

**O USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS COMO
MECANISMO DE IDENTIFICAÇÃO DE
LANDFORMS: princípios, metodologia e avaliação da
eficácia.**

JOSÉ AUGUSTO DE LOLLO

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho", como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Livre-
docente nas disciplinas "Geologia para Engenheiros
I e Geologia para Engenheiros II".

Ilha Solteira, Julho de 2000

1210001170



1070100 - geologia
NRD 003/01 - lue 040/01

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCN. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBO 31/3/01
REGISTRADO POR Lollo	TOMBO 1170
AQUISIÇÃO Deacaf R\$ 10,00 Autor	CLASSIFICAÇÃO Lp 828

AGRADECIMENTOS

A todas as pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com esse trabalho, em especial aos bolsistas de Iniciação Científica que trabalharam em projetos à ele relacionados, por seu esforço e dedicação: Almir Rogério do Carmo, Agnaldo Pereira da Silva, Christian Von Ammon, Cláudio Martins Guilherme, Cíntia Magda Gabriel de Oliveira, Darcília Ruani Jordão, Otoniel Pereira da Costa, e Aurélio Lima e Silva.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelos Auxílios à Pesquisa concedidos através dos Processos 96/7608-9 e 98/12333-2, sem os quais o desenvolvimento deste trabalho seria inviável.

A Rossana, Marcela e Rafaela, pelos momentos de felicidade que sempre me abasteceram de entusiasmo durante o período de execução desse trabalho.

A Deus a quem devo tudo que tenho e sou.



SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 OBJETIVOS.....	04
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
3.1 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO TERRENO.....	05
3.1.1 Conceituação de Landform.....	05
3.1.2 Processo de Análise.....	09
3.1.3 Aplicações da Técnica.....	18
3.2 REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS.....	24
3.2.1 Bases e Princípios.....	24
3.2.2 Desenvolvimento.....	26
3.2.3 Técnicas mais Recentes.....	33
3.2.4 Aplicações mais Comuns.....	36
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA.....	38
3.3.1 Localização.....	39
3.3.2 Clima.....	40
3.3.3 Vegetação.....	41
3.3.4 Hidrologia e Hidrogeologia.....	42
3.3.5 Geomorfologia.....	44
3.3.6 Geologia.....	46

SUMÁRIO

4 METODOLOGIA.....	55
4.1 ASPECTOS GERAIS.....	55
4.2 UNIDADES DE TERRENO PRESENTES NA ÁREA.....	62
4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	66
4.3.1 Levantamento dos Perfis das Unidades.....	67
4.3.2 Levantamento dos Modelos Digitais das Unidades.....	68
4.4 ELABORAÇÃO DAS REDES NEURAIIS.....	70
4.5 TREINAMENTO DAS REDES NEURAIIS.....	74
4.5.1 Unidades Representadas por Perfis.....	74
4.5.2 Unidades Representadas por Modelos Digitais.....	76
5 RESULTADOS OBTIDOS.....	83
5.1 UNIDADES REPRESENTADAS POR PERFIS.....	83
5.2 UNIDADES REPRESENTADAS POR MODELOS DIGITAIS.....	86
6 ANÁLISES.....	89
6.1 FASE DE TREINAMENTO.....	89
6.2 TESTE DE EFICÁCIA.....	90
7 SISTEMATIZAÇÃO DA APLICAÇÃO.....	91
8 CONCLUSÕES.....	93
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXO 1 – LISTAGEM DO APLICATIVO MALHA.LSP	
ANEXO 2 – EXEMPLO DA SAÍDA DO APLICATIVO MALHA.LSP	
ANEXO 3 – LISTAGEM DAS REDES NEURAIIS UTILIZADAS	



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação da delimitação de sistemas de terreno.....	11
Figura 2: Representação da delimitação de unidades de terreno.....	13
Figura 3: Representação da delimitação de elementos de terreno.....	14
Figura 4: Representação esquemática da utilização da técnica.....	17
Figura 5: Avaliação do terreno para aproveitamento regional.....	19
Figura 6: Zoneamento visando aproveitamento agrícola.....	20
Figura 7: Uso para levantamento de agregado para construção.....	22
Figura 8: Zoneamento de condições de estabilidade de terrenos.....	23
Figura 9: Representação do neurônio biológico.....	25
Figura 10: Estrutura esquemática do neurônio biológico.....	26
Figura 11: Representação do neurônio booleano.....	27
Figura 12: Funções de ponderação mais comuns.....	27
Figura 13: Rede múltipla de ROSENBLATT.....	28
Figura 14: Estrutura da rede de RUMMELHART, HINTON E WILLIAMS.....	34
Figura 15: Localização da área estudada.....	39
Figura 16: Distribuição dos tipos climáticos presentes na área.....	40
Figura 17: Distribuição dos tipos vegetais presentes na área.....	41
Figura 18: Bacias hidrográficas presentes na área.....	42
Figura 19: Sistemas aquíferos presentes na área estudada.....	44
Figura 20: Associações geomorfológicas presentes na área.....	45
Figura 21: Mapa geológico simplificado da área.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 22: Principais grupos pedológicos presentes na área.....	54
Figura 23: Representação esquemática dos landforms presentes na área.....	57
Figura 24: Representação do perfil longitudinal das unidades.....	60
Figura 25: Representação do perfil transversal das unidades.....	61
Figura 26: Obtenção dos perfis unidades de terreno.....	67
Figura 27: Unidade de terreno digitalizada.....	68
Figura 28: Representação tridimensional da unidade.....	69
Figura 29: Malha sobreposta à unidade.....	69
Figura 30: Representação da unidade morro amplo anguloso na malha usada.....	81
Figura 31: Representação da unidade morrote pequeno anguloso na malha.....	81



LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critérios de reconhecimento dos landforms.....	58
Tabela 2: Classificação das unidades de terreno segundo seu perfil longitudinal...	59
Tabela 3: Classificação das unidades de terreno segundo seu perfil transversal.....	59
Tabela 4: Vetores ilustrativos de perfis das unidades de terreno.....	68
Tabela 5: Intervalos de número de iterações – perfis longitudinais.....	85
Tabela 6: Intervalos de número de iterações – perfis transversais.....	85
Tabela 7: Intervalos de número de iterações – colinas.....	87
Tabela 8: Intervalos de número de iterações – morros.....	87
Tabela 9: Intervalos de número de iterações – morrotes.....	88



RESUMO

LOLLO, J.A. *Uso de redes neurais artificiais como mecanismo de identificação de landforms: princípios, metodologia e avaliação da eficácia*. Ilha Solteira, 2000. Tese (livre-docência) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 119p.

O presente trabalho representa uma proposta de utilização de redes neurais artificiais para a identificação de *landforms* com base na técnica de avaliação do terreno, e o teste da eficácia deste processo de reconhecimento de unidades de terreno. Os dados tratados englobam doze diferentes unidades de terreno presentes em áreas de relevo de colinas e de morros e morrotes presentes numa área com cerca de 17.000km^2 localizada entre os paralelos $22^{\circ}00'$ e $23^{\circ}00'S$ e os meridianos $46^{\circ}30'$ e $48^{\circ}00'W$, tendo sido escolhida em função de sua diversidade geomorfológica, com a finalidade de se avaliar, de forma mais completa possível, o desempenho a técnica. As unidades de terreno tratadas foram representadas de duas maneiras diferentes (através de seus perfis longitudinal e transversal e através de seu modelo digital do terreno) para fins de seu reconhecimento pelas redes neurais. As redes neurais artificiais desenvolvidas têm como principais características uma arquitetura simples e o uso da retropropagação como técnica de aprendizado. Os resultados mostraram que a aplicação é viável desde que os dados de entrada sejam definidos de forma clara e as redes neurais artificiais sejam bem ajustadas e treinadas para esta finalidade.

Palavras-chave: redes neurais artificiais, *landform*, avaliação do terreno.



ABSTRACT

LOLLO, J.A. *Artificial neural networks use in landform recognition: principles, methodology and efficacy evaluation*. Ilha Solteira, 2000. Tese (livre-docência) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 119p.

This study presents a proposal for artificial neural networks use for landforms recognition throw terrain evaluation technique and the efficacy test of this recognition process. The group of landforms involve twelve terrain units of hills, mounds and mounts presents in an area that measures around 17.000km^2 between the meridians $46^{\circ}30'$ and $48^{\circ}00'$ WG and the parallels $22^{\circ}00'$ and $23^{\circ}00'$ S, and this area was chosen due your geomorphologic diversity, with the finality of evaluate the technique in the most complete mean. Terrain units treated was represented in two different forms (throw their longitudinal and transversal profiles and throw their digital terrain model) for neural artificial networks recognition. The developed neural artificial networks have simple architecture and uses backpropagation learn technique. The results show that this application is practicable since input data had intelligible definition and artificial neural networks were trained and fitted for this situation.

Key words: artificial neural networks, landform, terrain evaluation.



1 INTRODUÇÃO

As preocupações de ordem social, econômica e legal com a adequação das atividades de ocupação dos espaços tornam cada dia mais importante o conhecimento preciso das condições do meio físico. Estas preocupações envolvem, em última análise, o uso mais adequado e a preservação de recursos naturais, visando redução de custos com implantação e obras de recuperação além de proporcionar a redução de impactos negativos.

Como consequência disso, o conhecimento do meio físico passou a ocupar um lugar de destaque entre as informações fundamentais para o planejamento, proporcionando as condições básicas para a elaboração de propostas mais racionais de ocupação dos espaços.

Os métodos tradicionais de caracterização de unidades do meio físico sempre tiveram como suporte a realização de extensos trabalhos de campo, com significativa necessidade de amostragem e realização de ensaios, como forma de levantar as características dos materiais rochosos e inconsolidados presentes em uma determinada região.

Por outro lado, a utilização de técnicas de interpretação de produtos de sensores remotos, como a avaliação do terreno (*terrain evaluation*), pode proporcionar levantamentos mais ágeis e com menor custo.

Desde a década de 50 profissionais de diversos campos de atuação têm utilizado a técnica de avaliação do terreno como ferramenta para o zoneamento prévio do meio físico. Sua aplicação baseia-se no reconhecimento de formas de relevo (*landforms*) e da associação entre o estágio evolutivo de sua morfogênese e as condições de ocorrência de materiais do subsolo a elas associados.



O reconhecimento, interpretação e análise destes *landforms*, segundo a técnica tradicional, se dá através da interpretação de produtos de sensores remotos (fotografias aéreas na maioria dos casos) e/ou trabalhos de campo, requerendo muitas vezes um longo tempo de interpretação e análise para a definição destas unidades.

Este intervalo de tempo relativamente longo gasto em interpretação tem sido um dos principais obstáculos à utilização da técnica em aplicações nas quais se deseja agilidade no processo ou o desenvolvimento de trabalhos em grandes áreas.

Como a técnica de avaliação do terreno constitui-se num caso típico de reconhecimento de padrões, uma forma possível de equacionar este inconveniente seria considerar a possibilidade de utilização de técnicas digitais de reconhecimento destes *landforms*, tornando este reconhecimento mais ágil, desde que a sistemática adotada seja despida de subjetividade.

Dentro deste contexto uma possibilidade vislumbrada para este tipo de aplicação foi o uso de técnicas de inteligência artificial (no caso presente redes neurais artificiais) que se tornou objeto do presente projeto, cujo objetivo foi o desenvolvimento de uma sistemática de utilização deste mecanismo para o reconhecimento de unidades de terreno e o teste de sua eficácia.

O trabalho desenvolvido pode ser dividido em duas etapas segundo a forma de descrição das unidades de terreno. Numa primeira etapa tentou-se tal tipo de análise tendo como ponto de partida a representação dos *landforms* segundo seus perfis longitudinal e transversal o que proporcionou resultados razoáveis, porém com algumas limitações, razão pela qual optou-se, na sequência, por tentar este tipo de aplicação usando-se a descrição *landforms* a partir de seu modelo digital do terreno, proposta esta que apresentou melhores resultados.



Com o objetivo de se atingir tal finalidade foram efetuados testes de uso da técnica de redes neurais artificiais em avaliação do terreno numa área já previamente estudada, confrontando-se os resultados obtidos através da identificação de padrões de relevo com a aplicação de redes neurais artificiais com aqueles anteriormente obtidos pela aplicação tradicional da técnica de avaliação do terreno.

As condições básicas requeridas para a área a ser estudada envolviam uma diversidade geomorfológica que possibilitasse este teste para diferentes tipos de unidades de terreno e a existência de trabalhos prévios de levantamento das condições do meio físico. Estas condições foram encontradas na Quadricula de Campinas (escala 1:250.000) a qual apresenta uma diversidade de formas de relevo interessante e que tem sido alvo, há mais de dez anos, de trabalhos de caracterização do meio físico, inclusive com o uso da técnica de avaliação do terreno.

O processo de teste desta aplicação pode ser descrito resumidamente como um conjunto de três etapas: levantamento dos dados e sua descrição numa forma facilmente identificável para uma rede neural artificial; treinamento da rede neural no reconhecimento daquele padrão; teste de eficácia deste reconhecimento utilizando-se outros indivíduos pertencentes à mesma classe, porém não pertencentes ao conjunto de treinamento da rede.

Os resultados obtidos demonstram que o uso de redes neurais artificiais para esta finalidade apresenta de fato um bom potencial de utilização desde que sua aplicação respeite as particularidades do processo, tais como a forte similaridade existente entre unidades de terreno pertencentes a classes distintas.

2 OBJETIVOS

O conjunto de atividades desenvolvidas no âmbito do presente trabalho visou atingir os seguintes objetivos:

- Desenvolver redes neurais artificiais apropriadas ao reconhecimento de unidades de terreno descritas segundo os critérios da técnica de avaliação do terreno;
- Verificar a eficácia do uso destas redes neurais artificiais no reconhecimento dos landforms considerados; e
- Propor uma sistematização de uso da técnica de avaliação do terreno associada a redes neurais artificiais visando sua aplicação em levantamentos de condições do meio físico.



3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como o trabalho ora apresentado compreende a utilização combinada de duas técnicas (avaliação do terreno e redes neurais artificiais) e o teste de sua aplicação em uma certa área, parece razoável que cada um dos assuntos seja tratado separadamente na revisão bibliográfica.

3.1 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO TERRENO

A técnica de avaliação do terreno se baseia no reconhecimento, interpretação e análise de formas do relevo (denominadas *landforms*) as quais, sendo reflexo dos processos naturais atuantes sobre os materiais da superfície terrestre, devem refletir as condições dos mesmos.

Uma das primeiras tarefas para se entender as possibilidades de uso dos *landforms* como ferramenta de análise das condições do terreno é um bom entendimento do significado e amplitude do conceito. Porém a grande disseminação do uso de *landforms* para análise da paisagem e as múltiplas aplicações que o termo tem tido fazem com que existam conceitos com significados ligeiramente diferentes para o mesmo termo, razão pela qual a apresentação e análise destes conceitos é fundamental.

3.1.1 Conceituação de Landform

Alguns conceitos apresentam caráter eminentemente fisiográfico descrevendo *landform* como uma parcela do terreno passível de individualização das demais:



- para HOWARD & SPOCK (1940) *landform* pode ser definido como "qualquer elemento da paisagem caracterizado por uma expressão distinta da superfície ou da estrutura interna, ou ambas, e suficientemente evidente para ser incluído numa descrição fisiográfica";

- BELCHER (1946) descreve *landform* como "elementos do meio físico que possuem composição definida, assim como as variações das características visuais e físicas, tais como : forma topográfica, modelo de drenagem e morfologia:";

- de forma resumida GARNER (1974) define *landform* como "uma forma discreta desenvolvida sobre uma área da litosfera";

- considerando o aspecto da variabilidade interna COOKE & DOORNKAMP (1978b) afirmam que "estas unidades homogêneas podem apresentar uma variação interna relativamente pequena em suas propriedades geomorfológicas, sendo, porém cada uma delas diferente das unidades vizinhas";

- MONKHOUSE & SMALL (1978) descrevem o termo como "o contorno, forma e natureza de uma feição específica da superfície da terra";

- KRIEG & REGER (1986) o definem como "elemento da paisagem que possui composição, e variação de propriedades visuais e físicas definidas como forma topográfica, padrão de drenagem e morfologia de canais, que ocorrem em todos os locais onde o landform ocorra".

Outros autores, porém preferem caracterizar *landform* em função de suas características genéticas:

- MITCHELL (1948) apresenta uma visão interpretativa para o termo, descrevendo-o como "forma fisiográfica considerada em relação à sua origem, causa ou história";

- para RUHE (1969, *apud* DANIELS, GAMBLE & CADY, 1971) o termo pode ser entendido como "uma feição do terreno produzida por um conjunto particular de processos";

- WAY (1973) define o termo como "feições do terreno formadas por processos naturais que apresentam uma composição e tamanho definível de características físicas e visuais que ocorram em qualquer local que a feição esteja";

- segundo BATES & JACKSON (1980) o termo descreve "qualquer contorno ou feição física reconhecível da superfície da terra que possua uma forma característica e que seja produzida por causas naturais".

Em alguns casos os materiais (solos e rochas) presentes são utilizados como critério de definição e descrição:

- GREGORY (1978) define *landform* como " $F = \int (PM) dt$ " onde F é o *landform*, P são os processos responsáveis por sua formação e M são os materiais que o compõem;

- segundo WOLF (1983) o termo descreve uma "porção do terreno com forma topográfica, origem geológica, rochas e solos específicos";

- para FOOKES & VAUGHAN (1986) *landform* pode ser entendido como "o produto de interações extremamente complexas entre a resistência dos materiais presentes na terra de um lado e as forças tectonicamente e climaticamente derivadas de outro".

A importância das estruturas geológicas no desenvolvimento da forma é considerada por alguns autores:

- HUNT (1974) destaca a importância da estrutura geológica ao definir *landform* como "uma forma física do terreno que reflete a estrutura geológica e os processos geomorfológicos que a tenham esculpido";

- já GEODFREY & CLEAVES (1991) descrevem *landform* como "parte da paisagem que geralmente pode ser visualizada em termos de sua integridade e reflete a litologia, a geologia estrutural e os processos geomórficos que a tenham produzido".

Outro aspecto importante diz respeito à distinção entre formas devidas a processos erosivos ou deposicionais, tendo sido considerado por RICE (1956) e AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (1974), descrevendo o termo como "aplicado por geógrafos para cada uma das diversas feições presentes na superfície da terra, incluindo tanto feições grandes como planícies, platôs e montanhas, como feições menores como escarpas, vales e encostas, muitas delas sendo produtos de erosão, mas havendo também formas devidas a processos deposicionais".

Em virtude desta diversidade de enfoques considerados na conceituação de *landform* optou-se, no presente trabalho, pela adoção de um conceito operacional considerado adequado à aplicação em questão. Tal conceito operacional deveria então satisfazer às seguintes exigências:

- apresentar uma descrição tipicamente fisiográfica de *landform* (possibilitando seu uso através do simples reconhecimento da forma, sem análises ou interpretações);
- não fazer distinções entre formas erosivas e deposicionais (diferença considerada relevante apenas na etapa de análise dos resultados);
- não usar os materiais como critério de distinção da forma de terreno (já que a diferença entre propriedades dos materiais deve ser uma consequência da eficiência da técnica e não um critério de análise); e
- não explicitar a influência da estrutura geológica (deixando-se esta consideração para análises posteriores).

Com base nos princípios acima estabelecidos LOLLO (1995) propôs o seguinte conceito operacional para *landform*: "porção do terreno originada de processos naturais e distinguível das porções vizinhas (demais *landforms*) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes, e amplitude de relevo". Uma vez adotado o conceito operacional pode-se então passar à aplicação da técnica, a qual será sucintamente descrita em termos dos procedimentos adotados.

3.1.2 Processo de Análise

O pressuposto básico da técnica de avaliação do terreno é a possibilidade de se dividir determinada área em parcelas a partir do uso de produtos de sensores remotos (mais comumente fotografias aéreas) ou de trabalhos de campo, sendo o critério de zoneamento a uniformidade de parcelas termos de fisiográficos, para posteriormente proceder à avaliação das propriedades dos materiais presentes nestas unidades.



Os níveis hierárquicos utilizados para este tipo de zoneamento são sistema de terreno (*land system*), unidade de terreno (*land unit*) e elemento de terreno (*land element*).

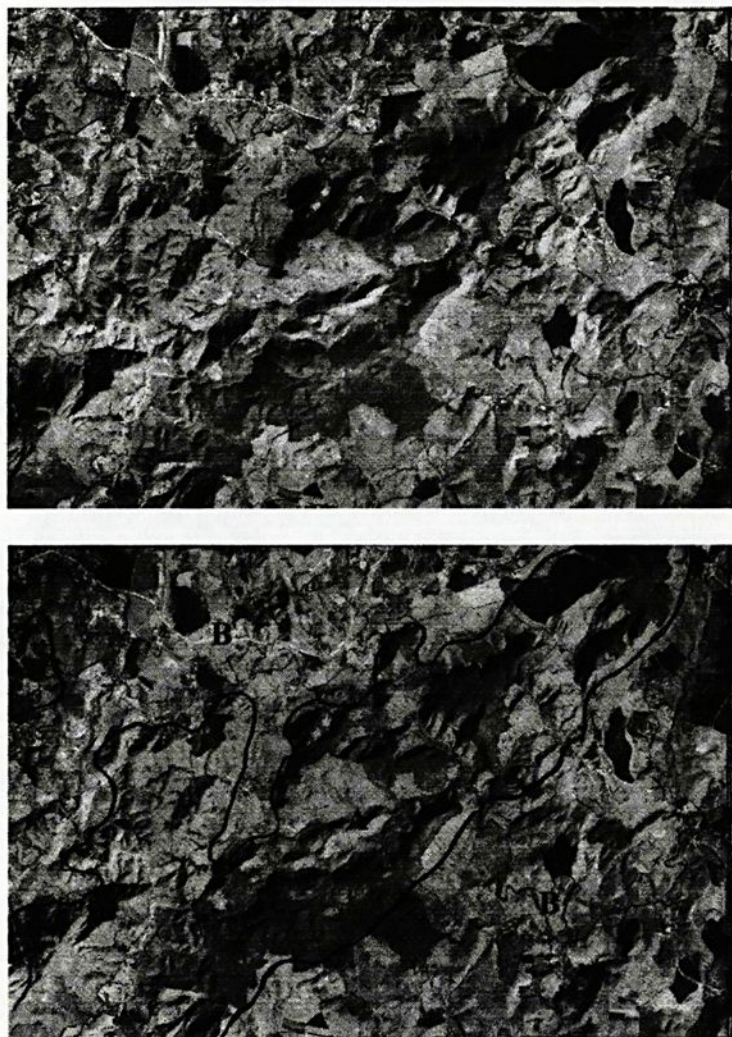
Os procedimentos mais comumente usados para esta análise encontram-se em COOKE & DOORNKAMP (1978b e 1978c), GARTNER (1980), BOYER (1981), DOUGLAS & SPENCER (1982), EDWARDS (1982), GARCIA (1982), VAN ZUIDAM (1982), MITCHELL (1987), HAWKINS (1990), e GEODFREY & CLEAVES (1991). No presente texto estes procedimentos serão descritos apenas de forma resumida.

O sistema de terreno é o maior dos níveis hierárquicos, podendo ser descrito como "associação de feições de relevo com expressão espacial determinada e que representa condições similares de processos evolutivos e de materiais rochosos associados".

Sua delimitação se dá através de aerofotointerpretação. Tal procedimento se inicia com a observação do fotomosaico da área de estudo, sendo feito um zoneamento prévio que depois é aperfeiçoado através do uso de estereopares, seguido de observação de mapas topográficos da região, possibilitando então a obtenção do mapa de sistemas de terreno.

Um exemplo desta distinção entre sistemas de terreno pode ser observado na Figura 1 onde se apresenta um estereopar passível de visualização com estereoscópio de bolso.





Sistema A: feições mais elevadas e sulcadas, compreendendo morros e morrotes alongados e alinhados, de topo anguloso, associados a vales profundos e fechados com alta frequência de canais e padrão dendrítico.

Sistema B: formas mais suaves e rebaixadas incluindo colinas e morrotes pequenos e alongados com topos angulosos a ondulados, associados a vales profundos e fechados, com alta frequência de canais e padrão dendrítico.

Figura 1 - Representação da delimitação de sistemas de terreno.

Nível hierárquico logo abaixo do sistema de terreno, a unidade de terreno pode ser descrita como, "feição individual do relevo que se distingue das demais às quais está associada por indicar um determinado subconjunto de processos do sistema de terreno o qual se situa, sendo que estas diferenças devem se refletir em termos dos materiais inconsolidados associados à unidade".

