209  
 Produ. | 80.9 94.8 82.9 80.6 75.4 |

OVERALL : 83.5 Total Pixels Classified : 1209

Kappa = 0.790 VAR = 0.000186 Z statistic = 57.883 and The two-tailed Z test = 1.960000

**r15\_t1 (rede com 15 neurônios na camada oculta - 1º treinamento)**

Reference data

Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var
1	207	0	37	24	0	268	77.2	22.671	0.000 0.000000
2	0	245	0	12	1	258	95.0	55.217	0.706 0.000971
3	7	1	209	11	1	229	91.3	38.734	0.936 0.000288
4	58	0	0	266	12	336	79.2	25.713	0.890 0.000528
5	0	4	0	2	112	118	94.9	42.000	0.718 0.000780
U	0	0	0	0	0	0	0.0		

TOTAL | 272 250 246 315 126 | 1209  
 Produ. | 76.1 98.0 85.0 84.4 88.9 |

OVERALL : 85.9 Total Pixels Classified : 1209

Kappa = 0.821 VAR = 0.000164 Z statistic = 64.086 and The two-tailed Z test = 1.960000

**r15\_t2 (rede com 15 neurônios na camada oculta - 2º treinamento)**

Reference data

Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var	
1	230	0	32	24	0	286	80.4	26.061	0.000	0.000000
2	0	225	0	4	3	232	97.0	68.390	0.747	0.000822
3	12	14	214	25	11	276	77.5	24.156	0.962	0.000198
4	26	0	0	252	7	285	88.4	33.992	0.718	0.000883
5	4	11	0	10	105	130	80.8	20.806	0.843	0.000616
U	0	0	0	0	0	0	0.0			

TOTAL	272	250	246	315	126	1209				
Produ.	84.6	90.0	87.0	80.0	83.3					

OVERALL : 84.9 Total Pixels Classified : 1209

Kappa = 0.808 VAR = 0.000171 Z statistic = 61.756 and The two-tailed Z test = 1.960000

**r16\_t1 (rede com 16 neurônios na camada oculta - 1º treinamento)**

Reference data

Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var	
1	228	0	43	27	0	298	76.5	23.545	0.000	0.000000
2	0	225	0	7	2	234	96.2	60.546	0.697	0.000876
3	5	16	203	17	0	241	84.2	28.210	0.952	0.000247
4	38	0	0	258	9	305	84.6	29.665	0.802	0.000808
5	1	9	0	6	115	131	87.8	27.426	0.792	0.000712
U	0	0	0	0	0	0	0.0			

TOTAL	272	250	246	315	126	1209				
Produ.	83.8	90.0	82.5	81.9	91.3					

OVERALL : 85.1 Total Pixels Classified : 1209

Kappa = 0.811 VAR = 0.000171 Z statistic = 62.080 and The two-tailed Z test = 1.960000

**r16\_t2 (rede com 16 neurônios na camada oculta - 2º treinamento)**

Reference data

Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var	
1	234	0	39	29	0	302	77.5	24.443	0.000	0.000000
2	0	229	1	11	2	243	94.2	49.864	0.709	0.000842
3	8	13	206	10	0	237	86.9	31.298	0.927	0.000346
4	26	0	0	263	6	295	89.2	35.966	0.836	0.000713
5	4	8	0	2	118	132	89.4	29.832	0.853	0.000563
U	0	0	0	0	0	0	0.0			

TOTAL	272	250	246	315	126	1209				
Produ.	86.0	91.6	83.7	83.5	93.7					

OVERALL : 86.8 Total Pixels Classified : 1209

Kappa = 0.833 VAR = 0.000153 Z statistic = 67.278 and The two-tailed Z test = 1.960000

**r17\_t2 (rede com 17 neurônios na camada oculta - 2º treinamento)**

Reference data

Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var	
1	212	0	24	28	0	264	80.3	24.830	0.000	0.000000
2	0	236	0	10	7	253	93.3	46.871	0.746	0.000902
3	11	5	222	17	0	255	87.1	32.744	0.915	0.000381
4	49	0	0	256	2	307	83.4	28.391	0.838	0.000654
5	0	9	0	4	117	130	90.0	30.592	0.775	0.000746
U	0	0	0	0	0	0	0.0			
TOTAL	272	250	246	315	126	1209				
Produ.	77.9	94.4	90.2	81.3	92.9					

OVERALL : 86.3 Total Pixels Classified : 1209

Kappa = 0.826 VAR = 0.000159 Z statistic = 65.376 and The two-tailed Z test = 1.960000