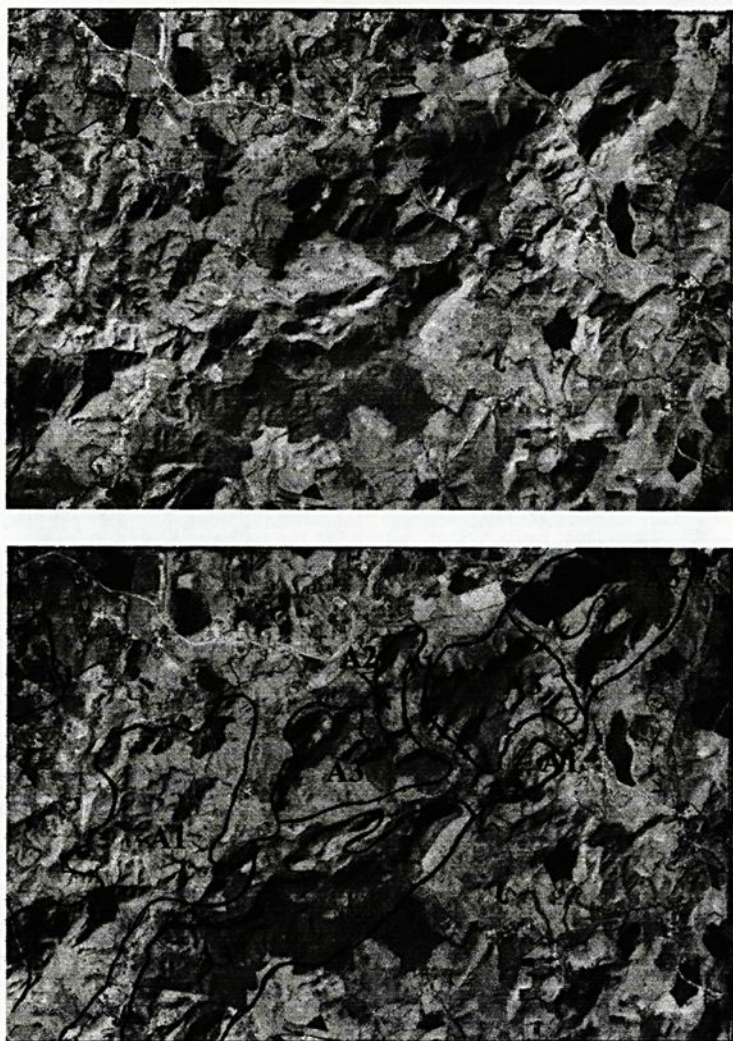
Sua delimitação se dá com base em características geomorfológicas, tais como forma topográfica, amplitude de relevo, inclinação de vertentes e características de organização da drenagem em termos de frequência e estruturação de canais.

O zoneamento de unidades de terreno consiste primeiramente na divisão dos sistemas através de fotoanálise de estereopares, seguida de trabalho de campo que consiste na confecção de seções-tipo que visam a verificação das unidades delimitadas e de seus limites, seguida de uma etapa final de fotoanálise de estereopares com as atividades de generalização, e finalizada com a elaboração do mapa de unidades de terreno. A figura 2 ilustra este tipo de zoneamento.

O elemento de terreno corresponde a uma divisão de unidade que pode ser entendida como "parte de uma feição individual do relevo distinguível das demais partes em termos de inclinação ou forma de vertente, inconsolidados em termos de espessura ou de variações laterais no perfil de alteração dos materiais inconsolidados".

O zoneamento é feito da mesma maneira que o utilizado para a unidade de terreno, apenas considerando o maior nível de detalhe requerido e o possível uso do enfoque paramétrico (utilização de medidas das formas de relevo) para a distinção de certas características, além do processo chamado fotodedução. Na Figura 3 pode-se observar um exemplo de distinção entre elementos de terreno.



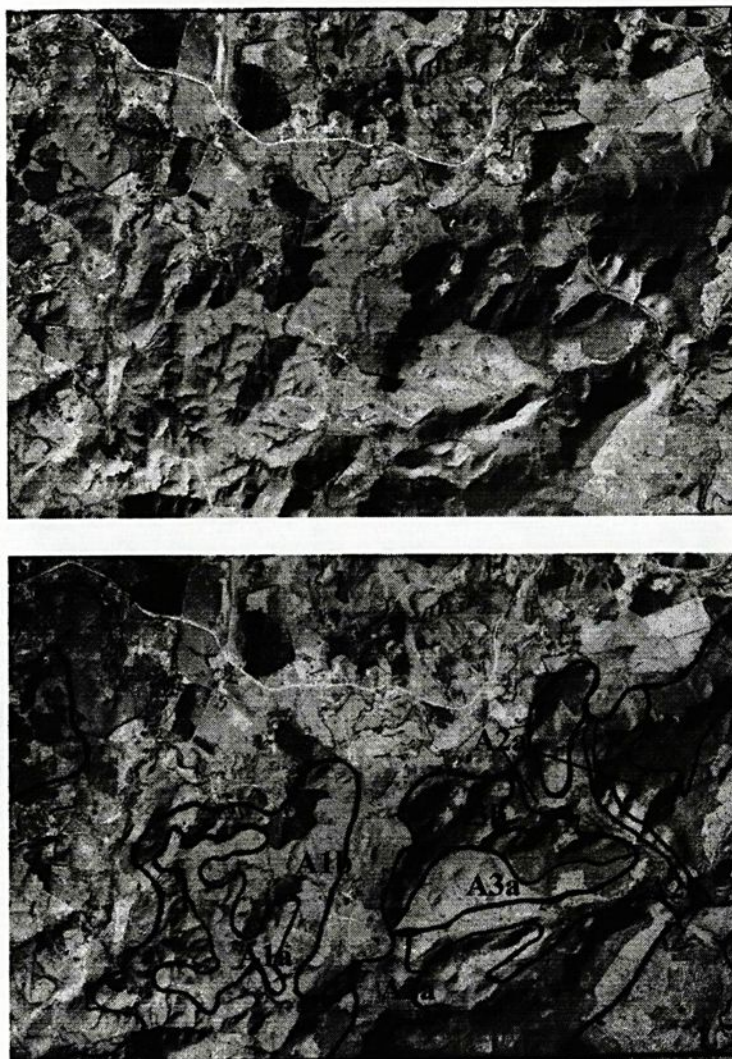


Unidade A1: morrotes médios alongados de topo arredondado a pouco anguloso com média freqüência de canais e encostas convexas a retilíneas, apresentando declividades moderadas (entre 5 e 10% predominantemente).

Unidade A2: vales médios fechados e profundos com encostas convexas dissecadas e freqüência de canais muito alta, declividades altas (sempre superiores a 20%).

Unidade A3: morros extensos alongados de topo predominantemente anguloso com encostas muito íngremes de forma retilínea com alta freqüência de canais e declividades altas (sempre superiores a 20%).

Figura 2 - Representação da delimitação de unidades de terreno.



Elemento A1a: topo - menores declividades, perfis de alteração mais profundos.

Elemento A1b: encostas retilíneas - maiores declividades, erosão, perfis de alteração menos profundos.

Elemento A2a: encostas dissecadas - erosão, perfis menos espessos.

Elemento A2b: fundo do vale - menores declividades, perfis mais espessos.

Elemento A3a: encostas convexas - menor declividade, perfis mais espessos.

Elemento A3b: encostas retilíneas dissecadas - maior declividade, erosão, perfis menos espessos.

Figura 3 - Representação da delimitação de elementos de terreno.

A sistematização da técnica pode ser assim apresentada segundo LOLLO (1995):

A. Levantamento de Informações e Materiais:

obtenção de produtos de sensores remotos, mapas existentes, informações de investigações geotécnicas anteriores executadas na área estudada e obtenção ou elaboração da base cartográfica.

B. Uso de Fotos Aéreas / Avaliação do Terreno:

b.1 Montagem do Fotomosaico

b.2 Delimitação de Sistemas de Terreno:

interpretação do fotomosaico
fotointerpretação preliminar
uso de mapas topográficos
generalizações
fotointerpretação final
mapa de sistemas de terreno

b.3 Delimitação de Unidades de Terreno:

fotoanálise preliminar
trabalho de campo (seções-tipo)
generalizações
fotoanálise final
mapa de unidades de terreno



b.4 Delimitação de Elementos de Terreno:

fotodedução preliminar
trabalho de campo (seções-tipo)
generalizações
fotodedução final
mapa de elementos de terreno

C. Uso de Mapas Anteriores:

checagem e análise

D. Caracterização Geotécnica das Unidades:

amostragem e ensaios

E. Elaboração de Mapas e Documentos Relacionados

A Figura 4 representa a aplicação da técnica de avaliação do terreno, considerando os níveis hierárquicos citados.

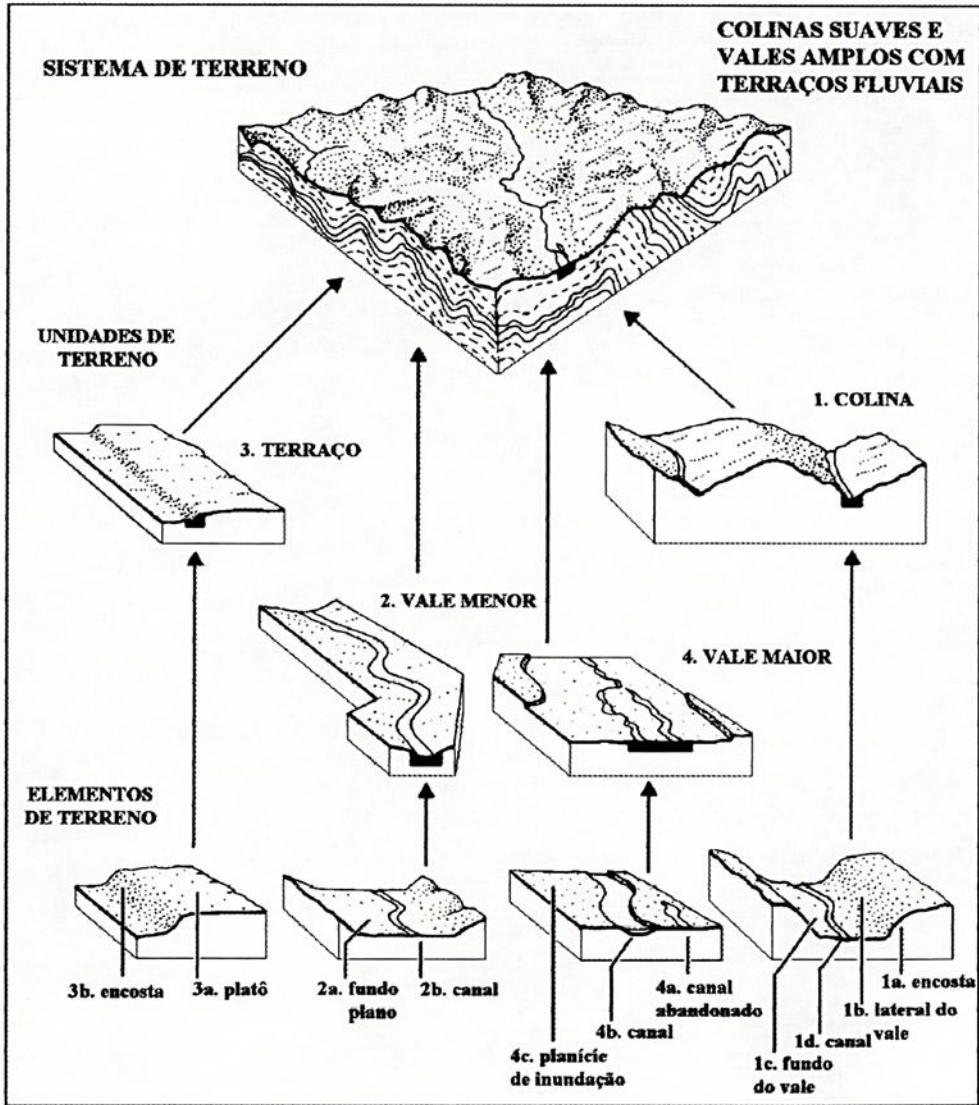


Figura 4 – Representação esquemática da utilização da técnica, modificado de COOKE & DOORNKAMP (1990).

3.1.3 Aplicações da Técnica

Os trabalhos pioneiros de que se tem notícia de uso das formas do terreno como critério de descrição regional se devem a HERBERSON (1905, *apud* GRANT, 1970) e FENNEMAN (1916, *apud* GRANT, 1970), porém a primeira discussão do uso destes elementos para o zoneamento regional se deve a BOURNE (1931) com o "princípio da similaridade dos elementos da paisagem".

A interligação entre os elementos da paisagem e as condições de solos e rochas e como consequência às condições geotécnicas se deve a BELCHER (1942a, 1942b, e 1943).

Após estes trabalhos, foram desenvolvidos estudos visando a utilização de fotografias aéreas para a identificação de formas do terreno e sua aplicação a projetos de engenharia civil, como em BELCHER *et al.* (1943), BELCHER (1946), JENKINS *et al.* (1946), e HITTLE (1949).

A partir do início da década de 50 houve uma grande proliferação de trabalhos com enfoques variados. Os primeiros trabalhos visavam a elaboração, a partir de fotos aéreas, de mapas utilizados para o zoneamento geral multifinalidade de determinada área, como nos trabalhos de MILES (1951), MINTZER & FROST (1952), CHRISTIAN & STEWART (1953), BECKETT & WEBSTER (1962), e MILES (1962).

Com relação à aplicação para fins geotécnicos, tem-se grande variação em termos de escalas e finalidades, determinando características diferentes para os trabalhos, os quais são aqui classificados em três categorias: (1) regional multifinalidade; (2) regional finalidade específica; e (3) local.

No primeiro grupo (trabalhos regionais multifinalidade) incluem-se aqueles que tratam do zoneamento do terreno orientado à identificação de solos com vistas à caracterização e planejamento regional. Neste caso podem ser incluídos trabalhos como os de GRANT (s.d.), SOARES & FIORI (1976), LEGGET (1980), VIBERG & ADESTAM (1980), OKAGBUE (1986), SINGHROY (1986), SMALL (1986), BEAUMONT (1987), KATE & PATHAK (1987), HARDEN (1990), GUPTA (1991) e FORSTER & CULSHAW (1994).

Na Figura 5 pode-se observar o resultado de um zoneamento de tipos de solos objetivando o planejamento regional, apresentado por DUMBLETON (1987) para uma região da Nigéria, sendo as unidades apresentadas em termos de unidades de relevo e solos associados.

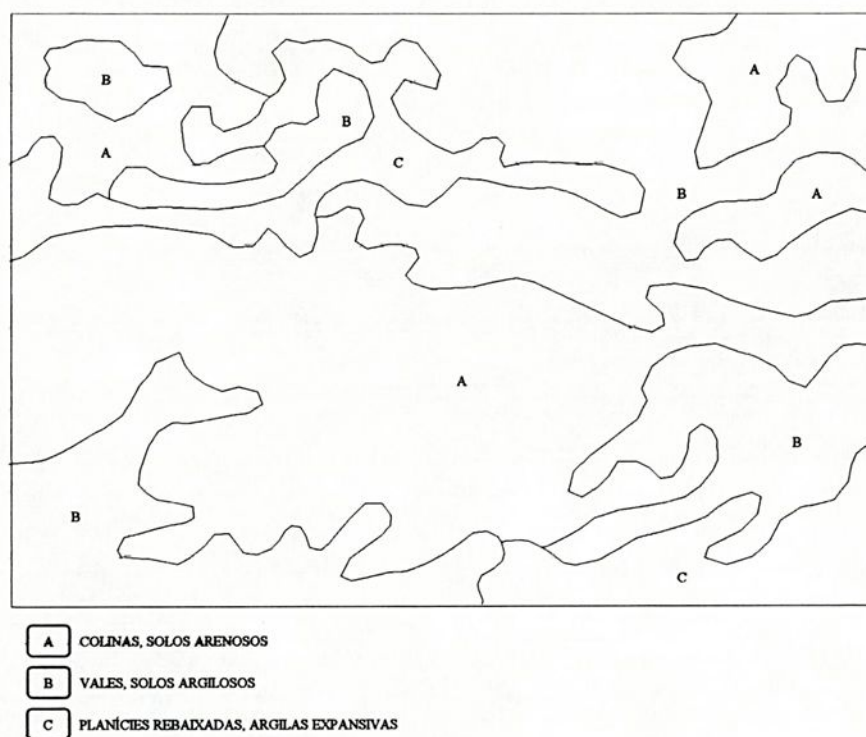


Figura 5 - Uso da avaliação do terreno para zoneamento regional, modificado de DUMBLETON (1987).

Nos trabalhos regionais de finalidade específica os interesses mais comuns são a atividade agrícola, a análise regional de riscos e a avaliação para a implantação de obras lineares. Exemplos interessantes deste tipo de aplicação são os trabalhos de BREYER (1982), JHA (1982), LANYON & HALL (1983), TRAUTMANN (1986), BELL (1987), NAGARAJAN & SHAH (1987), BLISS & REYBOLD (1989), EVANS & ROTH (1992), IRIGARAY *et alii* (1994a), IVINS & BELL (1994), e ROCKAWAY & SMITH (1994).

Uma destas aplicações pode ser observada na Figura 6, onde se apresenta o resultado de um zoneamento efetuado por BREYER (1982) no nordeste de Botswana com o objetivo de avaliar condições limitantes para atividade agrícola, em termos das características dos materiais inconsolidados.

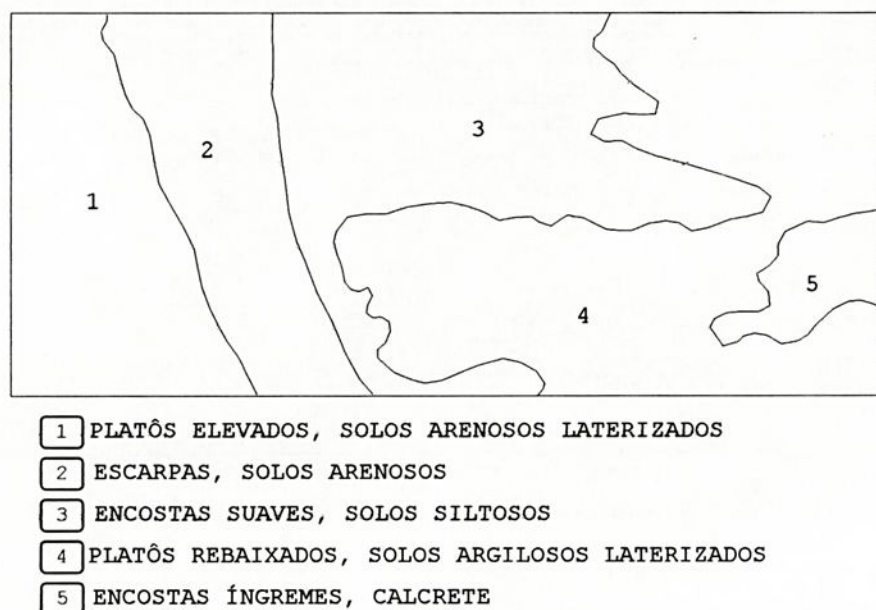
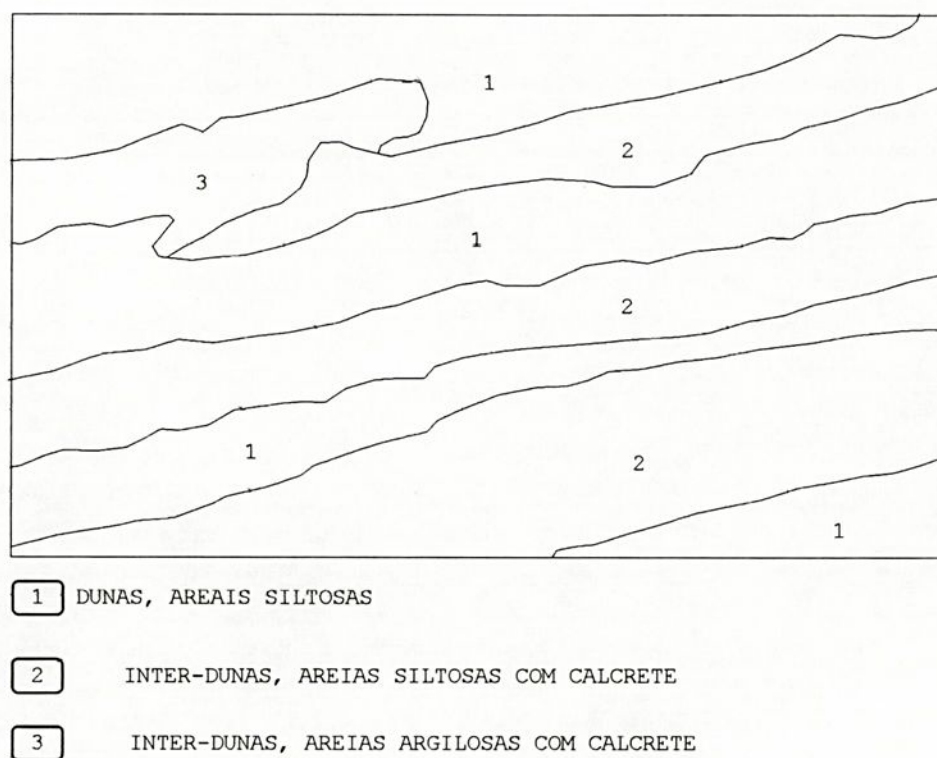


Figura 6 - Zoneamento visando aproveitamento agrícola, modificado de BREYER (1982).

Os trabalhos locais incluem estudos de avaliação do terreno para fins de prospecção de materiais de construção e para análise de risco de estabilidade dos terrenos, como os trabalhos de NANDA & AKINYEDE (1986), SCHOFIELD (1957), ACKROYD (1959), CONNORS (1980), PALMIQUIST & BIBLE (1980), CUNHA *et alii* (1986), CHANDLER & MOORE (1989), FOOKES *et al.* (1991), CHACÓN *et alii* (1994), IRIGARAY *et alii* (1994b), KOARAI *et alii* (1994), LI (1994), PAVLOVIC & MARKOVIC (1994), POTHÉRAT (1994), RUIZ & GIJÓN (1994), WESTEN *et alii* (1994), e YU & JACOBSSON (1994).

Com o objetivo de delimitar áreas de ocorrência de calcrete para sua utilização como agregado para obras rodoviárias na Nigéria NANDA & AKINYEDE (1986) usaram a técnica de avaliação do terreno. O resultado deste trabalho é apresentado na Figura 7, que representa o zoneamento da região em termos dos tipos de materiais e da possibilidade de uso dos mesmos.





**Figura 7 - Uso para levantamento de agregado para construção,
modificado de NANDA & AKINYEDE (1986)**

Um exemplo de aplicação da técnica para a avaliação de estabilidade de terrenos é apresentado na Figura 8. Neste caso o terreno é zoneado em termos das condições de estabilidade e da constatação de evidências de processos de instabilização.