**r22\_t1 (rede com 22 neurônios na camada oculta - 1º treinamento)**

Reference data

Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var	
1	223	0	37	24	0	284	78.5	24.390	0.000	0.000000
2	0	241	0	11	2	254	94.9	54.326	0.723	0.000878
3	4	8	209	12	0	233	89.7	35.623	0.935	0.000297
4	39	0	0	265	8	312	84.9	30.464	0.871	0.000597
5	6	1	0	3	116	126	92.1	34.202	0.796	0.000683
U	0	0	0	0	0	0	0.0			
TOTAL	272	250	246	315	126	1209				
Produ.	82.0	96.4	85.0	84.1	92.1					

OVERALL : 87.2 Total Pixels Classified : 1209

Kappa = 0.837 VAR = 0.000151 Z statistic = 68.164 and The two-tailed Z test = 1.960000

**r22\_t2 (rede com 22 neurônios na camada oculta - 2º treinamento)**

Reference data

Class	1	2	3	4	5	TOTAL Users	Z	K(cond)	Var	
1	223	0	34	34	0	291	76.6	23.314	0.000	0.000000
2	0	236	0	3	3	242	97.5	77.310	0.698	0.000898
3	4	6	212	18	0	240	88.3	33.687	0.969	0.000157
4	45	0	0	260	14	319	81.5	27.052	0.854	0.000642
5	0	8	0	0	109	117	93.2	35.710	0.750	0.000768
U	0	0	0	0	0	0	0.0			
TOTAL	272	250	246	315	126	1209				
Produ.	82.0	94.4	86.2	82.5	86.5					

OVERALL : 86.0 Total Pixels Classified : 1209

Kappa = 0.822 VAR = 0.000163 Z statistic = 64.392 and The two-tailed Z test = 1.960000

CLASSIFICADOR POR MAXIMA VEROSSIMILHANÇA

Reference data

Class	1	2	3	4	5	TOTAL	Users	Z	K(cond)	Var
1	162	0	44	15	0	221	73.3	18.063	0.000	0.000000
2	47	242	25	45	18	377	64.2	20.163	0.656	0.001317
3	4	2	177	5	0	188	94.1	43.560	0.549	0.000740
4	58	0	0	245	7	310	79.0	24.446	0.927	0.000452
5	1	6	0	5	101	113	89.4	27.533	0.716	0.000859
TOTAL	272	250	246	315	126	1209				
Produ.	59.6	96.8	72.0	77.8	80.2					

OVERALL : 76.7

Kappa = 0.703    VAR = 0.000237    Z statistic = 45.698 and The two-tailed Z test = 1.960000

### ANEXO 3

#### MATRIZ DE CONFUSÃO, EXATIDÃO GLOBAL E ÍNDICE KAPPA RELATIVAS ÀS CLASSIFICAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO PELOS CLASSIFICADORES SELECIONADOS (OS VALORES REFEREM-SE AO NÚMERO DE CÉLULAS DAS GRADES GERADAS).

1) Rede Neural Artificial (RNA) com 7 neurônios na camada oculta e padrões de treinamento coletados criteriosamente.

Paisagens	1	2	3	4	5
1	<b>154.367</b>	3.498	2.811	8.123	11
2	3.307	<b>85.264</b>	5.769	2.755	507
3	47.974	3.768	<b>17.483</b>	1.139	1
4	17.876	3.417	435	<b>23.852</b>	95
5	5.002	20.497	491	2.046	<b>1.268</b>
%	67,5	73,2	64,8	62,9	67,4
Total	228.526	116.445	26.989	37.915	1.882

Exatidão global	68,5
Índice kappa	0,54

2) RNA com 5 neurônios na camada oculta e padrões de treinamento coletados criteriosamente.

Paisagens	1	2	3	4	5
1	<b>157.205</b>	2.994	4.436	7.169	43
2	11.424	<b>88.911</b>	7.690	3.063	458
3	36.252	5.046	<b>14.393</b>	822	0
4	21.192	3.989	397	<b>26.261</b>	47
5	2.453	15.504	73	600	<b>1.334</b>
%	68,8	76,4	53,3	69,3	70,9
Total	228.526	116.444	26.989	37.915	1.882

Exatidão global	70,0
Índice kappa	0,55

3) Máxima Verossimilhança e padrões de treinamento coletados criteriosamente.

Paisagens	1	2	3	4	5
1	<b>128.891</b>	2.654	6.028	3.943	2
2	47.626	<b>104.766</b>	9.119	7.746	803
3	16.711	351	<b>11.180</b>	136	0
4	33.913	3.481	641	<b>25.376</b>	60
5	1.385	5.193	21	714	<b>1.017</b>
%	56,4	90,0	41,4	66,9	54,0
Total	228.526	116.445	26.989	37.915	1.882

Exatidão global	65,9
Índice kappa	0,49

4) RNA com 11 neurônios na camada oculta e padrões de treinamento coletados aleatoriamente.