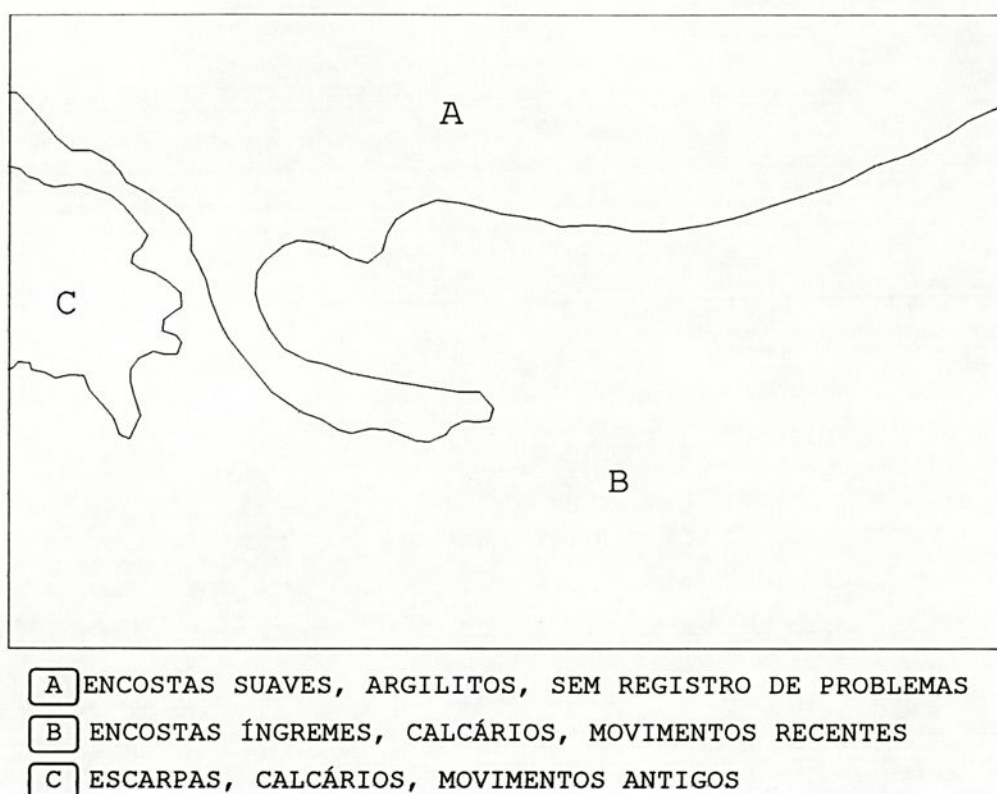


Figura 8 - Zoneamento de condições de estabilidade dos terrenos,
modificado de FOOKES, DALE & LAND (1991)

Em território nacional a aplicação da técnica é relativamente recente, podendo ter seu início caracterizado com ZUQUETTE (1991), porém durante a década de 90 diversos trabalhos foram desenvolvidos com base na aplicação desta técnica, podendo-se destacar alguns considerados mais relevantes, seja do ponto de vista das contribuições metodológicas que proporcionaram ou do tipo de aplicação (multifinalidade ou finalidade específica) considerada: ZUQUETTE *et al.* (1991), SOUZA (1992), ZUQUETTE *et alii* (1992), ZUQUETTE (1993), COLLARES (1994), SARAIVA (1994), LIPORACI (1994), LOLLO (1995), SOUZA (1996), LOLLO (1998), LOLLO & ZUQUETTE (1998), FERES (1998), KOPEZINSKI (1998), RODRIGUES (1998), FONTES (1999), ALMEIDA (2000).

3.2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Apesar de seu desenvolvimento básico já datar de bom tempo, as redes neurais artificiais passaram a ter um uso mais freqüente em problemas de engenharia a partir da década de 90. Este tipo de aplicação se deu primeiramente na área da Engenharia Elétrica, sendo posteriormente adotado por outras áreas da engenharia.

Com relação à Engenharia Civil as primeiras aplicações no exterior datam de 1993 sendo que no Brasil as primeiras aplicações surgem apenas em 1994 e no campo de estudo da geotecnia apenas em 1995.

A escolha da técnica de redes neurais artificiais como mecanismo de análise de padrões se deve principalmente à sua eficácia em problemas desta natureza aliada às facilidades de aplicação da técnica. Nos últimos quatro anos esta utilização tornou-se ainda mais freqüente com o aparecimento no mercado de informática de aplicativos computacionais desenvolvidos para esta finalidade e de pacotes *toolbox* associados a plataformas já conhecidas de tratamento matemático de dados.

O presente texto pretende apresentar um resumo do desenvolvimento das redes neurais artificiais, desde seu início até às técnicas atualmente mais utilizadas em reconhecimento de padrões, para que se esclareça os mecanismos básicos de análise da técnica e sua aplicação no projeto em questão.

3.2.1 Bases e Princípios

Antes que qualquer descrição sobre os dispositivos desenvolvidos é de suma importância o entendimento do funcionamento do neurônio biológico para que se entenda como ele pode ser aproximado por um modelo matemático.



O neurônio biológico pode ser descrito como uma célula capaz de receber informações tratá-las e fornecer sinais de saída em função das informações recebidas e seu tratamento.

Estas informações são recebidas através das conexões sinápticas do neurônio, tratadas no soma (núcleo da célula) do mesmo e transmitidas ao neurônio seguinte através de seu axônio o qual se comunica com outros neurônios transmitindo a informação. Na Figura 9 tem-se uma ilustração do neurônio humano.

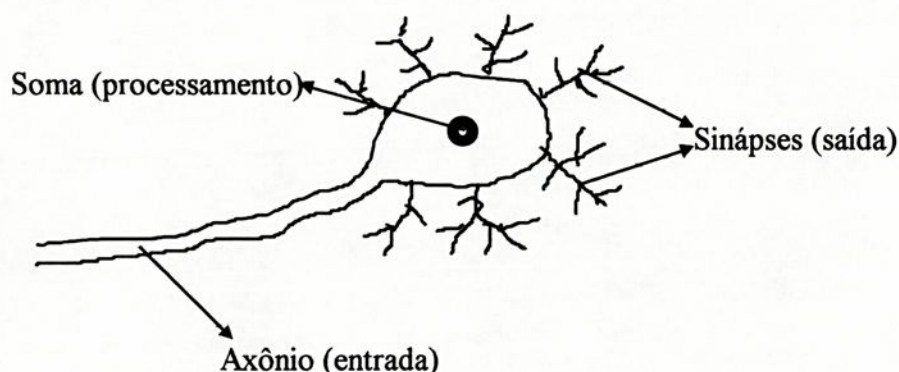


Figura 9 - Representação do neurônio biológico, segundo WASSERMAN (1989).

Os estímulos de entradas recebidos nos dendritos (sinápses) podem ser considerados excitatórios (+) ou inibitórios (-) e a resposta passada pelo soma ao axônio é uma ponderação destes sinais, assim o neurônio humano pode ser aproximado pela estrutura apresentada na Figura 10.

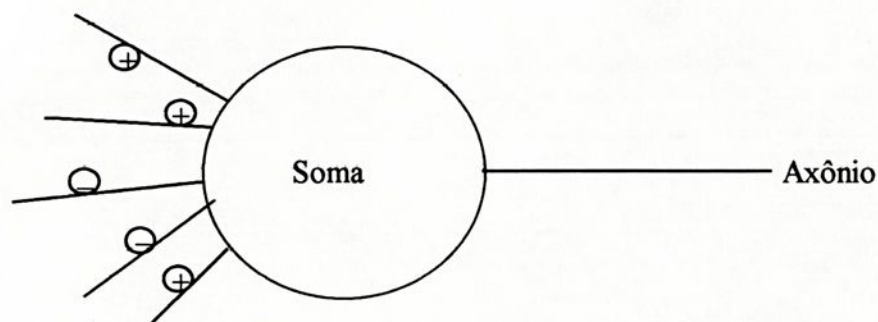


Figura 10 - Estrutura esquemática do neurônio biológico (KOVACKS, 1996).

Desta forma pode-se perceber facilmente que o “resultado final” (saída) apresentado pelo axônio pode ser positivo (excitatório) ou negativo (inibitório) dependendo unicamente da ponderação efetuada e dos estímulos de entrada (recebidos pelas sinapses).

3.2.2 Desenvolvimento

A primeira aproximação lógica do neurônio biológico foi denominado “neurônio booleano de McCulloch” a qual pode ser considerada a referência fundamental no desenvolvimento das redes neurais artificiais, representada pelo artigo “*A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*” publicado em 1943 por MCCULLOCH & PITTS.

A analogia dos autores trata o neurônio humano como um dispositivo de análise que atuaria como um dispositivo binário com duas possibilidades de saída denominadas pulso e não pulso decorrentes da combinação entre as entradas (que poderiam se excitatórias ou inibitórias), funcionando como um discriminador linear que obedeceria ao esquema representado na Figura 11.

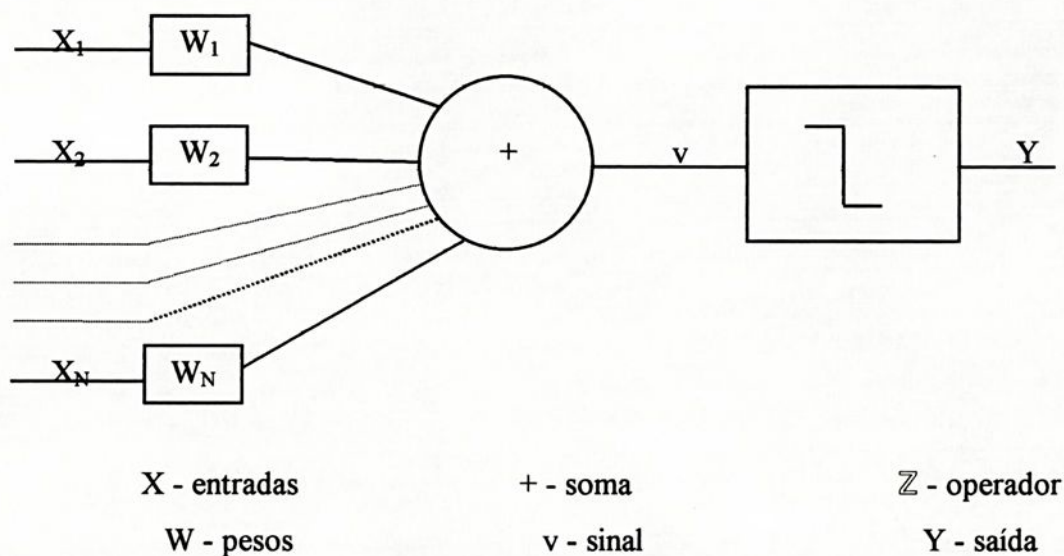


Figura 11 - Representação do neurônio booleano de MCCULLOCH & PITTS (1943).

A partir desta base surgiram diversas propostas de funções lógicas de ponderação (operador) sendo clássicas a reta, o degrau, a exponencial, a sigmóide e a tangente hiperbólica representadas na Figura 12.

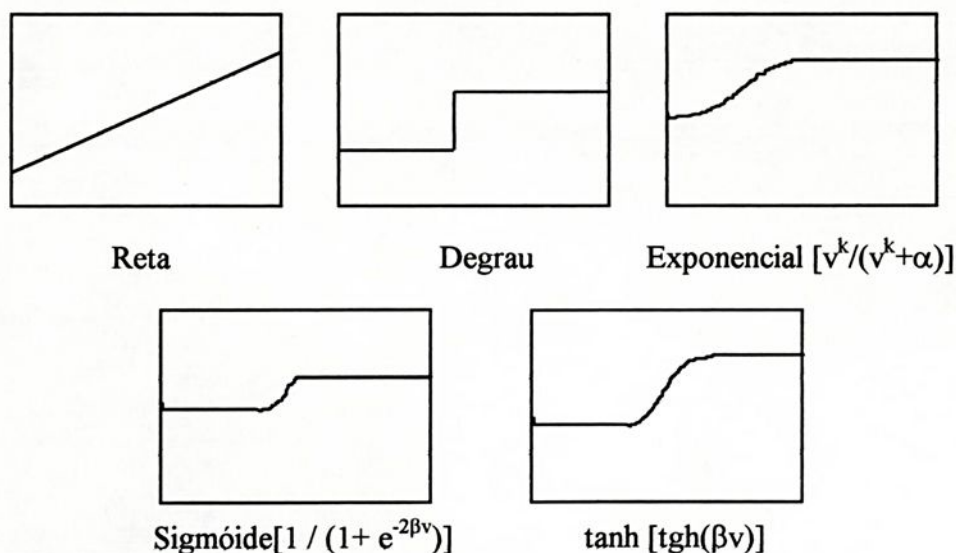


Figura 12 - Funções de ponderação mais comuns (KOVÁCS, 1996).

ROSENBLATT (1958) criou uma rede de múltiplos neurônios do tipo discriminadores lineares, dispostos em camadas, sendo a primeira camada denominada *camada de entrada*, a última sendo a *camada de saída* e as camadas intermediárias denominadas *camadas ocultas*. Tal estrutura pode ser observada na Figura 13.

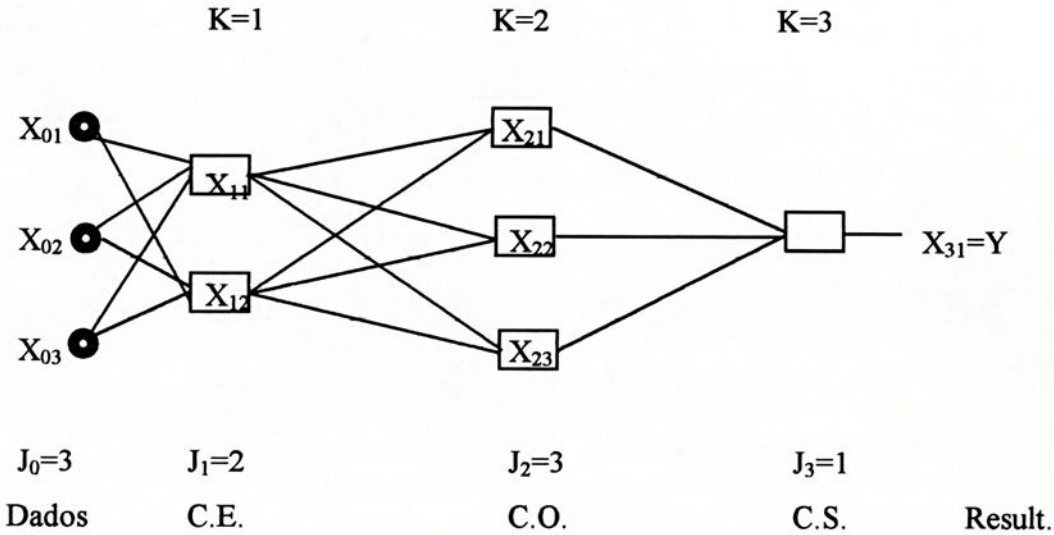


Figura 13 - Rede múltipla de ROSENBLATT (1958).

Para resolver o problema da escolha da função discriminatória e conseqüentemente o modo de ensinar à rede (fazer com que ela interprete determinado sinal da maneira correta) Rosenblatt criou a técnica denominada “Modo de Aprendizado por Exemplos” onde para cada estímulo X^d_1 tem-se uma saída Y^d_1 ($d \rightarrow$ desejável), onde os exemplos são introduzidos na rede até que esta interprete corretamente a operação, ou seja, até que a rede implemente a função $Y^d_1 = f(X^d_1)$ para todos os L desejados.

Sendo um conjunto ψ com L exemplos de treinamento (exemplos a serem introduzidos na rede para que esta aprenda a reconhecer corretamente o padrão desejado) e cada exemplo sendo do tipo X^d_1, Y^d_1 temos :

$$\psi = \{ (X^d_1, Y^d_1) \} l=1 \text{ até } L \tag{1}$$

Assim o discriminador é inicializado com valores arbitrários $\{w_0, \Theta_0\}$ para peso e liminar (tempo ou outra limitação de interrupção do processo) e os vetores X_l^d utilizando-se “algum algoritmo” para ajuste de $\{w, \Theta\}$ tentando-se convergir para valores $\{w^*, \Theta^*\}$ de forma que as saídas do discriminador coincidam com as saídas especificadas no conjunto de treinamento Y_l^d tal que:

$$Y = \text{sgn}(w^* X_{i,l}^d - \Theta^*) = Y_l^d \text{ para todo } l=1,2,\dots,L \quad (2)$$

Quando o discriminador exibir o comportamento acima se diz que ele esta “treinado”.

O tempo excessivamente longo demandado por este processo ou as dificuldades de convergência do mesmo eram o principal obstáculo ao uso desta técnica já que a mesma tinha como principal característica o fato de tratar-se de uma proposta de treinamento global (para todos os casos possíveis dentro do processo analisado), não permitindo, portanto variações entre padrões no processo.

Uma variante para este tratamento que se mostrou eficaz se deve a HEBB (1949) que propôs um sistema de aprendizado (treinamento) puramente local, no qual a intensidade das conexões sinápticas (pesos atribuídos) é alterada em função do erro detectado localmente e corrigido sem a necessidade de um tratamento global. Ou seja, a função se auto ajusta para cada X de entrada e o correspondente Y (saída) em função do erro existente entre a saída e a saída desejável.

O discriminador linear adaptado para este sistema é descrito como:

$$W_i^{\text{novo}} = W_i^{\text{velho}} + \Delta W_i \quad (3)$$

sendo ΔW_i dado por :

$$\Delta W_i = \eta (Y_1^d - Y_1) X_{i,1}^d \quad (4)$$

Onde o novo valor depende do erro $(Y_1^d - Y_1)$ e de η (taxa de aprendizado – parâmetro que reflete a evolução do treinamento em função dos erros detectados). O resultado final (função final) seria portanto:

$$Y_1 = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^n W_i^{\text{velho}} X_{i,1}^d - \Theta^{\text{velho}} \right) \quad (5)$$

Neste caso o liminar (parâmetro de parada da rede) seria atualizado por:

$$\Theta^{\text{novo}} = \Theta^{\text{velho}} - \eta (Y_1^d - Y_1) \quad (6)$$

A expressão do discriminador linear pode então ser simplificada como:

$$Y = \text{sgn} (W^t X) \quad (7)$$

Com base no algoritmo de HEBB, ROSENBLATT então criou um modelo no qual se $Y_1 = Y_1^d$, então todos os ΔW_i são nulos, porém se as saídas do discriminador linear forem diferentes então se pode implementar um hiperplano que além de separar as coleções de pontos desejados, mantém ainda uma distância τ de qualquer um dos pontos $X_{i,1}^d$, sendo τ bastante pequeno de forma a criar uma “zona de exclusão” na qual o número de iterações necessárias para atingir o aprendizado é finito e, portanto, a convergência é garantida.

Esta expressão usava a função degrau unitário e desde que as duas coleções Φ_1 e Φ_2 sejam linearmente separáveis então a expressão a seguir sempre converge com um número finito de iterações.

$$\Delta W_i = \eta H(\delta - Y_1^d W^t X_1^d) Y_1^d X_{i,1}^d \quad (8)$$

Uma observação importante a ser feita com relação ao desenvolvimento da técnica neste período é que após a publicação da obra "*Perceptrons*" de MARVIN & PAPPERT (1969, apud KOVÁCS, 1996) contendo críticas aos perceptrons (nome popular deste tipo de estrutura) quanto às suas limitações, o estudo de redes neurais artificiais ficou praticamente estagnado até o início da década de 80 quando HOPFIELD (1982) criou o conceito de memórias associativas e deu novo impulso às redes neurais artificiais.

WIDROW (1962) apresentou um modelo neural que ele batizou de Adaline (ADAPTative LINEar Element) e sua generalização a Madaline (Multiple Adaline) de grande interesse porém cuja simplicidade restringiu o seu uso apenas ao campo acadêmico.

A adaline é um elemento linear cuja saída é a combinação linear das componentes do vetor de entrada com seus respectivos pesos, podendo ser expressa como:

$$Y = W^t X \quad (9)$$

Onde o conjunto de treinamento será composto por n observações, e representado da seguinte maneira:

$$\psi = \{X_1^d, Y_1^d\}_{l=1}^L \quad (10)$$

A função de aproximação será portanto:

$$Y(W, X) = \sum_{i=1}^N W_i X_i \quad (11)$$

E a melhor aproximação corresponde ao menor erro quadrático dado por:

$$E(W^*) = \sum_{l=1}^L \{Y(W^*, X_l^d) - Y_l^d\}^2 \quad (12)$$

Neste caso deve-se portanto determinar W^* tal que o erro seja mínimo o que equivale a encontrar o ponto no qual o gradiente da função é nulo (ponto de mínimo da função erro), ou seja:

$$\text{grad}[E(W^*)] = d/dW \sum_{l=1}^L (W^t X_l^d - Y_l^d)^2 \Big|_{W=W^*} = 0 \quad (13)$$

O problema a solucionar seria então a determinação do ponto de mínimo da função erro, que poderia ser lenta ou difícil, o que levou WIDROW a desenvolver a chamada “regra delta” que deveria fazer com que a função erro tivesse uma convergência rápida para o ponto de mínimo desde que se estabelecesse um “passo” adequado na direção oposta à do gradiente naquele ponto. Isso pode ser expresso na seguinte forma:

$$\text{se} \quad E(W) = \sum_{l=1}^L (\sum_{i=1}^N (W_i X_{i,l}^d - Y_l^d))^2 \quad (14)$$

o acréscimo para todos os pontos seguintes a partir do ponto $W(0)$ é :

$$W(K+1) = W(K) - \eta \text{ grad} \{E[W(K)]\} \quad (15)$$

ou,

$$W(K+1) = W(K) - \eta d/dW E[W(K)] \quad (16)$$

e, desde que η seja escolhido adequadamente, a função converge rapidamente.

Ora, para uma função da forma $Y = W^t X$ o gradiente será :

$$dE(W)/dW = 2 \sum_{l=1}^L (X_l^d) (W^t X_l^d - Y_l^d) = \quad (17)$$

$$= 2 \sum_{l=1}^L (X_l^d) (Y_l - Y_l^d) \quad (18)$$

mas :

$$W(K+1) = W(K) - \eta' \sum_{l=1}^L (X_l^d) (Y_l^d - Y_l) = \quad (19)$$

$$= W(K) - \eta' \sum_{l=1}^L \delta_l X_l^d \quad (20)$$

com $\eta' = 2\eta$ tem-se :

$$\delta_l = Y_l^d - Y_l \quad (21)$$

podendo-se portanto agora atualizar W a cada novo valor de Y_l e não após todo um conjunto de tratamento, acelerando desta forma grandemente a convergência da função.

3.2.3 Técnicas mais Recentes

RUMMELHART, HINTON & WILLIAMS (1986) generalizaram a Adaline de Widrow para funções de ativação semilineares criando um algoritmo denominado retropropagação (*backpropagation*) que era a associação da Adaline de com uma função de ativação $g(v)$ criando um modelo do tipo :

$$Y = Y \left(\sum_{i=1}^N W_i X_i \right) \quad (22)$$

Esta estrutura de tratamento das informações é exemplificada na Figura 14.

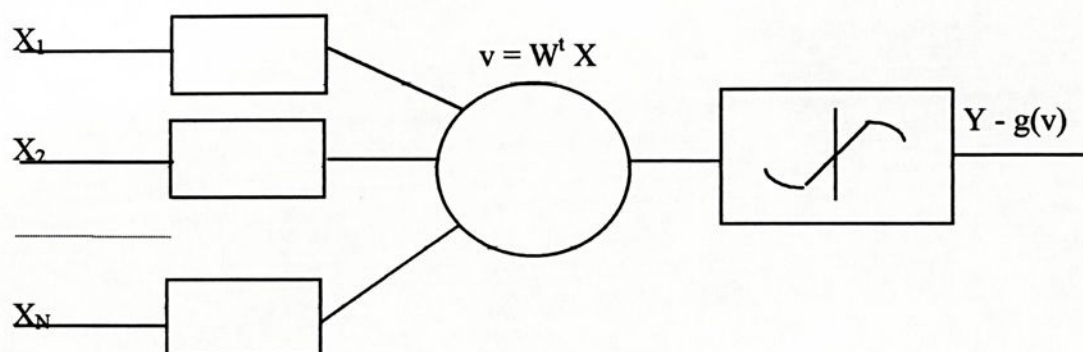


Figura 14 - Estrutura da Rede de RUMMELHART, HINTON E WILLIAMS (1986).

Aplicando o método do gradiente para este modelo verifica-se que a expressão do “caminho” (sentido de convergência mais rápida) da função erro é :

$$W(K+1) = W(K) + 2\eta \sum_{l=1}^L \delta_1^d X_1^d \quad (23)$$

que apresenta a mesma estrutura da regra delta de Widrow tendo sido denominada “regra delta generalizada”.

Ora, utilizando-se a mesma função ativadora [$g(v)$] de RUMMELHART, HINTON & WILLIAMS (sigmóide) tem-se:

$$g(v) = (1 + e^{-2v})^{-1} \quad (24)$$

cuja derivada em relação à v é:

$$dg(v)/dv = \beta [1 - g(v)] g(v) \quad (25)$$

fornecendo o seguinte “caminho” para a regra de treinamento de R , H e W :

$$W(K+1) = W(K) + 2 \eta \beta \sum_{l=1}^L \delta_1^d X_1^d \quad (26)$$

onde:

$$\delta_1 = (Y_1^d - Y_1) (1 - Y_1) Y_1 \quad (27)$$

Ou seja, a atualização depende unicamente do valor de referência e dos valores de entrada e saída (não depende de nenhuma interferência no sistema). Pode-se concluir então que as redes multicamadas são uma generalização da Adaline na qual o erro de saída é retropropagado (retorna ao interior da rede) para o cálculo dos parâmetros da rede até a entrada, progredindo o processo até minimizar o erro. Restariam então dois problemas básicos a se resolver para a implementação do algoritmo de *backpropagation*:

(1) adequar a taxa dinâmica do neurônio (velocidade de análise) do neurônio de saída à tabela de treinamento utilizada, de tal maneira que $Y_1^d = \alpha y_1^d + \beta$ onde :

$$\alpha = (\mu (Y_{\max} - Y_{\min})) / (y_{\max} - y_{\min}) \quad (28)$$

e

$$\beta = \mu Y_{\max} - \alpha Y_{\min} \quad (29)$$

sendo μ a faixa dinâmica utilizada (normalmente entre 0,5 e 0,8)

(2) definir o número de camadas e o número de neurônios por camada. Este é um problema parcialmente não resolvido, embora existam algumas soluções, cada caso deve ser visto de maneira diferente e avaliado em função do desempenho da configuração escolhida (número de camadas e de neurônios por camada) seja em termos de tempo de computação, de precisão na identificação e, principalmente, em termos de número de iterações necessárias para a interpretação.

Resolvidos estes problemas pode-se afirmar que, para reconhecimento de padrões, a técnica de retropropagação é no momento uma das mais eficazes, sendo importante no entanto ressaltar que muitos estudos tem sido feitos recentemente tentando aperfeiçoar as redes neurais artificiais o que faz com que dentro de pouco tempo a *backpropagation* possa ser substituída por outras técnicas mais eficazes.

3.2.4 Aplicações mais Comuns

A utilização de redes neurais artificiais se disseminou pelo mundo dos últimos anos não só como mecanismo de reconhecimento e análise de padrões mas também como critério de decisão de processos nas mais diversas áreas de ciência e tecnologia. Apenas com o objetivo de ilustrar a diversidade destas aplicações e mostrar o potencial desta técnica, são apresentados a seguir exemplos considerados mais relevantes de aplicação de redes neurais artificiais com o método de aprendizado de retropropagação.

No que diz respeito propriamente aos desenvolvimentos mais recentes da técnica e seus aperfeiçoamentos podem ser citados alguns campos de desenvolvimento:

- (1) sistematização e disseminação de técnicas de análise, como em CHEN (1990), YOON (1991), MC DONALD (1992), WANG (1993), FLOOD & KARTAN (1994), GORDIENKO (1995), HASSOUN (1995), e MEHROTRA, MOHAN & RANKA (1996); e
- (2) novos desenvolvimentos e aprimoramento de técnicas, como em VON LEHMEN *et alii* (1988), PERUGINI & ENGELER (1989), WEIR (1991), BEBIS & PAPADOURAKIS (1992), FREEMAN & SKAPURA (1992), BYE & ADAMS (1993), CHEN & HWANG (1994), GLORFELD (1996), e GRIMES, PICTON & ELLIMAN (1996).



Em reconhecimento e seleção de padrões tem-se importantes contribuições de LI & WEE (1988), PUN (1990), SCHMITT & MATTIOLI (1991), NARENDRA (1992), e NIGRIN (1993).

Na caracterização e gerenciamento de recursos hídricos e em estudos de hidráulica de meios porosos com QIAN, EHRICH & CAMPBELL (1990), RIZZO & DOUGHERTY (1994), ROGERS & DOWLA (1994), e SCHAAP & BOUTEN (1996).

Para análise de estabilidade de terrenos tem-se os exemplos de PEDDLE & FRANKLIN (1993), SHIMEI, SHUFANG & ZHIYUAN (1994), XU & HUANG (1994), YIN (1994), e YINGQING (1994).

Em planejamento territorial WONG, POULOS & THRONE (1989), FRANKOT & CHELLAPPA (1990), e MINDERMAN, PETER, MCAVOY & THOMAS (1993).

Na área de engenharia geotécnica de uma forma geral como em DOWLA & ROGERS (1995), tanto em projetos de túneis e estudos de maciços rochosos como JUANG & LEE (1989) e ICHIKAWA *et alii* (1990), tanto na área de mecânica dos solos podem ser citados alguns desenvolvimentos tais como ANTHONY & GOH (1996)

Em trabalhos de aplicação de produtos de sensores remotos e mapeamento digital tem-se STOJANOVSKI (1989), NIGHTINGALE & HUTCHINSON (1990), SAFAVIAN & TENORIO (1991), RAGHU, POONGODI & YEGNANARAYANA (1995), TUTTASS & BRYNGDAHL (1995), BLONDA *et alii* (1996)



3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

Em virtude dos requisitos básicos a serem atendidos pela área de estudo, quais sejam, variabilidade litológica e de formas de relevo, quantidade e facilidade de acesso a material fotográfico e cartográfico, e existência de trabalhos anteriores de cartografia geotécnica, optou-se pela Quadricula de Campinas (SF-23-Y-A, escala 1:250.000) do IBGE (1980) como área de estudo.

Do ponto de vista da variabilidade litológica a área apresenta tipos sedimentares pertencentes a unidades da Bacia do Paraná e depósitos do Cenozóico Paulista, rochas ígneas do evento Serra Geral e correlatas, além das intrusivas alcalinas do Complexo Poços de Caldas, e associações metamórficas de graus variados representadas pelos complexos Socorro, Varginha, Amparo e Itabira e pela sequência metassedimentar da Formação Eleutério.

Considerando-se o aspecto geomorfológico a área escolhida apresenta boa diversidade de associações de formas de relevo, incluindo colinas de diversos tipos, morros e morrotes, espigões, e planícies. Revisões da geomorfologia da área podem ser encontradas em ALMEIDA (1964), PENTEADO (1968), DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1979), INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981b), INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1983) e RADAMBRASIL (1983).

Além das diversidades litológica e geomorfológica exigidas, a área apresenta uma razoável cobertura de trabalhos de levantamentos de informações e de caracterização geotécnica confiáveis. Dentre estes se pode destacar CAMPOS (1979), ZUQUETTE (1982), COTTAS (1983), CAMPOS & VICELLI NETO (1987), COTTAS *et al.* (1987a, 1987b e 1987c), ZUQUETTE (1987), AGUIAR (1989), BROLLO (1991), LOLLO (1991), NISHIYAMA (1991), PARAGUAÇU *et al.* (1991), ALBRETCH (1992), DE MIO (1992), PEJON (1992), SOUZA N.C.D.C. (1992), ZUQUETTE & GANDOLFI (1992),



CARDOSO (1993), GRUBER (1993), SOUZA N.M. (1994), COLLARES (1994), SARAIVA (1994), BARISSON (1995), COLLARES (1995a e 1995b), e AGUIAR (1995).

3.3.1 Localização

A Quadricula de Campinas abrange a porção centro-leste do Estado de São Paulo e uma parcela do sudoeste do Estado de Minas Gerais, situando-se entre os meridianos $46^{\circ}30'$ e $48^{\circ}00'W$ e os paralelos $22^{\circ}00'$ e $23^{\circ}00'S$. Sua localização pode ser observada na figura 15.

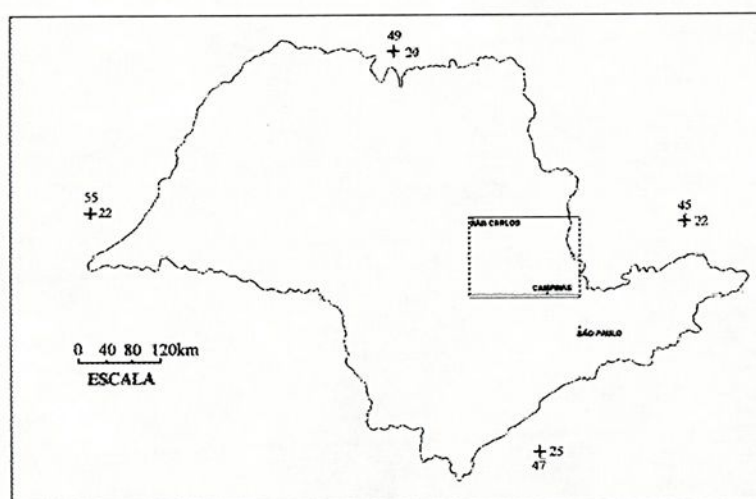


FIGURA 15 - Localização da área estudada.

3.3.2 Clima

De maneira geral o clima da área pode ser descrito como mesotérmico (C, na classificação de Köppen) apresentando três sub-tipos (Cwa, Cwb, e Cfa) conforme distribuição mostrada na figura 16.

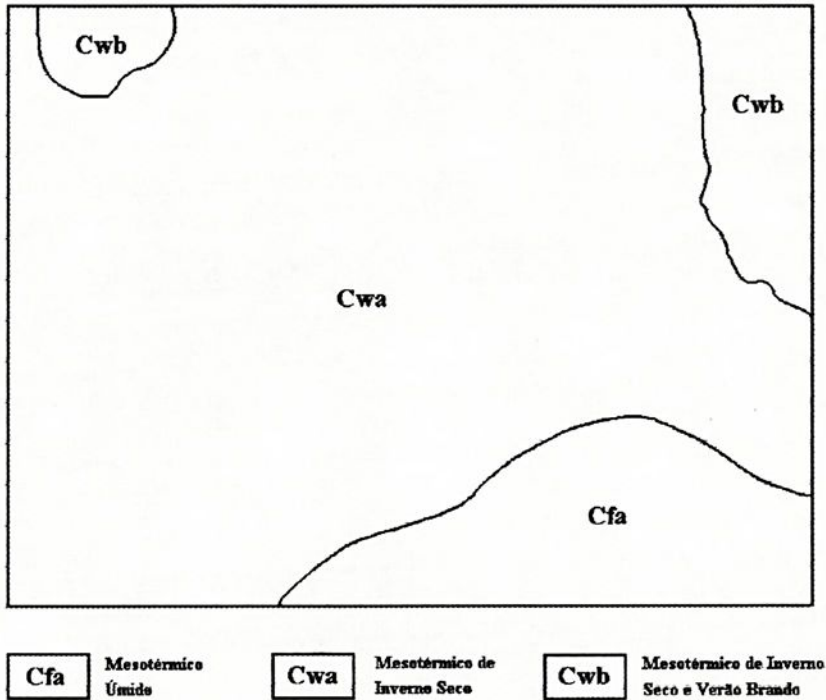


FIGURA 16 - Distribuição dos tipos climáticos presentes na área, modificado de DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1979).

O tipo Cwa (mesotérmico de inverno seco) apresenta temperatura média inferior à 18°C no mês mais frio, e média do mês mais quente superior à 22°C, com índice pluviométrico entre 1.100 e 1.700mm.

O tipo Cwb (mesotérmico de inverno seco e verão brando) se caracteriza por apresentar temperatura média do mês mais quente inferior à 22°C e em torno de 16,5°C no mês mais frio, e índice pluviométrico variando entre 1.300 e 1.700mm.

O tipo Cfa (mesotérmico úmido) apresenta médias superiores à 22°C no mês mais quente e inferiores à 18°C no mês mais frio, com índice pluviométrico entre 1.100 e 2.000mm.

3.3.3 Vegetação

Apesar de quase totalmente retirada na região (devido à ocupação humana) a cobertura vegetal original apresenta ainda algumas manchas que permitem seu zoneamento segundo se apresenta na figura 17.

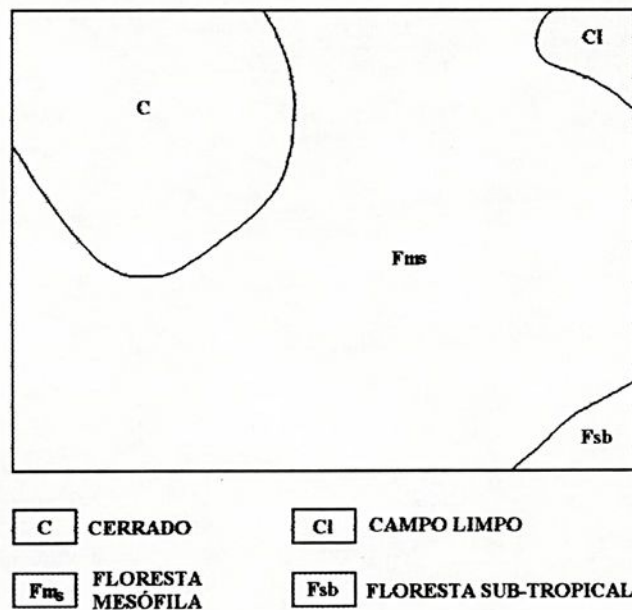


FIGURA 17 - Distribuição dos tipos vegetais presentes na área, modificado de DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1979).

3.3.4 Hidrologia e Hidrogeologia

Do ponto de vista hidrológico a área estudada abrange parcelas das Zonas Hidrográficas 1, 2, e 7 (DAEE, 1984) ocupando parte das Regiões Administrativas 4, 5, e 6 do Estado de São Paulo (regiões de Sorocaba, Campinas e Ribeirão Preto).

A zona hidrográfica número 1 engloba a Bacia do Piracicaba e parte da Bacia do Tietê (alto e médio superior), na zona número 2 tem-se parte da Bacia do Tietê (médio), e na zona 7 a Bacia do Pardo-Grande. Uma melhor compartimentação desta área em termos de bacias hidrográficas, correspondendo às Bacias dos rios Tietê, Piracicaba e Moji-Guaçu, pode ser observada na figura 18.

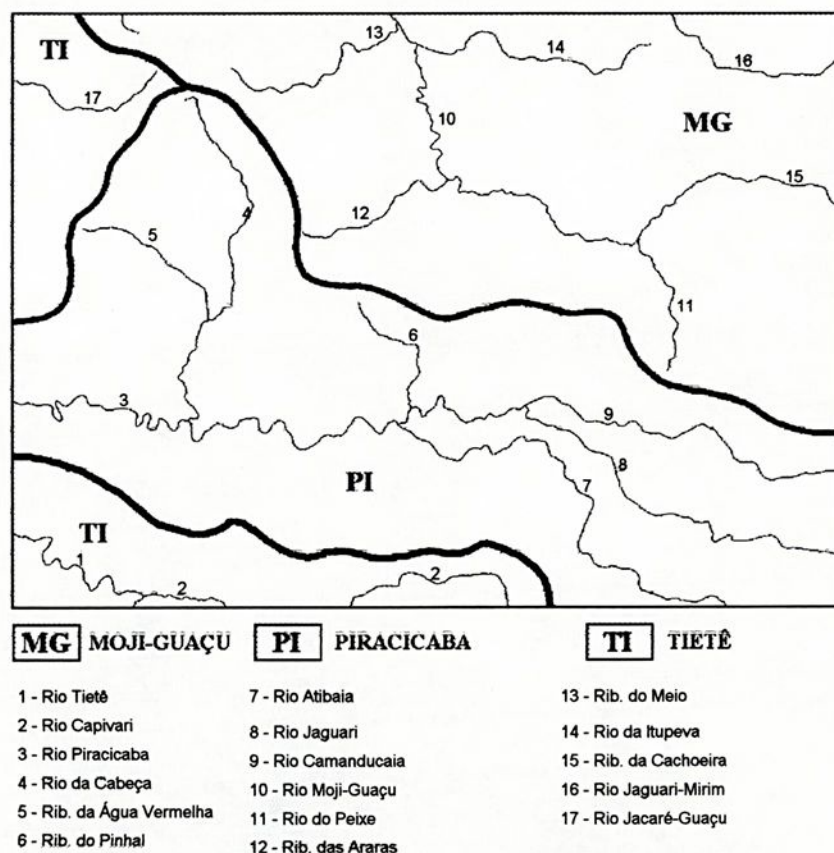


FIGURA 18 - Bacias hidrográficas presentes na área, modificado de DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1984).

Hidrogeologicamente a área apresenta parte dos aquíferos Cristalino, Tubarão, Passa Dois, Botucatu, Diabásio, e Bauru conforme distribuição apresentada na figura 19.

O Aquífero Cristalino ocupa a parcela leste da área e engloba os complexos pré-cambrianos e o maciço alcalino de Poços de Caldas, sendo um aquífero tipicamente controlado pelas discontinuidades presentes nas rochas.

O Sistema Aquífero Tubarão ocupa a parte central da região estudada, tendo o sistema de armazenamento e circulação controlado pelos interstícios dos grãos dos clásticos grosseiros.

Ocorrendo numa faixa estreita na porção leste da área, o Aquífero Passa Dois tem suas zonas aquíferas condicionadas por porosidade de interstícios (associados aos pacotes de litologias mais grosseiras) e por fissuras (nas unidades litológicas ricas em finos).

O Aquífero Botucatu tem um sistema de armazenamento e circulação tipicamente controlado por porosidade, e situa-se no extremo noroeste da área estudada.

O Aquífero Diabásio ocorre na área de forma dispersa sendo caracterizado por um controle tipicamente estrutural (através de fraturas) das condições de circulação e armazenamento.

O Aquífero Bauru tem suas características controladas pela distribuição dos sedimentos detríticos mais grosseiros e ocorre na porção oeste da área.



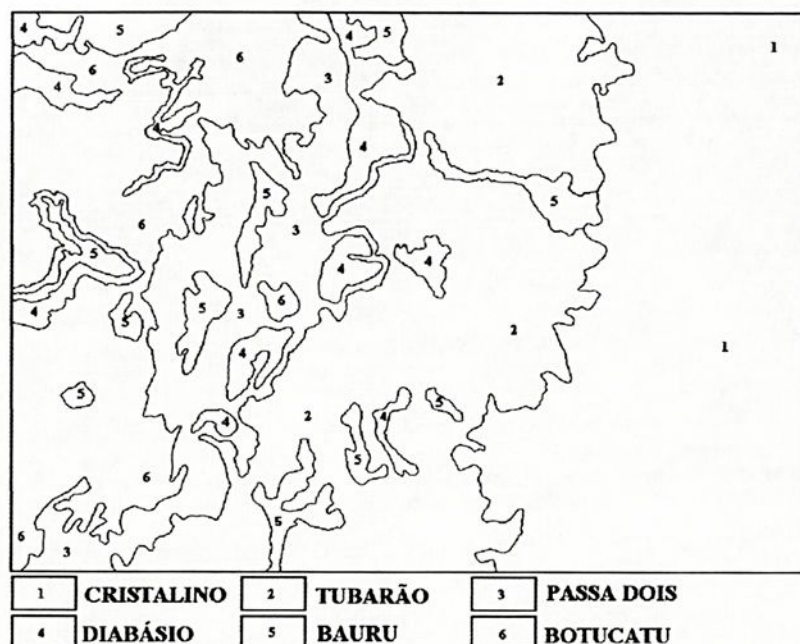


FIGURA 19 - Sistemas aquíferos presentes na área estudada, modificado de DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1981).

3.3.5 Geomorfologia

Do ponto de vista geomorfológico a área apresenta associações de formas de relevo que vão desde as Cuestas Arenito-basálticas até o Planalto Sul de Minas (planaltos de Poços de Caldas e de São Pedro de Caldas), passando pela Depressão Periférica e pela Zona Cristalina do Norte (DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL, 1979), cuja distribuição pode ser vista na figura 20.

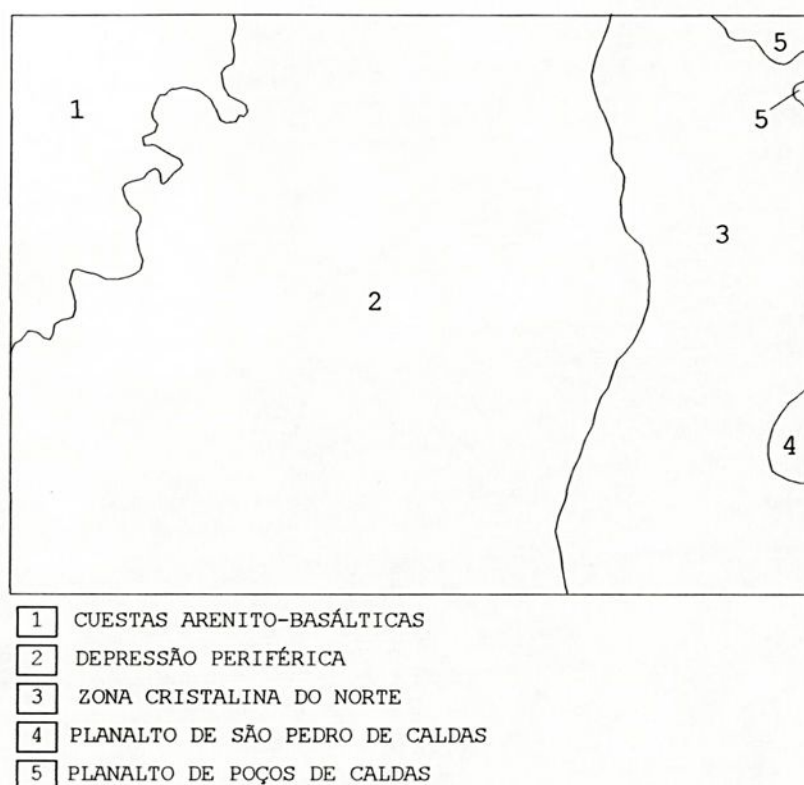


FIGURA 20 - Associações geomorfológicas presentes na área, modificado de DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1979).

As Cuestas Arenito-basálticas constituem escarpas esculpidas em estruturas monoclinaes, devido à erosão diferencial nos arenitos da Formação Botucatu e derrames basálticos.

A Depressão Periférica apresenta uniformidade paisagística, com relevo de colinas suaves e interflúvios abatidos, compreendendo rochas do Grupo Passa-Dois e do Supergrupo Tubarão da Bacia do Paraná.

A Zona Cristalina do Norte representa um relevo de transição entre a Depressão Periférica e as áreas mais altas do Planalto Sul de Minas, sendo um relevo movimentado e dissecado, constituído de metamorfitos pré-cambrianos.

A porção do Planalto Sul de Minas que ocorre nesta área pode ser dividida em duas unidades, o Planalto de São Pedro de Caldas (mais a sul) com relevo bastante movimentado em litotipos graníticos e migmatíticos, e o Planalto de Poços de Caldas, que corresponde a uma chaminé alcalina composta de morros de vertentes suaves e constituída primordialmente por foiaítos e tinguaítos.

A Serra da Mantiqueira é representada na área pelo Planalto de Campos do Jordão caracterizado por um relevo bastante elevado e semi-aplainado com encostas convexas e suaves, formado por granitóides e migmatitos.

Caracterizações mais completas destas unidades podem ser encontradas em ALMEIDA (1964), PENTEADO (1968), SOARES (1973), MODENESI (1974), DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1979), PONÇANO *et al.* (1979a e 1979b), INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981b), e RADAMBRASIL (1983).

3.3.6 Geologia

Em termos de unidades litoestratigráficas a área engloba litologias metamórficas e magmáticas do Pré-cambriano, sedimentares e intrusivas básicas da Bacia do Paraná, intrusivas alcalinas do Planalto de Poços de Caldas, e coberturas cenozóicas.

Devido às dificuldades de posicionamento estratigráfico e de ambientes de formação de certas unidades optou-se por apresentar as mesmas em termos de sua idade, a exemplo de DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1979). Uma representação esquemática da distribuição destas unidades na área encontra-se na figura 21.



Estas unidades foram aqui descritas a partir da análise de vários trabalhos elaborados em escala regional tais como WERNICK (1967), MEZZALIRA (1965), ANDRADE & SOARES (1971), SOARES & LANDIM (1973), SOARES *et al.* (1973), EBERT (1974), SCHNEIDER (1974), WERNICK & PENALVA (1974a e 1974b), WERNICK (1978), DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1979), BARCHA (1980), LANDIM *et al.* (1980), INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981a), DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA / UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (1982), AZEVEDO & MASSOLI (1983), PETRI & FÚLFARO (1983), RADAMBRASIL (1983) e DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1984).

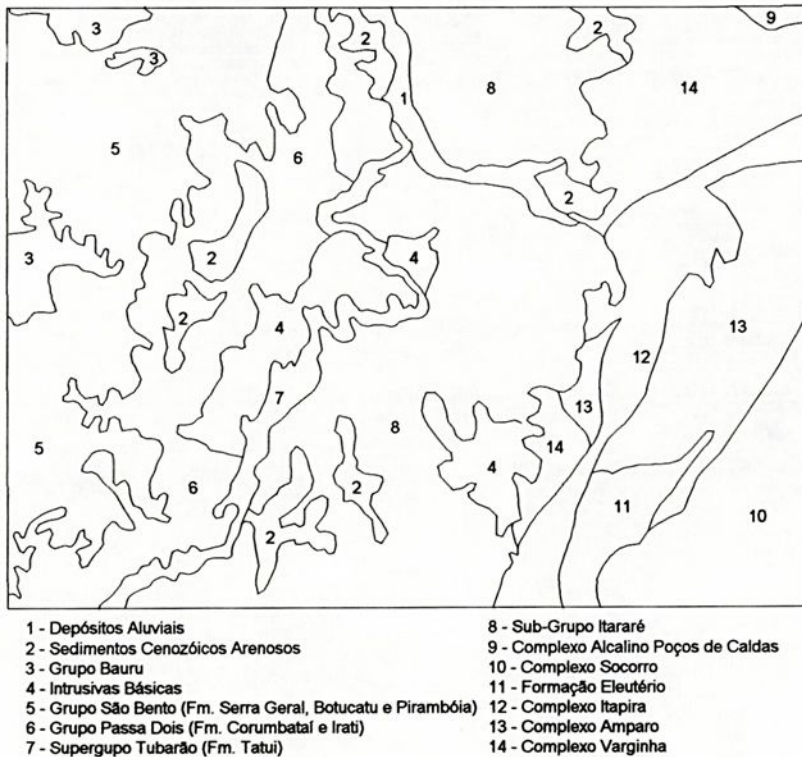


FIGURA 21 - Mapa geológico simplificado da área, modificado de DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1979).