Paisagens	1	2	3	4	5
1	<b>158.539</b>	4.837	10.606	4.535	12
2	1.513	<b>74.996</b>	168	1.722	712
3	25.325	19.862	<b>14.510</b>	1.380	3
4	40.973	5.496	1.660	<b>29.593</b>	31
5	2.176	11.254	45	685	<b>1.124</b>
%	69,4	64,4	53,8	78,1	59,7
total	228.526	116.445	26.989	37.915	1.882

Exatidão global	67,7
Índice kappa	0,52

5) RNA com 15 neurônios na camada oculta e padrões de treinamento coletados aleatoriamente.

Paisagens	1	2	3	4	5
1	<b>152.189</b>	4.483	9.657	4.424	1
2	2.378	<b>74.522</b>	562	2.258	612
3	25.007	17.139	<b>15.049</b>	1.088	6
4	44.603	4.959	1.560	<b>29.242</b>	51
5	4.349	15.342	161	902	<b>1.212</b>
%	66,6	64,0	55,8	77,1	64,4
total	228.526	116.445	26.989	37.915	1.882

Exatidão global	66,1
Índice kappa	0,51

6) RNA com 16 neurônios na camada oculta e padrões de treinamento coletados aleatoriamente.

Paisagens	1	2	3	4	5
1	<b>157.292</b>	3.288	9.924	4.287	0
2	972	<b>84.430</b>	592	1.763	622
3	23.104	12.826	<b>13.943</b>	986	2
4	40.916	6.974	1.925	<b>29.822</b>	31
5	6.242	8.927	605	1.057	<b>1.227</b>
%	68,8	72,5	51,7	78,7	65,2
total	228.526	116.445	26.989	37.915	1.882

Exatidão global	69,6
Índice kappa	0,55

7) RNA com 17 neurônios na camada oculta e padrões de treinamento coletados aleatoriamente.

Paisagens	1	2	3	4	5
1	<b>159.552</b>	4.207	10.630	4.181	2
2	793	<b>68.190</b>	85	1.837	646
3	26.290	19.726	<b>14.959</b>	1.339	2
4	36.759	4.523	951	<b>28.972</b>	22
5	5.132	19.799	364	1.586	<b>1.210</b>
%	69,8	58,6	55,4	76,4	64,3
total	228.526	116.445	26.989	37.915	1.882
Exatidão global	66,3				
Índice kappa	0,51				

8) RNA com 22 neurônios na camada oculta e padrões de treinamento coletados aleatoriamente (referente ao 1º treinamento).

Paisagens	1	2	3	4	5
1	<b>160.498</b>	4.844	11.014	4.292	18
2	633	<b>78.893</b>	353	1.958	588
3	22.212	19.174	<b>14.480</b>	894	8
4	40.220	4.967	915	<b>29.584</b>	42
5	4.963	8.567	227	1.187	<b>1.226</b>
%	70,2	67,8	53,7	78,0	65,1
Total	228.526	116.445	26.989	37.915	1.882
Exatidão global	69,1				
Índice kappa	0,54				

9) RNA com 22 neurônios na camada oculta e padrões de treinamento coletados aleatoriamente (referente ao 2º treinamento).

Paisagens	1	2	3	4	5
1	<b>162.266</b>	4.711	10.854	4.786	3
2	1.514	<b>73.172</b>	259	1.804	633
3	23.137	23.039	<b>14.578</b>	1.324	0
4	38.473	5.946	1.118	<b>29.148</b>	64
5	3.136	9.577	180	853	<b>1.182</b>
%	71,0	62,8	54,0	76,9	62,8
Total	228.526	116.445	26.989	37.915	1.882
Exatidão global	68,1				
Índice kappa	0,53				

10) Máxima Verossimilhança e padrões de treinamento coletados aleatoriamente.

Paisagens	1	2	3	4	5
1	<b>115.830</b>	1.749	8.712	1.765	0
2	38.629	<b>96.487</b>	3.550	6.114	873
3	12.267	6.574	<b>13.941</b>	357	1
4	55.746	6.333	715	<b>28.581</b>	37
5	6.054	5.302	71	1.098	<b>971</b>
%	50,7	82,9	51,7	75,4	51,6
Total	228.526	116.445	26.989	37.915	1.882
Exatidão global	62,1				
Índice kappa	0,46				