Pré-cambriano e Cambriano

As dificuldades de ordenação estratigráfica das unidades metamórficas e magmáticas Pré-cambrianas e Cambrianas fizeram com que se apresentasse as mesmas em termos de associações (segundo proposta de BRAUN, 1974) seguindo um procedimento já aplicado por DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1979).

As unidades apresentadas correspondem aos complexos Socorro, Varginha, Amparo e Itapira, à Formação Eleutério, e às unidades litológicas não agrupadas estratigraficamente tais como rochas cataclásticas, arenitos indiferenciados e plauenitos gnássicos.

O Complexo Socorro é composto por uma associação de granitos, granitóides, migmatitos e granulitos, que ocorrem na porção sudeste da área. No extremo sudeste predominam os granitos e granitóides profiroblásticos, os termos granulíticos com migmatitos associados são encontrados numa faixa vizinha à Falha de Socorro e a porção rica em charnoquitos e migmatitos distribui-se numa faixa descontínua de sentido sudeste - nordeste.

O Complexo Varginha apresenta características similares às do Complexo Socorro, diferenciando-se deste apenas pela maior predominância de termos das fácies granulítico e anfibolítico. É composto de migmatitos, granitos e granitóides porfiroblásticos na porção sudeste da área, e por migmatitos granitóides, granulitos, charnoquitos e anfibolitos na porção nordeste.

Sendo composto principalmente por gnaisses, o Complexo Amparo aparece nas porções sudeste e centro-leste da área, limitando-se à sudeste com o Complexo Socorro através da Falha de Socorro e à nordeste com os complexos Varginha e Itapira e com as rochas sedimentares da Bacia do Paraná através das falhas de Campinas e Jacutinga.



Ocorrendo numa faixa de orientação sul - norte e sendo delimitado pelas falhas de Campinas e Valinhos o Complexo Itapira é composto de gnaisses, migmatitos, quartzo-dioritos, meta-calcários e quartzitos.

A Formação Eleutério pode ser dividida em dois domínios litológicos distintos. O primeiro deles é composto por granitos porfiroblásticos e granitos cinzentos e aflora entre as falhas de Valinhos e Socorro (na porção sudeste da área). O segundo é composto por arenitos, siltitos e conglomerados com ocorrência limitada à porção nordeste da área.

As principais ocorrências de rochas cataclásticas estão limitadas às vizinhanças das falhas de Valinhos (sudeste da área) e de Jacutinga (nordeste), constituindo-se de associações de milonitos, blastomilonitos, cataclasitos e ultramilonitos.

Além das associações e complexos citados, ocorrem, nas proximidades do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, corpos de arenitos indiferenciados e de plauenitos gnássicos.

Paleozóico

Representado por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, de idades Permianas e Carboníferas, o Paleozóico da Quadrícula de Campinas abrange os tipos litológicos do Supergrupo Tubarão e do Grupo Passa Dois.

O Supergrupo Tubarão é composto pelos Grupos Itararé (com unidades depositadas em ambiente continental e marinho com contribuições de ambiente glacial) e Guatá (ambiente marinho transgressivo), já para o Grupo Passa Dois tem-se ambiente marinho raso para a Formação Irati e marinho raso a litorâneo para a Formação Corumbataí.



O Grupo Itararé ocorre na parte central da área estudada numa extensa faixa norte-sul, sendo constituído por arenitos e diamectitos em sua porção inferior, e por arenitos, conglomerados e diamectitos com siltitos folhelhos e ritmitos subordinados, em sua porção superior.

O Grupo Guatá é representado na região pela Formação Tatuí, que ocorre numa faixa estreita que se estende do sudoeste até o centro-norte da área. Em sua porção inferior predominam siltitos arenosos e arenitos médios, e na superior siltitos arenosos e argilosos com arenitos finos a médios.

O Grupo Passa Dois é dividido nas formações Irati e Corumbataí. A Formação Irati ocorre desde o sudoeste até o centro-norte da área e apresenta uma seção inferior rica em siltitos e folhelhos (apresentando às vezes um conglomerado basal), e uma seção superior composta pela intercalação de folhelhos pirobetuminosos e calcários dolomíticos. Já a Formação Corumbataí é composta de argilitos, siltitos e folhelhos em sua seção inferior, e argilitos e arenitos na porção superior, apresentando uma maior distribuição areal, estendendo-se desde o extremo sudoeste da Quadricula até o centro-norte em faixa vizinha à área de ocorrência da formação Irati.

Mesozóico

As unidades de idade mesozóica que ocorrem na área pertencem aos Grupos São Bento (de idade triássica / cretácica) e Bauru (cretácico).

O Grupo São Bento é dividido nas formações Pirambóia (ambiente fluvial), Botucatu (ambiente eólico), e Serra Geral (intrusões e derrames de vulcanismo de fissura). O Grupo Bauru representa um período de deposição em ambiente fluvio-lacustre.



A Formação Pirambóia ocorre na área numa faixa vizinha à ocorrência da Formação Corumbataí, além de ocorrências esparsas na porção noroeste. É composta principalmente por arenitos variados com intercalações de siltitos e argilitos.

A Formação Botucatu ocorre no extremo noroeste da Quadricula de Campinas e é constituída por arenitos médios a muito finos e corpos de arenitos conglomeráticos e conglomerados em sua porção basal.

A Formação Serra Geral ocorre na área estudada principalmente numa faixa norte-sul acompanhando as unidades de idade paleozóica e nas regiões noroeste e centro-oeste da área nas porções mais elevadas do terreno (serras de Itaqueri e do Cuscuzeiro) e nos vales de algumas drenagens (Ribeirão do Feijão, Rio do Monjolinho e Ribeirão Descaroçador). Seus litotipos principais são basaltos toleíticos com soleiras e diques de diabásio associados, apresentando intercalações de arenitos em sua base.

O Grupo Bauru aflora na porção noroeste da área, nas porções mais elevadas (serras de São Pedro, Cuscuzeiro e Itaqueri), sendo composto predominantemente por arenitos, com ocorrências de siltitos, argilitos e conglomerados.

Mesozóico / Cenozóico

Deste período a principal unidade presente na Quadricula de Campinas é o Complexo Alcalino de Poços de Caldas (de idade cretácica / terciária) que ocorre no extremo nordeste da área, na Serra do Caracol.

É composto por fonolitos, tinguaítos e foiaítos, cuja descrição mais completa pode ser verificada em GORSKY & GORSKY (1968), OLIVEIRA (1968), OLIVEIRA (1971), GORSKY & GORSKY (1972), GORSKY & GORSKY (1974), OLIVEIRA (1974), OLIVEIRA et. al. (1975).



Cenozóico

As unidades de idade cenozóica que ocorrem na região compreendem sedimentos inconsolidados e semiconsolidados, de origem aluvionar e coluvionar, além de depósitos indiferenciados, segundo BJORNBERG & LANDIM (1966a e 1966b), SOARES & LANDIM (1973), MODENESI (1974), SOARES & LANDIM (1976), FREITAS *et. al.* (1979), FÚLFARO (1979), LANDIM *et. al.* (1980), e VIEIRA (1982).

Os sedimentos de origem tida como coluvionar englobam os depósitos da Formação Rio Claro e depósitos correlatos, que ocorrem dispersos por toda a região central e centro-leste da área, compreendendo arenitos finos a grosseiros, às vezes argilosos.

Os depósitos de origem aluvionar ocorrem ao longo dos vales das principais drenagens da área, nas bacias dos rios Tietê, Piracicaba e Moji-Guaçu, sendo compostos por termos arenosos, siltosos e argilosos.

As coberturas quaternárias indiferenciadas aparecem dispersas nas porções centro-leste e sudeste da quadrícula. São sedimentos coluviais com contribuição aluvial, de caráter argilo-arenoso.

Descritas as unidades litoestratigráficas presentes na área é conveniente que se apresente um resumo da geologia estrutural para a região.



Geologia Estrutural

No domínio pré-cambriano a estruturação é controlada por um conjunto de falhamentos (transcorrentes e inversos) que dividem a área em diversos blocos tectônicos, sendo responsáveis também pelos conjuntos de diáclases de orientações mais comuns NE, E-W e NW, consequência da evolução em regime rúptil.

As estruturas mais representativas deste domínio são as falhas de Jacutinga, Socorro e Monte Sião. A evolução estrutural em regime plástico é representada por um anticlinal envolvendo os Complexos de Amparo e Itapira.

Para as unidades paleozóicas, mesozóicas e cenozóicas tem-se um controle típico de falhas normais formando estruturas *horst* e *graben* e alguns domos isolados (como os de Pitanga, Assistência e Artemis).

Contribuições relevantes acerca do assunto encontram-se em EBERT (1967), WERNICK (1967), EBERT (1968), HASUI *et al.* (1969), EBERT (1971), WERNICK (1972), HASUI (1973), PENALVA & WERNICK (1973), EBERT (1974), HASUI & SADOWSKI (1974), SOARES (1974), WERNICK & PENALVA (1974a e 1974b), HASUI *et al.* (1977), ARTUR *et al.* (1979), ARTUR *et al.* (1981).

Solos

Os solos presentes na área apresentam características químicas típicas de ambiente tropical e sub-tropical, havendo um predomínio de latossolos e podzólicos, como se pode verificar em CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISAS AGRONÔMICAS (1960), OLIVEIRA & BOTTA (1973), ESPÍNDOLA & MILLER (1979), OLIVEIRA *et al.* (1979), OLIVEIRA *et al.* (1982), RADAMBRASIL (1983) e OLIVEIRA & PRADO (1984). Uma representação simplificada desta distribuição pode ser observada na figura 22.



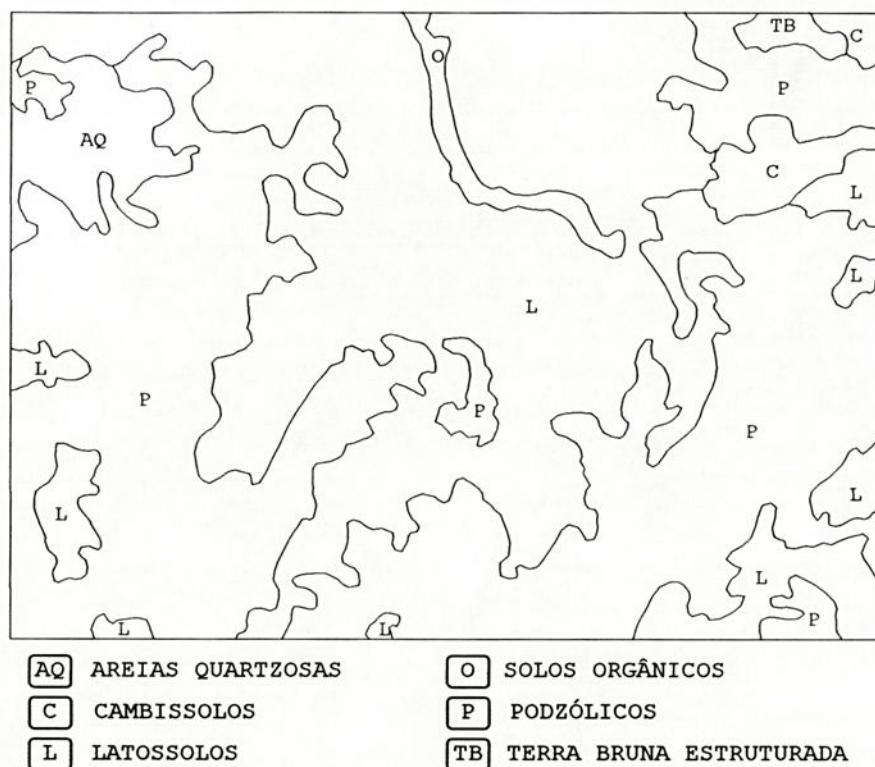


FIGURA 22 - Principais grupos pedológicos presentes na área, modificado de RADAMBRASIL (1983).

Os latossolos predominam na maior parte da área, ocorrendo principalmente nas porções central e noroeste, sendo os tipos mais comuns os Latossolos vermelho escuros, os Latossolos roxos e os Latossolos vermelho amarelos.

Nas porções oeste e leste da quadrícula tem-se um predomínio marcante dos solos podzólicos, com maior expressão de Podzólicos vermelho amarelos álicos e de Podzólicos vermelho amarelos eutróficos.

Além dos latossolos e podzólicos tem-se ocorrências menores de outros grupos tais como Areias Quartzosas (no extremo noroeste da quadrícula), Solos Orgânicos (no centro-norte da área, na planície de inundação do Rio Moji-Guaçu principalmente), e Cambissolos (no extremo nordeste da área).

4 METODOLOGIA

4.1 ASPECTOS GERAIS

Antes da descrição dos procedimentos metodológicos utilizados é necessário que se justifique o uso de apenas um nível hierárquico de *landform* (unidade de terreno). A utilização deste nível hierárquico se deve a dois fatores: (1) em trabalhos anteriores (LOLLO, 1995) verificou-se que este é o nível hierárquico que melhor reflete as condições de materiais inconsolidados (solos e sedimentos), sendo, portanto de grande interesse para a geotecnia; (2) o trabalho em questão, dado o seu pioneirismo, tratou apenas de um teste de eficácia, não se justificando, portanto o uso de mais de um nível hierárquico.

De forma geral pode-se dizer que o teste de reconhecimento das unidades de terreno por parte das redes neurais envolveu quatro etapas: (1) seleção de um conjunto de indivíduos representativos da unidade de terreno em análise; (2) descrição desta unidade num formato inteligível para as redes neurais artificiais; (3) treinamento da rede com o conjunto de indivíduos pré-selecionado; e (4) teste de eficácia da rede através da tentativa de reconhecimento de indivíduos pertencentes à classe em questão (unidade de terreno) porém não pertencentes ao conjunto de treinamento.

A primeira etapa (fase de seleção do conjunto de treinamento) se deu através da escolha de 20 (vinte) indivíduos mais representativos de cada uma das unidades de terreno tratadas dentre as unidades de terreno anteriormente reconhecidas na área estudada por LOLLO (1995).

A área em estudo é delimitada por uma quadrícula em escala 1:250.000 escala esta considerada muito pequena para os levantamentos a serem efetuados razão pela qual tais levantamentos se deram a partir do uso das 24 (vinte e quatro) folhas topográficas na escala 1:50.000 que cobrem a área.



Na etapa (2) foram consideradas, para descrição das unidades de terreno, duas possibilidades de descrição, através dos perfis transversal e longitudinal da unidade e através do modelo digital do terreno que a representava. A forma de obtenção de cada uma destas representações é diferente e os procedimentos utilizados para tal finalidade são apresentados no item seguinte (levantamento de dados).

O treinamento das redes neurais artificiais se deu através do uso das informações obtidas nas etapas anteriores como dados de entrada para as redes desenvolvidas, efetuando-se ajustes de diversas naturezas nestas redes (tais como arquitetura da rede neural, função de ativação dos neurônios e parâmetros de controle da mesma) como se pode verificar no item 4.3 (desenvolvimento e treinamento das redes neurais utilizadas).

A última etapa (teste de eficácia) consistiu de testes (para cada uma das unidades de terreno consideradas) de reconhecimento pelas redes neurais de indivíduos pertencentes ao padrão considerado (unidade de terreno) e não pertencentes ao conjunto de treinamento.

Foram usados 20 (vinte) indivíduos para cada um dos padrões considerados, e foram testados não só indivíduos pertencentes à classe (para os quais se esperava uma resposta positiva de reconhecimento) mas também outros não pertencentes à classe (para os quais a resposta deveria ser negativa – não reconhecimento da unidade pela rede neural).

Estes trabalhos permitiram o desenvolvimento de duas redes neurais artificiais para o reconhecimento das unidades, sendo uma para a identificação dos perfis longitudinais, outra para os perfis transversais, e as demais para a identificação das unidades de terreno representadas pelos modelos digitais do terreno, sendo que estas redes apresentam grande similaridade em termos de sua arquitetura e estrutura lógica diferindo entre si basicamente em relação à forma de entrada dos dados, das funções de ativação utilizadas, e dos pesos iniciais adotados para as funções de ativação.



Antes que se apresente os procedimentos utilizados para o levantamento dos dados é necessário que se faça a apresentação das unidades de terreno tratadas. Estas unidades foram classificadas, em LOLLO (1995), segundo características identificadas através de trabalhos de interpretação e análise de fotografias aéreas da área estudada, com base em três critérios: representação espacial (colinas, morrotes, e morros); dimensões do perfil longitudinal (pequeno, médio, amplo); e inclinação de suas encostas caracterizada no perfil transversal (ondulada, suave ondulada, e aplainada para as colinas; topo arredondado e topo anguloso para morros e morrotes). A Figura 23 ilustra a forma tridimensional destes *landforms*.

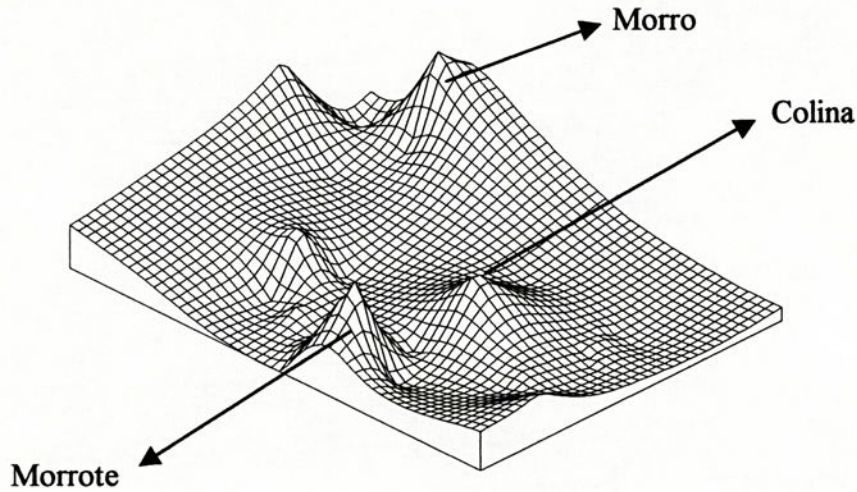


Figura 23 – Representação esquemática dos *landforms* presentes na área.

Como afirmado anteriormente, cada um destes *landforms* foi classificado em diferentes unidades de terreno de acordo com sua representação espacial, as dimensões de seu perfil longitudinal e a inclinação das encostas de seus perfis transversais. A representação espacial destes *landforms* é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios de reconhecimento dos *landforms*.

UNIDADE	CRITÉRIOS DE RECONHECIMENTO
Colinas	Vertentes convexas ou côncavas, topos arredondados a aplainados, declividades baixas a moderadas (<10% na maioria dos casos), amplitude de relevo menor que 100m.
Morrotes	Vertentes predominantemente convexas, topos arredondados a angulosos, declividades moderadas a altas (10 a 20% normalmente), amplitude de relevo menor que 150m.
Morros	Vertentes côncavas a retilíneas, topos arredondados a angulosos, declividades altas (sempre superiores a 20%), amplitude de relevo maior que 150m.

As classificações em termos dos perfis são apresentadas nas Tabelas 2 (dimensão dos perfis longitudinais) e 3 (inclinação dos perfis transversais), e as unidades de terreno nelas descritas são ilustradas nas Figuras 24 (perfis longitudinais) e 25 (perfis transversais).

Tabela 2 – Classificação das unidades de terreno segundo seu perfil longitudinal.

Unidade de Terreno		Dimensões do Perfil Longitudinal
Colina	Ampla	> 2km
	Média	1 – 2km
	Pequena	< 1km
Morrote	Médio	1 – 2km
	Pequeno	< 1km
Morro	Amplo	> 5km
	Médio	2 – 5km

Tabela 3 – Classificação das unidades de terreno segundo seu perfil transversal.

Unidade de Terreno		Declividade das Encostas
Colina	Aplainada	< 2%
	Suave Ondulada	2 – 10%
	Ondulada	> 10%
Morrote	Topo Arredondado	< 20%
	Topo Anguloso	> 20%
Morro	Topo Arredondado	< 35%
	Topo Anguloso	> 35%

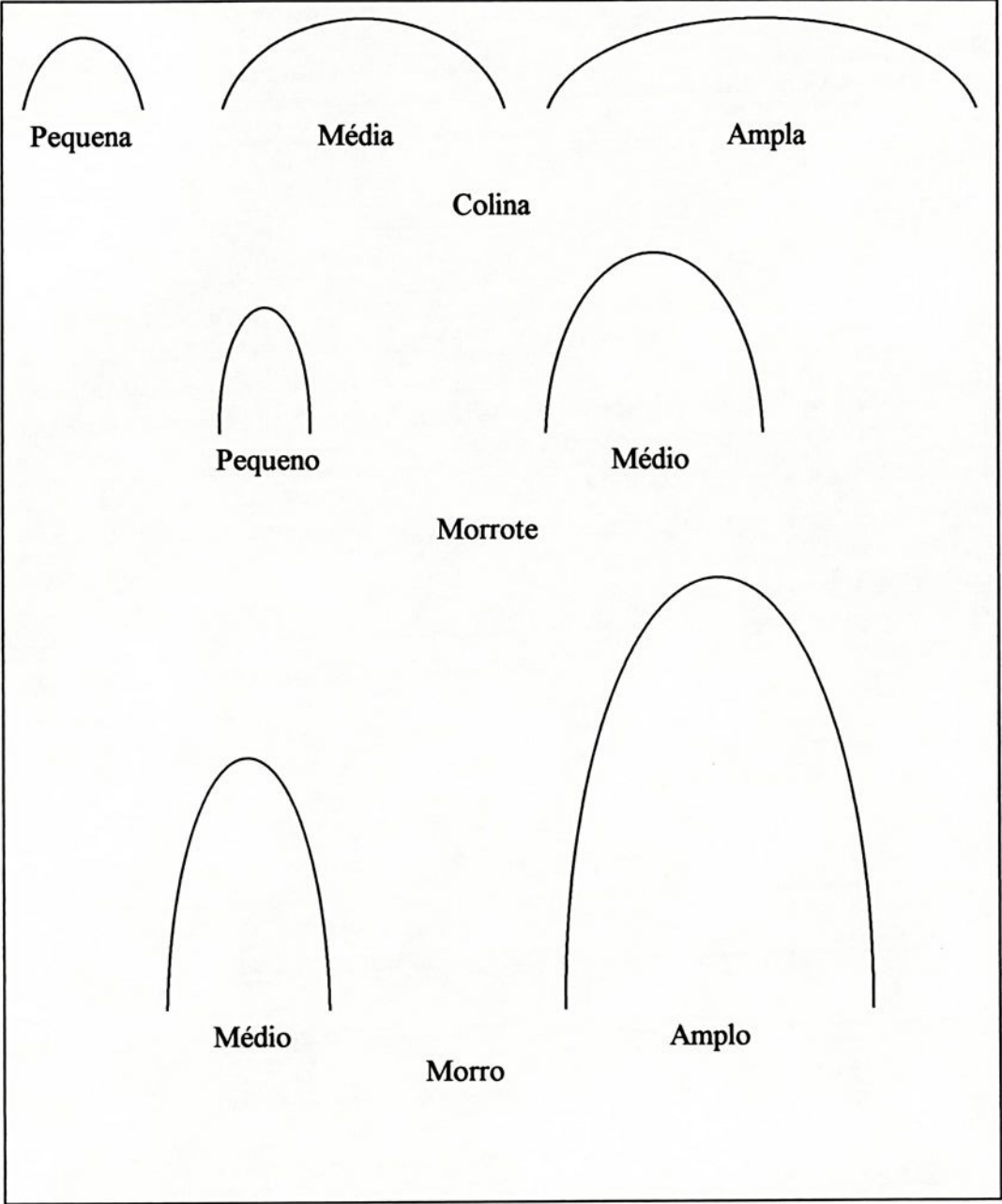


Figura 24 – Representação do perfil longitudinal das unidades.

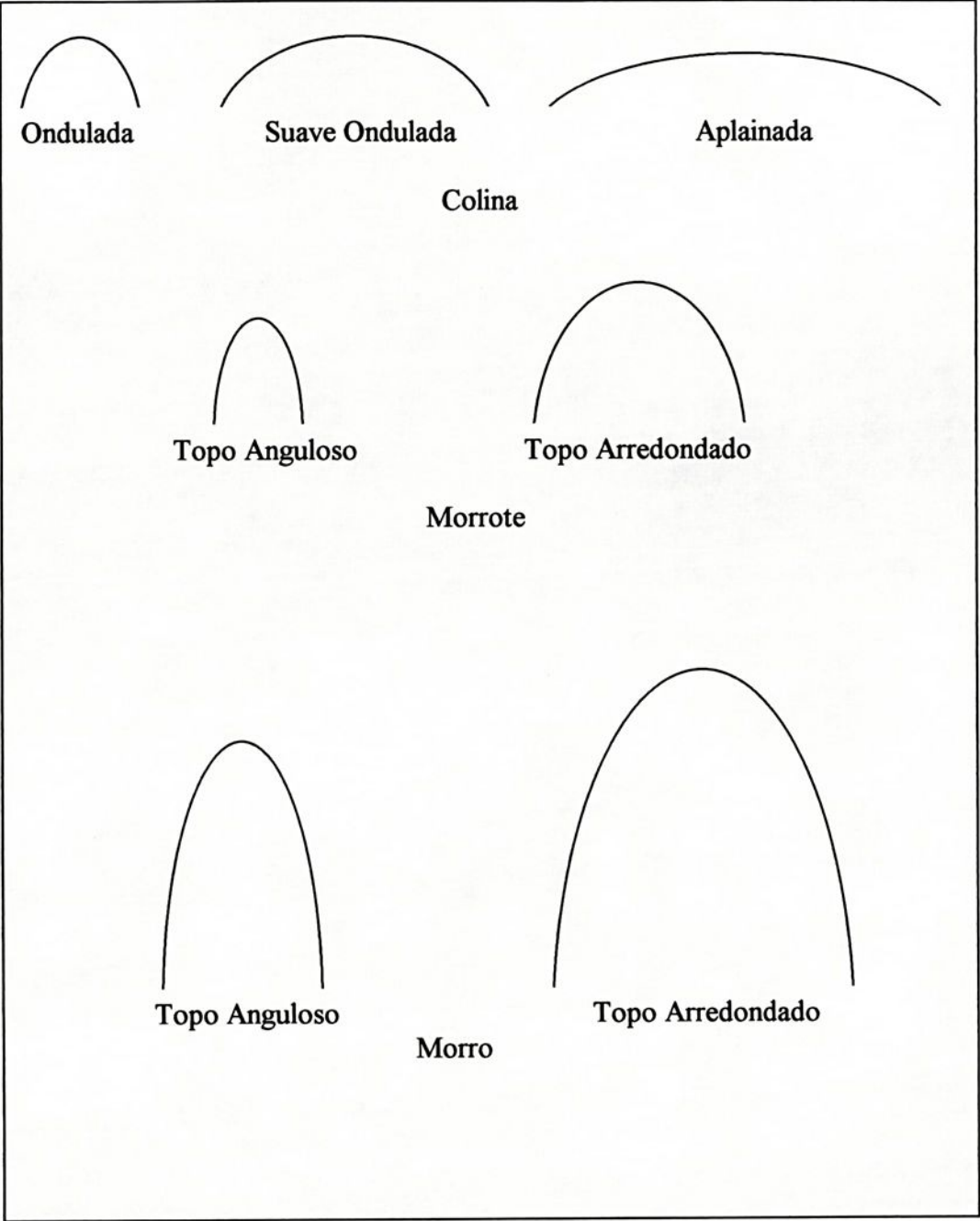


Figura 25 – Representação do perfil transversal das unidades.

Apresentados os critérios de definição das unidades de terreno consideradas pode-se então partir para a descrição de cada uma delas e de seu significado em termos de condições de materiais inconsolidados associados.

4.2 UNIDADES DE TERRENO PRESENTES NA ÁREA

Colinas Pequenas Onduladas

As dimensões reduzidas deste tipo de colina associadas à forte declividade (sempre superiores a 10%) representam unidades de terreno em franco processo morfogenético com intensos processos erosivos. Em função destas condições estas unidades apresentam perfis de materiais inconsolidados residuais com pequenas espessuras (raramente superiores a 2m). Na área em questão são materiais inconsolidados de textura arenosa com finos, residuais das litologias do Grupo Bauru com processos erosivos importantes.

Colinas Pequenas Suave Onduladas

Encontrando-se num estágio morfogenético mais evoluído que a unidade anterior esta unidade de terreno apresenta declividades moderadas (entre 5 e 10%) o que evidencia uma maior predominância de processos pedogenéticos, proporcionando, por isso mesmo, perfis de materiais inconsolidados mais evoluídos e mais espessos (entre 5 e 10m de espessura na maioria dos casos). Na área em estudo estes materiais inconsolidados englobam tanto perfis de materiais residuais das Formações Pirambóia, Botucatu, e Serra Geral, e materiais inconsolidados retrabalhados também bem evoluídos que incluem colúvios arenosos e argilosos com até 10m de espessura.



Colinas Médias Onduladas

Apesar das declividades relativamente altas (geralmente superiores a 10%) as dimensões desta unidade indicam relativo equilíbrio entre morfogênese e pedogênese com presença de materiais inconsolidados com espessuras sempre superiores a 5m tratando-se, na área em estudo, de materiais retrabalhados cenozóicos arenosos recobrindo os arenitos do Grupo Bauru e os Magmatitos Básicos da Formação Serra Geral.

Colinas Médias Suave Onduladas

A expressão geográfica desta unidade associada a padrões de declividades moderadas (5 a 10%) indicam boas condições de evolução pedogenética representada por perfis de alteração de materiais inconsolidados com espessuras que chegam a ultrapassar os 10m. Na área estudada os materiais inconsolidados presentes nestas unidade são retrabalhados de textura média a fina sobrepostos aos arenitos da Formação Botucatu, os quais apresentam contribuição dos residuais dos magmatitos.

Colinas Amplas Suave Onduladas

Esta unidade apresenta sempre baixas declividades (inferiores a 5%) sem evidência de processos geodinâmicos significativos o que indica uma forte predominância de processos de pedogênese. Em função disso os perfis de materiais inconsolidados são bem evoluídos e relativamente profundos (espessuras sempre superiores à 10m chegando mesmo a se aproximar dos 20m), de textura média e fina quando se tratam dos residuais das intrusivas básicas e das sedimentares ricas em finos (Formação Corumbataí e Grupo Itararé) e de textura arenosa quando se tratam de materiais retrabalhados.



Colinas Amplas Aplainadas

Apresentando sempre formas muito abatidas (com declividades inferiores a 2%) esta unidade compreende as faixas de ocorrência dos materiais retrabalhados arenosos que recobrem o substrato composto pelos arenitos da Formação Botucatu. Apresenta perfis de materiais inconsolidados bem evoluídos e espessos (com frequência ultrapassam os 20m de espessura) de textura arenosa, com alguma presença de finos (até 20% em alguns casos), sendo pouco estruturados.

Morrotes Pequenos Angulosos

Trata-se da unidade com maior grau de dissecação dentre as que compõem a área de relevo de morros e morrotes, apresentando encostas muito íngremes (declividade superiores a 35%) e presença de ravinas, evidenciando a importância dos processos erosivos e uma forte atuação morfogenética. Os materiais inconsolidados apresentam perfis muito imaturos e bastante rasos (raramente ultrapassam 2m de espessura), de textura fina, apresentando apenas o intervalo de saprolito.

Morrotes Médios Angulosos

Sua forma, associada a declividades moderadas (raramente ultrapassando os 10%) faz com que esta unidade apresente perfis de materiais inconsolidados muito bem evoluídos e profundos. Estas condições, associadas à ausência de processos geodinâmicos significativos, indicam predominância dos processos de pedogênese. Os materiais inconsolidados apresentam espessuras raramente inferiores a 15m e materiais com textura média a fina apresentando um primeiro intervalo laterizado (que pode ultrapassar 5m de espessura), um intervalo intermediário de solo saprolítico espesso (sempre superior à 5m), e um intervalo basal de saprolito também espesso (geralmente superior à 5m).



Morrotes Médios Arredondados

Esta unidade apresenta declividades médias (entre 10 e 20%) sem evidências de processos geodinâmicos importantes. Sugere a predominância dos processos de pedogênese. Os materiais inconsolidados apresentam perfis relativamente evoluídos e profundos (espessuras geralmente ultrapassam 10m) com textura média a fina com predominância do intervalo saprolítico intermediário. Apresentam um primeiro intervalo laterizado (com espessuras de até 3m) um intervalo intermediário de solo saprolítico espesso (chegando a até 7m de espessura em alguns casos) e um intervalo basal de saprolito geralmente pouco espesso (raramente ultrapassa os 2m de espessura).

Morros Médios Angulosos

Ocorrendo sempre em condições de declividades elevadas (superiores a 35%) esta unidade apresenta encostas íngremes com registros de importantes processos erosivos evidenciando predomínio de processos de morfogênese mecânica. Os perfis de materiais inconsolidados são pouco evoluídos e pouco profundos (espessuras totais raramente ultrapassam 5m) e apresentam o intervalo laterítico (superior) bastante raso (sempre inferior a 2m) ou mesmo ausente, e intervalos inferiores também pouco espessos (o solo saprolítico raramente ultrapassa 2m e o saprolito apresenta espessuras inferiores à 1m).

Morros Médios Arredondados

Esta unidade compreende formas com encostas mais suaves (declividades sempre inferiores a 10%) porém com forte ravinamento indicando a presença de importantes processos erosivos. Apresenta materiais inconsolidados de textura média, pouco evoluídos e pouco profundos (espessuras raramente superiores à 5m), com perfis que mostram um primeiro intervalo de depósitos aluviais rasos (raramente ultrapassam 1m) sobre horizontes inferiores também rasos (raramente ultrapassam 2m de espessura cada um deles) de solos saprolítico e saprolito.



Morros Amplos Angulosos

Compõe-se de morros extensos e alongados de topo predominantemente pontiagudo, com altas declividades (sempre superior a 35%), porém sem indícios de processos geodinâmicos importantes, com predomínio de processos pedogenéticos e materiais inconsolidados relativamente espessos (chegando a ultrapassar com frequência os 15m de espessura) com textura fina a média, medianamente evoluídos. O perfil de alteração apresenta intervalo superior de solo saprolítico pouco espesso (raramente mais que 2m de espessura) e um intervalo inferior de saprolito geralmente espesso (sempre mais de 10m).

4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

As primeiras atividades desenvolvidas nesta fase compreenderam a seleção dos vinte indivíduos mais representativo de cada unidade de terreno definida na área e a digitalização de cada um deles a partir das folhas topográficas 1:50.000. Esta etapa contemplou o uso do aplicativo AUTOCAD R.13 (AUTODESK, 1997) usado para a digitalização das unidades e geração dos modelos numéricos do terreno das mesmas e do aplicativo SURFER 6.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999) utilizado para a representação tridimensional das unidades.

Nesta fase a forma de levantamento diferiu de acordo com o tipo de representação das unidades de terreno que se adotou (perfis transversal e longitudinal ou modelo digital da unidade), em função disso cada uma destas formas de levantamento será descrita separadamente.



4.3.1 Levantamento dos Perfis das Unidades

Neste caso o levantamento de dados se deu através do seccionamento em duas direções da unidade de terreno representada obtida do mapa topográfico. Uma das direções correspondia à maior dimensão do *landform*, representado seu perfil longitudinal; e a outra à menor dimensão, fornecendo assim seu perfil longitudinal. Esta forma de obtenção dos dados é ilustrada na Figura 26.

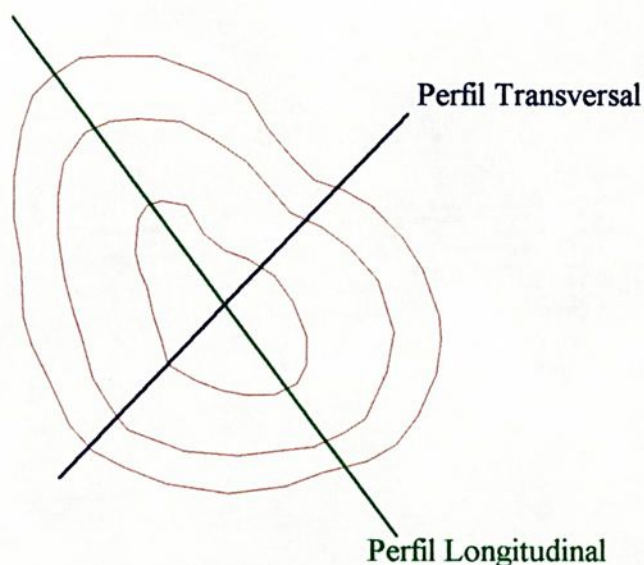


Figura 26 – Obtenção dos perfis da unidade de terreno.

Estabelecido o correto posicionamento destes perfis em relação a cada uma das unidades consideradas seus dados eram então obtidos na forma de vetores de x (distância a partir da origem – uma das extremidades do perfil) e z (cota de cada um dos pontos de interseção entre o perfil e as curvas de nível representativas da unidade).

Em cada um destes vetores os dados eram expressos em centímetros (considerando-se a escala 1:50.000 dos mapas topográficos utilizados), gerando arquivos do tipo exemplificado na Tabela 4.

Tabela 4 – Vetores representativos dos perfis das unidades de terreno.

Perfis obtidos para o indivíduo w da unidade colina média suave ondulada			
Perfil Longitudinal		Perfil Transversal	
X (distância) - cm	Z (cota) - cm	X (distância) - cm	Z (cota) - cm
0,0	0,0	0,0	0,0
0,9	0,4	0,5	0,4
2,1	0,8	1,4	0,8
5,2	0,8	2,9	0,8
6,0	0,4	4,0	0,4
6,4	0,0	4,6	0,0

4.3.2 Levantamento dos Modelos Digitais da Unidades

A primeira atividade envolveu a digitalização das unidades através das curvas de nível das mesmas obtidas de mapas topográficos da área estudada. Um exemplo deste tipo de imagem é apresentado na Figura 27.

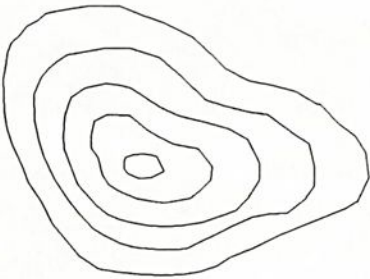


Figura 27 – Unidade de terreno digitalizada.

Em seguida esta unidade digitalizada era transformada em uma representação tridimensional (tarefa fundamental para a elaboração do modelo digital) através da aplicação de elevação a cada uma das curvas de nível de acordo com suas cotas (curvas de 20 em 20m no mapa original). A Figura 28 ilustra a representação tridimensional da unidade.



Figura 28 – Representação tridimensional da unidade.

Este programa aplicado sobre a unidade digitalizada proporcionava, antes de qualquer coisa, a geração de uma malha regular (quadrada) de 10m de lado sobre a unidade como se pode observar na Figura 29.

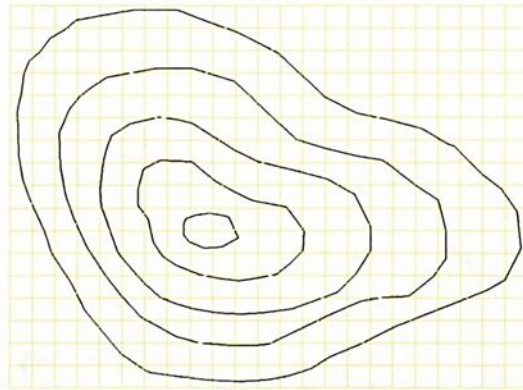


Figura 29 – Malha sobreposta à unidade.

A cada nó desta malha o programa atribui um valor de cota (z) de maneira que ao final do processo tem-se com resultado três vetores (x , y e z) sendo x e y sempre os mesmos para qualquer indivíduo tratado, e o vetor z específico para de cada indivíduo. No Anexo 2 apresenta-se um exemplo de uma saída deste programa de levantamento de dados.

Esta fixação das mesmas variáveis dependentes x e y só foi possível porque o modelo digital gerado para todas as unidades foi obtido pela utilização da mesma malha regular (mesmas dimensões e mesma distância entre os nós da malha).

4.4 ELABORAÇÃO DAS REDES NEURAIS

Esta fase do trabalho compreendeu as atividades desenvolvidas com o intuito de desenvolver as redes neurais artificiais a serem utilizadas no trabalho para que as mesmas fossem capazes de reconhecer as unidades de terreno consideradas e obedecessem aos requisitos de simplicidade e rapidez no processo de análise para que esta pudesse apresentar boa eficiência. Nesta etapa foram usados o “software” MATLAB 5.0 (MATHWORKS, 1997) e os *toolbox* a ele associados.

Por simplicidade entende-se, neste caso, a possibilidade de desenvolver redes neurais artificiais compostas por poucas camadas (de preferência apenas três – entrada, saída e oculta) e que em cada uma destas camadas se tivesse o menor número possível de neurônios. Com isso esperava-se obter redes neurais que apresentassem rápida convergência, pois se verifica que em redes neurais muito complexas a atualização dos pesos pode se tornar um grande problema tornando o processo mais complicado.

No caso de redes complexas a atualização dinâmica dos pesos da função de ativação de cada neurônio pode estar caminhando no sentido do menor erro local porém a mesma tendência em outros neurônios combinada pode dificultar a convergência no sentido do menor erro global.



Após testes que envolveram diversas arquiteturas, considerando-se redes neurais de até cinco camadas e, em alguns casos, algumas destas camadas com até vinte neurônios por camada, verificou-se que a arquitetura mais simples e eficiente no caso presente era de uma rede neural artificial composta por três camadas, sendo a camada de entrada composta por um neurônio, a camada intermediária (camada oculta) composta por cinco neurônios e a camada de saída composta também por um único neurônio.

Quanto ao requisito rapidez, o que se pretendia é que as redes neurais artificiais usadas permitissem uma análise de padrões com o menor tempo possível dentro de um mínimo de eficiência que considerava a correta identificação do padrão em questão com o menor erro possível (neste caso adotou-se como erro máximo permitido o valor 1%).

Neste caso não só a arquitetura da rede neural é importante mas também as funções de ativação de cada um dos neurônios considerados. Na literatura as funções de ativação consagradas para este tipo de análise (reconhecimento de padrões) são: função puramente linear (*purelin*), tangente sigmóide (conhecida na literatura como *tansig*) e a função logarítmica sigmóide (*logsig*).

Estas funções de ativação foram testadas para os caso em questão de diversas maneiras nos diversos tipos de arquitetura considerados e o “arranjo” que permitiu maior rapidez com mínima eficiência foi o uso da função puramente linear para os neurônios das camadas de entrada e saída, enquanto para a camada oculta a função de ativação mais adequada variou de caso para caso se poderá no tópico 4.5 (treinamento das redes neurais).



No decorrer dos trabalhos verificou-se que a eficiência esperada para as redes neurais artificiais desenvolvidas não era apenas função dos dois aspectos já citados mas que outros fatores tinham fundamental importância nesta avaliação. Estes fatores seriam o método de aprendizado e aquilo se convencionou denominar “variáveis de análise da rede”.

Quanto à técnica de aprendizado da rede neural optou-se pela retropropagação (*backpropagation*), tendo sido testadas duas possibilidades: (1) adoção aleatória dos pesos iniciais para as funções de ativação (com a total ausência de interferência o operador na fase de treinamento); e (2) definição, após as etapas preliminares de treinamento, dos pesos iniciais que se mostraram mais adequados.

A primeira opção mostrou resultados menos eficientes (maior número de iterações e portanto maior tempo necessário para a convergência, e até casos que não apresentaram convergência), indicando que de fato a adoção de pesos já previamente “testados” era o método mais adequado à situação estudada. As avaliações relativas às denominadas “variáveis de análise” serão discutidas no tópico 4.5 (treinamento das redes neurais).

Com base nos princípios citados foram desenvolvidas as redes neurais utilizadas. Com o objetivo de facilitar o entendimento da listagem da rede neural apresentada no Anexo 3, a qual representa a estrutura básica de todas as redes usadas, será feita a seguir uma descrição das principais estruturas presentes no interior da mesma.

Estas “estruturas” correspondem a trechos de programa ou rotinas de cálculo, análise e apresentação de resultados que, trabalhando de forma autônoma, compõem a estrutura completa de tratamento de dados da rede neural elaborada.



- “Definição do Problema”: nesta etapa são introduzidos os vetores de entrada do padrão (representação gráfica da unidade de terreno típica) e da denominada “unidade teste” (indivíduo cujo reconhecimento se pretende efetuar).
- “Plotagem das unidades”: etapa de simples representação gráfica das duas unidades (padrão e teste) na forma tridimensional.
- “Inicialização da Rede”: descrição, para o programa, da arquitetura da rede neural usada, de suas funções de ativação, pesos e valores de inicialização das funções.
- “Parâmetros de Treinamento”: definição dos parâmetros fundamentais da técnica de *backpropagation* para a rede montada. Estes parâmetros são: erro máximo permitido, número máximo de iterações permitidas, taxa de aprendizado dinâmico, e incremento e decremento desta taxa.
- “Fase de Apresentação”: processo de cálculo da rede – aplicação dos pesos, valores de inicialização, funções de ativação e cálculo do erro com respectiva apresentação gráfica da aproximação obtida.
- “Fase de Checagem”: confrontação da aproximação obtida em relação ao padrão considerado e avaliação da evolução da função erro.
- “Fase de Aprendizado”: atribuição de novos pesos, variáveis de entrada, e taxa de aprendizado dinâmico no sentido de reduzir o erro obtido.
- “Avaliação do Processo de Aprendizado”: aplicação da regra do gradiente para avaliar o desempenho da função erro e escolher o melhor processo de redução da função erro.



- “Aproximação Final”: cálculo e apresentação gráfica, após o limite máximo de iterações permitido, da evolução de: taxa de aprendizado, função erro, e erros locais. Apresentação dos resultados do processo – verificação da eficácia do treinamento e do reconhecimento do indivíduo em análise. A seguir apresenta-se a listagem do programa em questão.

4.5 TREINAMENTO DAS REDES NEURAIIS

4.5.1 Unidades Representadas por Perfis

A fase de treinamento destas redes neurais consistiu basicamente do ajuste das denominadas “variáveis de análise” as quais tiveram que ser analisadas em função de sua influência no desempenho das redes neurais. Estas variáveis compreendem: os pesos iniciais das funções de ativação, os critérios de parada da rede, a taxa de aprendizado dinâmico e o incremento e decremento adotados para os pesos durante o processo de atualização dos mesmos.

Quanto aos pesos iniciais das funções de ativação de cada neurônio sua adoção foi função dos testes de treinamento efetuados para as redes neurais considerando cada uma das unidades de terreno estudadas.

Após os testes com cada uma das unidades de terreno consideradas adotou-se como padrão o conjunto de pesos iniciais ajustados para aquela unidade que apresentasse a maior dificuldade de convergência (maior número de iterações necessário para o correto reconhecimento da unidade tratada).

Desta forma contemplou-se a unidade de convergência mais difícil como padrão de pesos iniciais fazendo com que sua convergência fosse a mais eficiente possível já que as demais unidades já apresentavam esta característica (convergência rápida).



Por critérios de parada entende-se os mecanismos de teste de identificação positiva do padrão tratado pela rede. Nas redes neurais utilizadas para a identificação dos perfis das unidades de terreno estes critérios foram o erro máximo permitido (0,01 ou 1%) e o número máximo de iterações (número máximo permitido de “passagens” pelo interior da rede, tendo sido adotado o valor de 1.000 iterações).

Caso após 1.000 iterações a rede não conseguisse identificar corretamente a unidade de terreno considerada com o erro mínimo de 0,01 à mesma era considerada “inadequadamente treinada” (incapaz de reconhecer adequadamente o padrão para o qual foi treinada) caso contrário era considerada “adequadamente treinada”.

É importante que se destaque que em casos semelhantes (identificação de padrões) é comum o uso de erros máximos de 0,05 ou até 0,1 e que, também em casos análogos se costuma utilizar números máximos de iterações de 10.000 ou 20.000. Portanto considera-se que no caso em questão se conseguiu desenvolver redes neurais bastante eficientes.

Outro aspecto das redes neurais artificiais desenvolvidas que se considera altamente positivo é o fato de que se adotou uma taxa de aprendizado dinâmico (variação permitida no cálculo do erro que indica sua progressão no sentido do erro mínimo global) bastante pequena (0,01) evitando-se desta forma que as redes utilizadas oscilassem muito em sua marcha de convergência (já que não se permitiu grandes oscilações em torno do erro). Para a atualização da função erro foi utilizado um incremento de 1.05 e um decremento de 0,7, também definidos após vários testes.

O processo de desenvolvimento e treinamento com as características acima descritas possibilitou o desenvolvimento de duas redes neurais artificiais, sendo uma desenvolvida e treinada para identificar os perfis longitudinais das unidades (chamada longit) e outra para a identificação dos perfis transversais (transv).



4.5.2 Unidades Representadas por Modelos Digitais

Para este grupo de redes neurais artificiais os mecanismos de definição das “variáveis de análise” das redes foram basicamente os mesmos adotados para o primeiro grupo (redes treinadas para o reconhecimento dos perfis) porém neste caso as características da malha regular utilizada para definir os modelos digitais do terreno utilizados e características próprias da técnica de aprendizado adotada (*backpropagation*) ocasionaram algumas dificuldades durante o processo de treinamento.

A malha em questão fornece, como resultado para representação da unidade tratada, um vetor “z” com 576 elementos. Este vetor quando operado com outro vetor (também com 576 elementos) para que se efetue o teste de reconhecimento do indivíduo, fornecia erros locais (em cada ponto do modelo digital) bastante grandes, os quais, quando somados proporcionavam um erro global maior ainda, totalmente incompatível com o erro máximo permitido (1%) o que tornava a convergência do processo muito lenta.

Imagine-se que para cada um destes pontos a diferença seja da ordem de alguns metros, quando efetuado somatório dos quadrados destes erros tem-se um valor de somatório da ordem de dezenas de milhares.

Este problema, associado ao fato que a regra de aprendizado utilizada (*backpropagation*) apresenta como principal característica exatamente o fato de possuir uma convergência bastante expressiva no início do processo de aprendizado porém bastante lenta em seu prosseguimento, tornava este processo de aprendizado praticamente impossível dentro do limite máximo de iterações que se pretendia utilizar – 500 iterações.



Em situações similares uma possibilidade considerada, em muitos casos, é permitir um número bastante grande como limite de iterações (é comum na literatura se observar redes neurais dedicadas ao reconhecimento de padrões que permitem 5.000, 10.000 ou até 20.000 iterações) porém no caso em questão tal solução não é desejável pois assim o tempo de processamento seria tão alto (da ordem de 40 a 50min) que a suposta vantagem do reconhecimento digital (sua agilidade) deixaria de existir. Pelo motivo exposto, no presente trabalho não se adotou tal solução, tendo-se buscado outras saídas, as quais ainda não se mostraram totalmente eficazes.

A primeira tentativa para se resolver este problema foi à aplicação de um fator de escala às cotas que compõem os vetores “z” de entrada (promovendo a divisão destes dados por um certo valor inteiro – foram tentados os valores 10, 100 e 1000), desta forma as cotas seriam representadas não mais em valores absolutos (835m por exemplo) mas sim em termos de uma parcela deste valor.

Este procedimento sendo utilizado tanto para a unidade padrão (aquela que a rede “saiba” que é a expressão clara da unidade de terreno tratada) como para a unidade teste em nada modificaria o processo de análise uma vez que as diferenças entre as unidades continuariam existindo. Esta tentativa provocou uma diminuição sensível nos valores absolutos do erro global porém não resolveu o problema da convergência lenta do processo.

Após outras melhorias do processo, citadas a seguir, verificou-se que este fator de escala não precisava ser tão grande assim razão pela qual passou-se a usar o fator 100 (divisão dos valores de entrada por 100). E, em fase ainda mais adiantada do treinamento verificou-se que este artifício não era necessário, podendo-se voltar a trabalhar com os valores reais das cotas nos vetores de entrada.



Outro processo tentado, também muito comum em trabalhos desta natureza, é a avaliação da evolução dos valores dos pesos e valores iniciais da função de ativação em termos dos valores finais (ao término das iterações permitidas).

Em situações como esta, após um ciclo completo de iterações, toma-se os valores finais de pesos e da função de ativação e realimenta-se a rede neural para iniciar com estes valores (já supostamente otimizados). No caso em questão esta tentativa mostrou-se infrutífera uma vez que os novos valores de pesos e valores iniciais da função de ativação encontrados ao final de todo um ciclo completo de iterações eram pouco diferentes dos valores iniciais, demonstrando um bom ajuste destes pesos e valores iniciais de ativação.

Outra tentativa normalmente feita em situações como esta, e também tentada no caso presente, é a alteração do número de neurônios presentes na camada oculta (principal camada de análise).

No caso descrito este número de neurônios foi elevado para sete, dez, e vinte e cinco neurônios, consecutivamente, e, em nenhum dos casos se obteve resultado positivo, ao contrário, quando se aumentava o número de neurônios na camada intermediária a rede muitas vezes passou a ficar instável (a taxa de aprendizado dinâmico não era corretamente atualizada e o processo não apresentava convergência).

Tentou-se ainda modificar os valores do incremento e do decremento da função erro tentando promover uma convergência mais rápida. Também neste caso não se obteve qualquer resultado positivo, mostrando que os valores de incremento e decremento já utilizados eram os melhores possíveis para a situação tratada.



O passo seguinte tentado foi à alteração da função de ativação da camada intermediária de tangente sigmóide para logarítmica sigmóide (que é outro tipo de função de ativação também bastante utilizada em casos como o presente).

Esta alteração proporcionou uma melhoria significativa no processo de aprendizado possibilitando uma redução mais eficiente do erro global e uma melhoria no processo de convergência.

Numa etapa posterior tentou-se novo ajuste dos pesos, valores de ativação e taxas de incremento do aprendizado para esta nova realidade (função logarítmica sigmóide) o processo de aprendizado passou a ser mais ágil.

Como todas estas tentativas não proporcionaram o resultado com a eficiência que se pretendia passou-se então a analisar possibilidades de se trabalhar com os dados de entrada de forma a possibilitar um processo mais ágil e estável.

Com este objetivo tentou-se então uma normalização dos dados transformando-se uma das opções da rede (a unidade padrão, como comumente se faz nestes casos) em “opção zero”, isto foi conseguido efetuando-se a subtração de ambos os vetores com o vetor que representa a unidade padrão.

Com isso a unidade padrão normalizada passa então a ser representada por um vetor de zeros enquanto a unidade teste normalizada passa a ser um vetor “diferenças”. Com esta modificação conseguiu-se, finalmente, uma convergência segura porém ainda considerada lenta para as necessidades do presente projeto (número máximo de iterações igual a 500).



A seguir tentou-se, a título de teste, permitir um maior número de iterações (até 2.000) para se verificar a evolução do processo de treinamento sem prejudicar fortemente o tempo de processamento da informação. Com isso foi possível que se verificasse que dentro do novo limite (2.000 iterações) os processos de treinamento mostravam-se eficazes para quase todas as unidades de terreno tratadas, ou seja, o reconhecimento era positivo quando se comparava o “padrão” de uma certa unidade de terreno com outro indivíduo pertencente à mesma classe.

Porém quando se tentava um processo de reconhecimento entre um “padrão” de certa unidade com um indivíduo de outra unidade de terreno esta resposta também era positiva o que não é de, forma alguma, desejável.

A princípio pensou-se que isso se dava em função do uso da chamada “opção 0” pois quando se converte a unidade padrão para um vetor de zeros e ela é comparada com uma unidade de terreno de outra classe cujo modelo numérico (e conseqüentemente o vetor de entrada) apresente uma grande quantidade de zeros dada sua pequena dimensão em termos das dimensões da malha única utilizada o que se tem é a “comparação” entre um vetor de zeros e um outro com “muitos zeros” o que forçosamente fornece um reconhecimento positivo com um pequeno número de iterações.

A título de ilustração apresenta-se a seguir um exemplo deste tipo de problema para duas unidades de terreno significativamente diferentes para as quais no entanto este problema tem sido bastante sério.

Tomemos como exemplo o padrão da unidade “morro amplo anguloso” cuja representação gráfica (no interior da malha regular que gera os dados de entrada) pode ser observada na Figura 30.



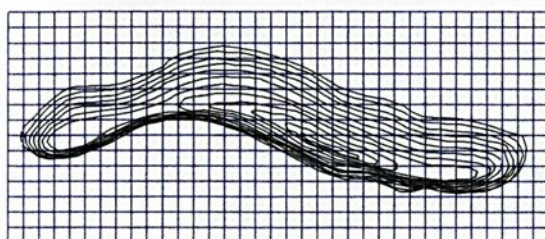


Figura 30 – representação da unidade “morro amplo anguloso” na malha utilizada.

Devido à suas dimensões esta unidade ocupa praticamente todo espaço da malha regular proporcionando, por isso mesmo, um vetor com pouco “zeros”, uma vez que o valor zero de cota só é definido para pontos da malha fora da curva de nível mais externa da representação da unidade. Porém quando se subtrai o vetor que representa as cotas dos nós da malha dele mesmo obtêm-se um vetor de zeros.

Observe-se agora a representação, na mesma malha, de um indivíduo pertencente à unidade “morrote pequeno anguloso” (Figura 31).

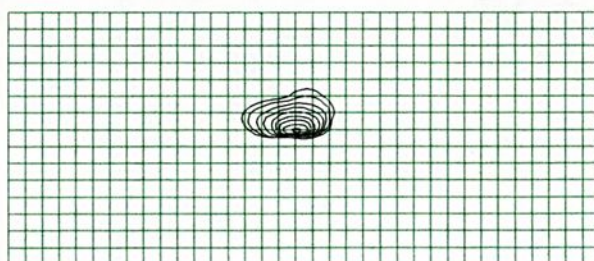


Figura 31 – representação da unidade “morrote pequeno anguloso” na malha utilizada.

Neste caso, dadas as pequenas dimensões da unidade, se comparadas às dimensões da malha regular, o que se verifica é um vetor de saída de cotas com uma quantidade bastante expressiva de “zeros” o qual, se testado (para reconhecimento) com um vetor de zeros (como o citado anteriormente) proporcionará um reconhecimento positivo e rápido porém equivocado.

Esta foi, sem dúvida, a fase de maior dificuldade de identificação do “problema” existente no treinamento e requereu uma reanálise completa da rede neural em treinamento até que se descobrisse que o problema de fato era a função de ativação que estava sendo utilizada para a camada oculta da rede.

O uso das funções tangente-sigmóide e logaritmo-sigmóide (aparentemente mais favoráveis para redução do erro neste caso) provoca um ajuste excessivo nos dados de entrada, uma vez que retorna valores dentro de intervalos de variação muito pequenos (entre -1 e 1 para a função tangente-sigmóide e entre 0 e 1 para a função logaritmo-sigmóide) valores estes que quando subtraídos da unidade padrão (que não sofre tal processo de ajuste) retorna erros muito grandes independentemente da classe à qual pertence o indivíduo que está sendo testado.

Tentou-se então o uso, também na camada oculta, da função de ativação puramente linear (a qual retorna valores entre $-\infty$ e $+\infty$) e que proporcionou, finalmente, o ajuste correto para a etapa de treinamento, com reconhecimento adequado dos diferentes indivíduos de cada classe (unidade de terreno).

Com a etapa de treinamento assim concluída foi possível então a definição da rede neural utilizada nesta fase do trabalho a qual tornou possível a correta identificação das unidades de terreno tratadas, usando-se como critério de distinção, assim como para as unidades representadas por seus perfis longitudinais, os intervalos de número de iterações característicos para cada unidade de terreno.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Antes de mais nada é preciso que se destaque a grande similaridade de formas existente entre diferentes unidades de terreno. A distinção entre uma ou outra unidade de terreno muitas vezes se dá através de pequenas diferenças como declividades de encostas com valores de 8% num caso e 12% em outro, porém estas pequenas diferenças distinguem unidades de terreno que apresentam perfis de solos à elas associados com comportamento geotécnico bastante diferenciado.

Em função deste fato foi possível se notar, desde o princípio dos trabalhos, que o único critério de distinção eficaz para a rede neural diferenciar entre estas unidades seria o número de iterações (ciclos de passagem dos dados pela rede) necessário para a convergência e a correta identificação da unidade de terreno.

Dadas as diferenças existentes entre as duas modalidades de apresentação dos dados das unidades de terreno às redes neurais artificiais (perfis longitudinal e transversal da unidade e seu modelo digital do terreno) os resultados de cada um destes processos serão apresentados em separado.

5.1 UNIDADES REPRESENTADAS POR PERFIS

Desde o início da aplicação desta modalidade de análise verificou-se que o ajuste de pesos e valores iniciais das funções de ativação que se mostrava adequado à correta identificação de perfis longitudinais não era adequado para os perfis transversais das unidades fazendo com que fosse necessário o desenvolvimento de duas redes neurais (uma para análise de perfis longitudinais e outra para perfis transversais).



Elaboradas as redes neurais artificiais e definidas todas suas características passou-se então à fase de utilização das mesmas que consistiu de duas etapas – treinamento e teste de eficácia.

Na etapa de treinamento vinte indivíduos de cada categoria foram apresentados às redes neurais e procedeu-se o ajuste dos valores dos pesos iniciais e dos valores iniciais das funções de ativação destas redes. As redes neurais só foram consideradas adequadamente treinadas após a convergência e correta identificação destes vinte indivíduos do conjunto de treinamento.

Concluída a etapa de treinamento com sucesso (estando a rede preparada para reconhecer cada uma das unidades de terreno analisadas) foi possível verificar-se que o número de iterações era a variável capaz de servir como instrumento de distinção entre as diferentes unidades de terreno por parte das redes neurais treinadas (uma para os perfis longitudinais e outra para os perfis transversais).

Os resultados da etapa de treinamento mostraram que cada uma das unidades de terreno consideradas apresentava um intervalo típico de variação do número de iterações necessárias para sua correta identificação conforme se apresenta nas Tabelas 5 (perfis longitudinais) e 6 (perfis transversais).



Tabela 5 – Intervalo de número de iterações – perfis longitudinais.

Landform	Unidade de Terreno	Intervalo de N° de Iterações
Colina	Colina Pequena	< 75
	Colina Média	75 – 160
	Colina Ampla	160 – 210
Morrote	Morrote Pequeno	320 – 360
	Morrote Médio	290 – 320
Morro	Morro Médio	360 – 420
	Morro Amplo	> 420

Tabela 6 – Intervalo de número de iterações – perfis transversais.

Landform	Unidade de Terreno	Intervalo de N° de Iterações
Colina	Colina Ondulada	< 50
	Colina Suave Ondulada	50 – 80
	Colina Aplainada	80 – 120
Morrote / Morro	Topo Arredondado	120 – 180
	Topo Angular	180 – 250

Este fato permitiu que o teste de eficácia fosse efetuado considerando-se estes intervalos e então se apresentando às redes neurais os conjuntos de cinco indivíduos pertencentes à categoria em questão e também outros de unidades similares, porém não pertencentes à mesma classe de forma a testar a eficácia deste reconhecimento.

Desta forma esperava-se que aquelas unidades pertencentes à classe testada fossem corretamente identificadas e a elas atribuída a resposta “adequada” enquanto que para as unidades que não pertencessem à classe analisada se tivesse a resposta “inadequada”. As respostas apresentadas pelas redes mostraram que a técnica de análise era eficiente (reconhecimento correto para indivíduos pertencentes à classe e não reconhecimento para indivíduos não pertencentes).

5.2 UNIDADES REPRESENTADAS POR MODELOS DIGITAIS

No caso da utilização dos modelos digitais do terreno das unidades de terreno o fato de se tratar de uma representação tridimensional (sem necessidade da apresentação das unidades na forma de parcelas) tentou-se o desenvolvimento de uma única rede neural artificial para a análise de todas as unidades de terreno consideradas.

Da mesma forma que no caso anterior (perfis das unidades) nesta modalidade de análise os estudos também tiveram duas etapas – fase treinamento (adequação das características da rede neural à análise do problema em questão) e teste de eficácia (verificação da eficiência da rede no processo de identificação das unidades), as quais serão apresentadas separadamente.

Assim como na etapa de treinamento das redes utilizadas para a identificação dos perfis, também neste caso foram apresentados à rede neural vinte indivíduos de cada classe (os mesmos usados anteriormente) e, com estes dados de entrada (modelo digital do terreno destes vinte indivíduos de cada unidade de terreno), foi feito o ajuste dos parâmetros da rede neural (funções de ativação, pesos, incremento e decremento e valores iniciais das funções). Também neste caso a rede seria considerada adequadamente treinada após a convergência e correta identificação destes vinte indivíduos do conjunto de treinamento.

Também no caso das análises que envolveram os modelos digitais do terreno o processo de treinamento apesar de relativamente demorado (cerca de seis meses de duração) foi um grande sucesso do ponto de vista de reconhecimento das unidades, porém o que se percebeu neste caso foi que, assim como para as unidades de terreno descritas segundo seus perfis, a distinção entre as diferentes unidades pela única rede neural só poderia se dar com base na utilização do intervalo de número de iterações característico para cada unidade.



Além disso, neste caso os intervalos de número de iterações apresentavam-se confusos quando se tentava a distinção através de uma única rede neural artificial já que existiam, como se poderá perceber nas informações apresentadas a seguir, intervalos de número de iterações típicos de unidades de relevo de colinas que eram parecidos com intervalos típicos de unidades de relevo de morros e morrotes.

Portanto, para esta modalidade de representação das unidades de terreno, foi necessária a utilização de três redes neurais artificiais (uma para classificação de colinas, outras para a classificação dos morros e uma última para unidades a classificação dos morrotes). Estes intervalos de número de iterações típicos são apresentados nas Tabelas 7 (colinas), 8 (morros) e 9 (morrotes).

Tabela 7 – Intervalo de número de iterações – colinas.

Landform	Unidade de Terreno	Intervalo de N° de Iterações
Colina	Colina Pequena Ondulada	165 – 200
	Colina Pequena Suave Ondulada	140 – 160
	Colina Média Ondulada	122 – 136
	Colina Média Suave Ondulada	110 – 120
	Colina Ampla Suave Ondulada	93 – 105
	Colina Ampla Aplainada	75 – 90

Tabela 8 – Intervalo de número de iterações – morros.

Landform	Unidade de Terreno	Intervalo de N° de Iterações
Morro	Morro Amplo Angularoso	850 – 2000
	Morro Médio Angularoso	280 – 600
	Morro Médio Arredondado	120 – 260

Tabela 9 – Intervalo de número de iterações – morrotes.

Landform	Unidade de Terreno	Intervalo de N° de Iterações
Morrote	Morrote Pequeno Anguloso	280 – 402
	Morrote Médio Anguloso	520 – 770
	Morrote Médio Arredondado	450 – 495

Uma vez estabelecido o critério de distinção entre as unidades de terreno (número de iterações) era possível então se efetuar o teste de eficácia para o caso em que as unidades foram apresentadas às redes neurais na forma de modelos digitais do terreno.

Os resultados desta etapa mostraram que, de fato, esta identificação era possível desde que se tomasse os seguintes cuidados: (1) inserir o centro da unidade exatamente no centro da malha regular no processo de geração do modelo digital; (2) utilizar diferentes redes neurais para os diferentes grupos de unidades de terreno (colinas, morros e morrotes).

Desta forma foram usados para teste cinco indivíduos de cada categoria, não pertencentes ao conjunto de treinamento daquela classe, e o resultado obtido foi o correto reconhecimento das unidades de terreno pela rede neural (considerada a sua classificação de acordo com os intervalos típicos de número de iterações).

6 ANÁLISES

Efetuosos os testes de eficácia para as duas formas de apresentação das unidades às redes neurais artificiais se faz necessário à apresentação de considerações importantes acerca do mecanismo de análise usado (redes neurais artificiais), principalmente no que diz respeito à etapa de treinamento das mesmas, e dos resultados obtidos (em função das unidades de terreno consideradas).

Para que tais considerações sejam apresentadas de forma clara optou-se, também neste tópico do relatório, em apresentar cada uma das etapas separadamente (fase de treinamento e teste de eficácia).

6.1 FASE DE TREINAMENTO

A fase de treinamento das redes neurais artificiais foi, sem sombra de dúvida, a etapa decisiva no desenvolvimento do presente projeto, ainda mais devido ao grau de exigência que se pretendia para as redes neurais desenvolvidas.

O fato de se pretender elaborar redes neurais simples e que possibilitassem resultados ágeis e eficientes fez com que o ajuste dos pesos das funções de ativação de cada um dos neurônios tivesse que apresentar grande precisão. Porém esta tarefa só é possível com muitas horas de teste das redes para cada uma das unidades tratada e freqüente reavaliação do processo de aprendizado da rede neural.

Para que esta tarefa tivesse os resultados esperados foram necessárias inúmeras interrupções no andamento do processo de análise das redes neurais para se evitar que as mesmas não ficassem “flutuando” em torno do erro mínimo global sem, no entanto apresentar convergência para o mesmo.



De fato, não existe outra maneira de se fazer isso que não seja o acompanhamento constante do processo de treinamento. O operador não pode se descuidar um minuto já que o processo é altamente dinâmico.

Constatou-se, ainda com relação à fase de treinamento, que as redes devem ser programadas para apresentar o cálculo do erro e o desvio do mesmo em torno do erro máximo permitido a cada pequeno número de iterações efetuadas (no máximo 20), para que se possa acompanhar mais eficientemente o processo.

O estabelecimento do número máximo de iterações permitido também só é possível (com um mínimo de precisão) ao final de toda a etapa de treinamento.

Consideradas as observações acima, foi possível atingir os objetivos propostos com os requisitos pretendidos para as redes neurais desenvolvidas (simplicidade e rapidez).

6.2 TESTE DE EFICÁCIA

Os testes de eficácia efetuados também apresentaram características peculiares em função dos “objetos” analisados (unidades de terreno), mostrando uma clara relação entre o desempenho das redes neurais no reconhecimento de cada unidade em particular e a complexidade da unidade tratada. Com relação a este aspecto duas características importantes foram notadas.

Quanto mais complexa a unidade de terreno tratada, maior o número de iterações necessário para sua correta identificação, pois esta “maior complexidade” representava um maior número de curvas de nível necessário para representação, acarretando, por isso mesmo, arquivos de dados (perfis ou modelos digitais) maiores e, portanto, um maior volume de dados a serem ajustados pela rede neural artificial.



Outro reflexo interessante desta maior complexidade de algumas unidades foi à definição de intervalos maiores de número de iterações para o reconhecimento da unidade. Analisando-se este fato percebe-se facilmente que isso deveria ser esperado já que estas unidades mais complexas (por significarem arquivos de entrada com maior número de dados) apresentam maior dispersão em seus resultados, o que pode ser esperado em qualquer grande conjunto de dados.

7 SISTEMATIZAÇÃO DA APLICAÇÃO

Uma vez que os trabalhos efetuados refletem um bom potencial de uso de redes neurais artificiais como mecanismo de reconhecimento digital de unidades de terreno indicando a possibilidade de uso por outros profissionais interessados, é razoável que os procedimentos para aplicação da técnica sejam apresentados de forma sistematizada. Assim apresenta-se, a seguir, uma seqüência recomendada de uso da técnica com algumas recomendações quanto às fases mais críticas do trabalho.

- A. Reconhecimento (via fotointerpretação) das unidades de terreno presentes na área em estudo;
- B. Seleção do conjunto de indivíduos a serem utilizados no treinamento da rede neural artificial (devem ser escolhidos aqueles que representem, de forma mais fiel possível, os *landforms* identificados);
- C. Obtenção de base cartográfica em escala adequada à escala do documento final (sugere-se que a diferença de cota entre as curvas de nível não deva ser maior que 20m);
- D. Digitalização dos indivíduos do conjunto de treinamento e geração, a partir dos *landforms* digitalizados, dos arquivos de entrada para a rede neural (produção dos arquivos de dados dos perfis de do modelo digital da unidade);



- E. Treinamento da rede neural com os indivíduos pré-selecionados;
- F. Digitalização das unidades de terreno e geração de arquivos de dados dos demais *landforms* presentes na área e seu reconhecimento e classificação através da rede neural treinada; e
- G. Generalização da informação (quando necessária) e produção do documento final.

Nota: os resultados do presente trabalho sugerem que não se deva privilegiar uma modalidade de representação em relação à outra, enquanto não se tenha um volume de dados tratados que permite concluir qual delas apresenta melhor desempenho deve-se utilizar as duas formas de representação dos *landforms* (perfis longitudinal e transversal e modelo digital do terreno).

8 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de todas as etapas do presente projeto possibilitou o estabelecimento das conclusões apresentadas a seguir:

- a fase de treinamento constitui-se na etapa mais importante no uso de redes neurais artificiais para identificação de unidades de terreno, para que se tenha um processo de análise rápido e eficiente;
- a técnica de avaliação do terreno é um mecanismo eficiente de identificação de padrões de terreno, mesmo quando se trata de identificação digital dos *landforms*;
- redes neurais artificiais de fato podem se constituir num excelente mecanismo de identificação de padrões de relevo, permitindo a distinção digital entre diferentes unidades de relevo podendo vir a agilizar muito o processo de zoneamento preliminar do meio físico;
- sistemas especialistas que tenham redes neurais artificiais como base de análise do relevo podem ser desenvolvidos desde que se solucione a forma de levantamento dos dados, que no atual projeto não era totalmente informatizada;



9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKROYD, L.W. The Engineering Classification of Some Western Nigerian Soils and their Qualities in Road Building. **Overseas Bulletin** (Road Research Laboratory), Harmondsworth, n. 10, [s.p.], 1959.
- AGUIAR, A.D.C. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Conchal - SP: escala 1:50.000**. São Carlos: EESC / USP. 1995. 2v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1995.
- AGUIAR R.L. **Mapeamento Geológico-Geotécnico da Área de Expansão Urbana de São Carlos - SP: contribuição ao planejamento**. São Carlos: EESC/USP. 1989. 2v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1989.
- ALBRETCH, K.J. **Mapeamento Geotécnico Preliminar da Região de Águas de Lindóia - escala 1:50.000**. São Carlos: EESC/USP. 1992. 2 v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.
- ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim do Instituto Geográfico** (número especial - Geologia do Estado de São Paulo), São Paulo, n. 41, p. 167-262, 1964.
- ALMEIDA, L.E.G. **Mapeamento Geotécnico de Casa Branca (SP) – ênfase no uso da técnica de avaliação dos terrenos e perfis típicos de materiais inconsolidados**. São Carlos: EESC/USP. 2000. 2 v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.
- AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE **Dictionary of Geological Terms**. New York: Anchor Books, 1974. p. 278.
- ANDRADE S.M. & SOARES, P.C. Geologia de Semidetalhe do Centro-leste do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro: **Petrobrás - Relatório Interno (Desul) n. 407**, 1971.
- ANTHONY, T.C.G. Neural-network modeling of CPT seismic liquefaction data. **Journal of Geotechnical Engineering**, n. 1, p. 70-73, 1996.



- ARTUR, A.C.; WERNICK, E. & KAWASHITA, K. Dobramentos Superimpostos na Região de Itapira (São Paulo): caracterização e cronologia. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, 1979, Rio Claro. **Atas....** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979, v. 1, p. 59-70.
- ARTUR A.C.; WERNICK, E. & FIORI, A.P. Estruturas Redobradas nos Arredores Itapira, SP. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, 1981, Curitiba. **Atas....** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1981, v. 1, p. 252-261.
- AUTODESK. **AUTOCAD R.13 for Windows**, 1997.
- AZEVEDO, A.A.B. & MASSOLI, M. Geologia da Folha de Aguaí, SP. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 5, n. 1/2, p. 39-46, 1983.
- BARCHA, S.F. Estratigrafia do Bauru na Região Norte-ocidental do Estado de São Paulo. In: MESA REDONDA: A FORMAÇÃO BAURU NO ESTADO DE SÃO PAULO E REGIÕES ADJACENTES, 1980, São Paulo. **Coletânea de Trabalhos e Debates....** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia (publicação especial SBG/NSP), 1980, n. 7, p. 48-62.
- BARISON, M.R. **Mapeamento Geotécnico Regional da Quadricula de Amparo - SP, escala 1:50.000: com base na análise de "landform" e de perfis típicos de alteração.** São Carlos: EESC/USP. 1995. 2 v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1995.
- BATES, R.L. & JACKSON, J.A. **Glossary of Geology**. 1 ed. Falls Church - Virginia: American Geological Institute, 1980. p. 349.
- BEAUMONT, T.E. Remote Sensing Imagery. In: BELL, F.G. ed. **Ground Engineer's Reference Book**. 1.ed. London: Butterworths, 1987. Cap. 20, p. 20/1-20/12.
- BEBIS, G.N. & PAPADOURAKIS, G.M. Object recognition using invariant object boundary representations and neural network models. **Pattern Recognition**, v. 25, n. 1, p. 25-44, 1992.
- BECKETT, P.H.T. & WEBSTER, R. The Storage and Collation of Information on Terrain. **Military Engineering Experimental Establishment Interim Report**, Christchurch, n. 871, 1962.



- BELCHER, D.J. The Use of Soil Maps in Highway Engineering. In: AMERICAN ROAD SCHOLL, 28, 1942a, [s.l.]. **Proceedings 28th ...** [s.l.]: Purdue University, 1942a, Engineering Bulletin n. 26, p. 64.
- BELCHER, D.J. Use of Aerial Photographs in WarTime Engineering. **Rds. Str.**, [s.l.], v. 85, n. 7, p. 35, 1942b.
- BELCHER, D.J. The Engineering Significance of Soil Patterns. In: ANNUAL MEETING OF HIGHWAY RESEARCH BOARD, 23, 1943, [s.l.]. **Proceedings...** [s.l.]: 1943, p. 569.
- BELCHER, D.J. Engineering Applications of Aerial Reconnaissance. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 57, n. 8, p. 727-734, august, 1946.
- BELCHER, D.J.; GREGG, L.S. & WOODS, K.B. The Formation, Distribution and Engineering Characteristics of Soils. **Highway Research Bulletin** (Research Series n. 87), [s.l.], n. 10, [s.p.], 1943.
- BELL, D.H. Urban Development Practices in New Zealand. In: THE ROLE OF GEOLOGY IN URBAN DEVELOPMENT, 3, 1987, Hong Kong. **Proceedings....** Hong Kong: Geological Society of Hong Kong, 1987, Bulletin n. 3, p. 43-65.
- BJORNBERG, A.J.S. & LANDIM, P.M.B. A Formação Rio Claro (neoceno-zóico) no Interior do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 20, 1966a, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1966a, p. 67-68.
- BJORNEBERG, A.J.S. & LANDIM, P.M.B. Contribuição ao Estudo da Formação Rio Claro (neoceno-zóico). **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 41-67, 1966b.
- BLISS, N.B. & REYBOLD, W.U. Small-scale Digital Soil Maps for Interpreting Natural Resources. **Journal of Soil & Water Conservation**, [s.l.], v. 44, n. 1, p. 30-34. january-february 1989.
- BLONDA, P.; LAFORGIA, V.; PASQUARIELLO, G. & SATALINO, G. Feature extraction and pattern classification of remote sensing data by a modular neural system. **Optical Engineering**, v. 35, n. 2, p. 536-542, 1996.



- BOURNE, R. Regional Survey and its Relation to Stocktaking of Agricultural and Forest Resources of the British Empire. **Ox. For. Mem.**, v. 13, [s.p.], 1931.
- BOYER, L. Generalization in Semi-detailed Geomorphological Mapping. **ITC Journal** (International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences), Amsterdam, n. 1, p. 98-123, April 1981.
- BRAUN, O.P.G. O Termo Associação e seu Emprego na Taxonomia Estratigráfica Brasileira. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Belém : Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, p. 151-159.
- BREYER, J. Reconnaissance Geomorphological Terrain Classification, Lower Boteti Region, Northern Botswana. **ITC Journal** (International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences), Amsterdam, n. 3, p. 317-323, December 1982.
- BROLLO, M.J. **Mapeamento Geotécnico da Quadrícula de Araras - SP, escala 1:50.000.** São Carlos : EESC/USP. 1991. 2 v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.
- BYE, S.J. & ADAMS, A. Neural network paradigm for visual pattern recognition. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS, 3, 1993, Brighton. **Proceedings...** Brighton: IEEE, 1993, p. 11-15.
- CAMPOS, J.O. Formação Rio Claro - Aspectos Geotécnicos. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, 1979, Rio Claro. **Atas...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979, v. 2, p. 35-49.
- CAMPOS, J.O. & VICELLI NETO, O. Ponderações sobre o Comportamento Geotécnico da Formação Rio Claro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1987, v. 2, p. 323-336.
- CARDOSO, A.B.F. **Mapeamento Geotécnico do Município de Limeira - SP:** subsídios para o planejamento regional. EESC/USP. 1993. 2v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993.
- CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISAS AGRONÔMICAS **Carta de Solos do Estado de São Paulo.** escala 1:500.000. São Paulo, Comissão de Solos do Ministério da Agricultura, Boletim 12, 1960, [s.p.].



- CHACÓN, J; IRIGARAY, C. & FERNÁNDEZ, T. Large to Middle Scale Landslides Inventory, Analysis and Mapping With Modeling and Assessment of Derived Susceptibility, Hazards and Risks in a GIS. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings....** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 6, p. 4669-4678.
- CHANDLER, J.H. & MOORE, R. Analytical Photogrammetry: a method for monitoring slope instability. **Quarterly Journal of Engineering Geology**, London, v. 22, p. 97-110, 1989.
- CHEN, C.H. On the relationships between statistical pattern recognition and artificial neural networks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, 1990, Los Angeles. **IEEE Systems...**, Los Angeles: IEEE, 1990, p. 182-183.
- CHEN, C.Y. & HWANG, C.J. Multi-level backpropagation network of pattern recognition systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 1994. **Proceedings...**, IEEE, 1994, p. 3078-3082.
- CHRISTIAN, C.S. & STEWART, G.A. **General Report on Survey of the Katherine-Darwin Region**. Sidney: CSIRO - Australian Land Research Series n. 1. 1953.
- COLLARES E.G. **Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Bragança Paulista (escala 1:50.000): ênfase nos materiais inconsolidados**. São Carlos: EESC/USP. 1994. 2 v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1994.
- COLLARES E.G. **Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Pinhal: escala 1:50.000**. Relatório Interno do Projeto Mapeamento Geotécnico do Centro-leste do Estado de São Paulo. 1995a. (inédito)
- COLLARES E.G. **Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Valinhos : escala 1:50.000**. Relatório Interno do Projeto Mapeamento Geotécnico do Centro-leste do Estado de São Paulo. 1995b. (inédito)
- CONNORS, S.D. Application of Aerial Photographs and Superficial Geologic Maps to the Determination of Suitability of Land for Septic Tank Systems. **Bulletin of the International Association of Engineering Geologists**, [s.l.], n. 17, p. 153-162, 1980.



- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. Land-systems Mapping. In: COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in Environmental Management: an introduction**. 1.ed. London: Pitman Press, 1978b. cap. 13, p. 326-351.
- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. Geomorphological Mapping. In: COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in Environmental Management: an introduction**. 1.ed. London : Pitman Press, 1978c. cap. 14, p. 352-379.
- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. Mapping Geomorphology. In: COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in Environmental Management: a new introduction**. 2.ed. New York : Claredon Press, 1990. cap. 2, p. 19-63.
- COTTAS, L.R. **Estudos Geológico-Geotécnicos Aplicados ao Planejamento Urbano de Rio Claro - SP**. São Paulo: IG/USP. 1983. 2 v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1983.
- COTTAS, L.R.; MANIAKAS, S. & BRANDÃO, P.F.P. Levantamento das Espessuras de Solos e das Profundidades do Lençol Freático na Área Urbana de Limeira - SP. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6, 1987a, Rio Claro. **Anais....** Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987a, v. 2, p. 413-418.
- COTTAS, L.R.; JIMENEZ, R.J.R.; CASTRO, P.R.M.; GONTIJO, R.C. & BANNWART, E. Mapeamento Geológico para Planejamento do Sítio Urbano de Limeira - SP. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6, 1987b, Rio Claro. **Anais....** Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987b,
- COTTAS, L.R.; JIMENEZ, R.J.R.; NÓBREGA, C.A.; CASTRO, P.R.M.; & FRANZOLI, M. Mapeamento Geotécnico de Solos na Área de Planejamento de Limeira - SP. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6, 1987c, Rio Claro. **Anais....** Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987c,
- CUNHA N.A.; PASTORE, E.L.; SANTOS, A.R.; AUGUSTO JR., F. Importance of Local Natural Material Resources in Earth Roads Maintenance. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 5, 1986, Buenos Aires. **Proceedings....** Buenos Aires: Oxford & IBH, 1986, v. 5, p. 1639-1644.



- DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.E. & CADY, J.G. The Relation between Geomorphology and Soil Morphology and Genesis. **Advances in Agronomy**, Raleigh, v. 23, p. 51-88, 1971.
- DE MIO, G. **Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Mogi-Guaçu / SP**. São Carlos: EESC/USP. 1992. 102 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA **Estudo de Águas Subterrâneas - Região Administrativa nº 5 - Campinas**. São Paulo, Secretaria de Obras e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1981, 2 v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA **Caracterização dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. São Paulo, Secretaria de Obras e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1984, 175p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA / UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:250.000**. São Paulo, 1982.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL **Projeto Sapucaí, Estados de Minas Gerais e São Paulo, Relatório Final de Geologia**. Brasília, Ministério das Minas e Energia, Série Geologia, nº 4, 1979, 299p.
- DOUGLAS, I. & SPENCER, T. Applied Geomorphology in the Tropics: introduction. **Zeitschrift für Geomorphologie** (Supplementband), Berlin - Stuttgart, v. 44, n. 1/2/3, December 1982.
- DOWLA, F.U. & ROGERS, L.L. **Solving Problems in Environmental Engineering and Geosciences with Artificial Neural Networks**. Cambridge: The MIT Press, 1995, 239p.
- DUMBLETON, M.J. Photo-interpretation. In: BELL, F.G. ed. **Ground Engineer's Reference Book**. 1.ed. London : Butterworths, 1987. cap. 22, p. 22/1-22/15.
- EBERT, H. A Estrutura Pré-cambriana do Sudoeste de Minas Gerais e Áreas Adjacente. Resumo das Comunicações e Roteiro de Excursão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, 1967, Curitiba. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, 1967, n. 26, p. 42-45.



- EBERT, H. Ocorrências da Fácies Granulítica no Sul de Minas e em área Adjacentes, em Dependência da Estrutura Orogênica : hipóteses sobre sua origem. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 40, p. 215-229, 1968.
- EBERT, H. Os Paraibides entre São João del Rei, Minas Gerais e Itapira, São Paulo e a Bifurcação entre Paraibides e Araxáides. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971, São Paulo. **Resumo das Comunicações....** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971, boletim especial n. 1, p. 177-178.
- EBERT, H. O Grupo Eleutério e a Falha de Jacutinga, nordeste de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Resumo das Comunicações....** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, boletim especial n. 1, p. 726-730.
- EDWARDS, R.J.G. ed. Land Surface Evaluation for Engineering Practice. Reports bay a work party under the auspices of the Geological Society. **Quarterly Journal of Engineering Geology**, [s.l.], v. 15, n. 4, p. 256-316, 1982.
- ESPÍNDOLA, C.R. & MILLER, L.C. **Solos da Sociedade Agrícola Tabajara Ltda. Cosmópolis**, [s.i.], 1979.
- EVANS, C.V. & ROTH, D.C. Conceptual and Statistics Modes to Characterize Soil Materials, Landforms and Processes. **Soil Science of America Journal**, [s.l.], v. 56, n. 1, p. 214-219, january-february 1992.
- FERES, R. **Caracterização geotécnica de uma bacia hidrográfica urbana (Rio Branco-AC) com ênfase nos processo de ocupação dos fundos de vale**. São Carlos: UFScar. 1998. 210 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 1998.
- FLOOD, I. & KARTAN, N. Neural networks in Civil Engineering II: systems and applications. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 8, n. 2, p. 149-162, 1994.
- FONTES S.B. **Mapeamento geotécnico com ênfase em erosões no Município de Ouro Preto-MG – Escala – 1:5.000**. São Carlos: EESC/USP. 1999. 2 v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.



- FOOKES, P.G. & VAUGHAN, P.R. Introduction. In: FOOKES, P.G. & VAUGHAN, P.R. **A Handbook of Engineering Geomorphology**. 1.ed. New York: Blakie & Son, 1986. cap. 1, p. 1-8.
- FOOKES, P.G.; DALE, S.G. & LAND, J.M. Some Observations on a Comparative Aerial Photography Interpretation of a Landslipped Area. **Quarterly Journal of Engineering Geology**, London, v. 24, n. 3, p. 249-265, 1991.
- FORSTER, A. & CULSHAW, M.G. Slope Stability Assessment from Geotechnical and Slope Data for Planning Purposes. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 3, p. 1771-1775.
- FRANKOT, R.T. & CHELLAPPA, R. Estimation of surface topography from SAR imagery using shapes from shading techniques. **Artificial Intelligence**, v. 43, n. 3, p. 271-310, Jun. 1990.
- FREEMAN, J.A. & SKAPURA, D.M. **Neural Networks**: algorithms, applications, and programming techniques. Repr. Reading-MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1992, 401p.
- FREITAS, R.O.; MEZZALIRA, S.; ODA, G.H.; VIEIRA, P.C.; TORRES, C.C.; HACHIRO, J.; TOMINAGA, L.K.; DEHIRA, L.K.; MASSOLI, M.; AZEVEDO, A.A.B.; & PRESSINOTI, M.M.N. Projeto de Levantamento Geológico de Formações Superficiais. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, 1979, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979, v. 2, p. 263-277.
- FÚLFARO, V.J. O Cenozóico da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, 1979, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979, v. 1, p. 2-31.
- GARCIA, G.J. **Sensoriamento Remoto**: princípios de interpretação de imagens. 1.ed. São Paulo : Livraria Nobel, 1982. 357p.
- GARNER, H.F. **The Origin of Landscapes**. New York: Oxford University Press, 1974. 734p.



- GARTNER, J.F. Recent Canadian Experience in Communicating Terrain Evaluation Information. **Bulletin of the International Association of Engineering Geologists**, Krefeld, n. 21, p. 164-174, 1980.
- GEODFREY, A.E. & CLEAVES, E.T. Landscape Analysis: theoretical considerations and practical needs. **Environmental Geology & Water Sciences**, New York, v. 17, n. 2, p. 141-155, august 1991.
- GLORFELD, L.W. A methodology for simplification and interpretation of backpropagation-based neural models. **Expert Systems With Applications**, v. 10, n. 1, p. 37-54, 1996.
- GOLDEN SOFTWARE. **SURFER 6.0**, 1999.
- GORDIENKO, P. Construction of efficient neural networks. **Advances in Modeling and Analysis**, v. 24, n. 3-4, p. 51-59, 1995.
- GORSKY, V.A. & GORSKY, E. Contribuição ao Estudo do Caldasito do Planalto de Poços de Caldas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, 1968, Belo Horizonte. **Resumos das Comunicações....** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1968, p. 9-10.
- GORSKY, V.A. & GORSKY, E. Contribuição ao Estudo dos Diferentes Tipos de Mineralização no Planalto de Poços de Caldas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, 1972, Belém. **Resumos....** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1972, boletim 1, p. 59-60.
- GORSKY, V.A. & GORSKY, E. Contribuição à Mineralogia e Petrografia do Planalto de Poços de Caldas. **Boletim da Comissão Nacional de Energia Nuclear**, Rio de Janeiro, n. 13, 91p., 1974.
- GRANT, K. Air-photo Interpretation for Engineering Land Use. [s.i.].
- GRANT, K. Terrain Evaluation: a logical extension of Engineering Geology. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 1, 1970a, Paris. **Proceedings...**, Paris: 1970, v. 2, p. 971-980.
- GREGORY, K.J. A Physical Geography Equation. **National Geographer**, [s.l.], v. 12, p. 155-173, 1978.



- GRIMES, C.; PICTON, P.D. & ELLIMAN, D.G. A neural network position independent multiple pattern recognizer. **Artificial Intelligence in Engineering**, v. 10, n. 2, p. 117-126, 1996.
- GRUBER, G.A.G. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Cosmópolis - SP**. São Carlos: EESC/USP. 1993. 2 v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993.
- GUPTA, R.P. Geological Applications. In: GUPTA, R.P. **Remote Sensing Geology**. 1.ed. Berlin: Springer-Verlag, 1991, cap. 13, p. 223-309.
- HARDEN, J.W. Soil Development on Stable Landforms and Implications for Landscape Studies. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 3, n. 3/4, p. 391-398, 1990.
- HASSOUN, M.H. **Fundamentals of Artificial Neural Networks**. Cambridge: The MIT Press, 1995, 511p.
- HASUI, Y. **Tectônica da Área das Folhas de São Roque e Pilar do Sul**. São Paulo: IG/USP. 1973. 190p. Tese - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1973.
- HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. Evolução Geológica do Pré-cambriano na Região Sudeste do Estado de São Paulo. **Revista da Sociedade Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 180-200, 1974.
- HASUI, Y.; PENALVA, F. & HENNIES, W.T. Geologia do Grupo São Roque. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23, 1969, Salvador. **Anais....** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1969, p. 101-134.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GIMENEZ, A.F.; ALMEIDA, M.A.; MELO, M.S. & PIRES NETO, A.G. As Grandes Falhas do Leste Paulista. In : SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1, 1977, São Paulo. **Atas....** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1977, p. 369-438.
- HAWKINS, A.B. ed. Tropical Residual Soils. Working Party Report, **Quarterly Journal of Engineering Geology**, London, v. 23, n. 1, 101p., 1990.
- HEBB (1949)
- HITTLE, J.E. Airphoto Interpretation of Engineering Sites and Materials. **Photogramm. Engng.**, [s.l.], v. 15, p. 589, 1949.



- HOPPFIELD, J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. USA97, p. 2554-2558, 1982.
- HOWARD, A.D. & SPOCK, L.E. Classification of Land Forms. **Journal of Geomorphology**, [s.l.], v. 3, p. 332-345, 1940.
- HUNT, C.B. **Geology of Soils**. San Francisco: W.H. Freeman, 1974. 344p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Mapa Topográfico: Quadricula de Campinas (SF-23-Y-A)**. 2.ed. Rio de Janeiro, IBGE, Escala 1:250.000, 1980.
- ICHIKAWA, Y., AYDAN, O., KYOYA, T. , OSAKA, H. & KAWAMOTO, T. Expert System for Tunnel Design. **Microcomputers in Civil Engineering**, v. 5, n. 1, p. 3-18, 1990.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS **Mapa Geológico do Estado de São Paulo: escala 1:500.000**. São Paulo, IPT - Publicação n. 1184, Série Monografias, 6, 2 v. 1981a.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000**. São Paulo, IPT - Publicação n. 1183, Série Monografias, 5, 2 v. 1981b.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS **Gênese Distribuição e Estratigrafia dos Depósitos Cenozóicos do Estado de São Paulo**. São Paulo, IPT - Publicação n. 1364, Série Monografias, 9, 72p. 1983.
- IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T; CHACÓN, J; AMRANI-PAAZA, N.El & BOUSSOUF, S. GIS Geotechnical and Environmental Assessment of Site Selection for Urban Waste Disposal in the Granada District (Spain). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994a, Lisboa. **Proceedings....** Lisboa: A.A. Balkema, 1994a, v. 6, p. 4679-4685.



- IRIGARAY, C; FERNÁNDEZ, T. & CHACÓN, J. GIS Landslide Inventory and Analysis of determinant Factors in the Sector of Rute (Córdoba, Spain). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994b, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: A.A. Balkema, 1994b, v. 6, p. 4659-4668.
- IVINS, G.J. & BELL, F.G. An Engineering Geomorphological Appraisal of Slope Stability Along a Proposed by-pass in Natal. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 5, p. 3933-3942.
- JENKINS, D.S.; BELCHER, D.J.; GREGG, L.E. & WOODS, K.B. **The Origin, Distribution and Airphoto Identification of United States Soils**. U.S. Dept. of Commerce, Civil Aeronautics Administration, Washington, 1946.
- JHA, V.K. Highway Alignment Surveying Mountainous Areas and its Impact on Environment - case example from Okhaldhunga Area, Nepal. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 4, 1982, New Delhi. **Proceedings...** New Delhi: 1982, v. 1, p. I.403-I.412.
- JUANG, C.H. & LEE, D.H. Development of an expert system for rock mass classification. **Civil Engineering Systems**, v. 6, n. 4, p. 147-156, 1989.
- KATE, J.M. & PATHAK, R. Geomorphological Mapping and Classification of an Area Using Air-photo Interpretation Technique. **Inst. Eng. India Journal**, New Delhi, v. 68, n. 2, p. 114-119, September 1987.
- KOARAI, M.; TSUZAWA, M.; HOSHINO, M.; OHTANI, T. & MIZUKOSHI, H. Geomorphological Analysis of Japanese Volcanoes for Natural Disaster Prediction by Geographical Survey Institute. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 3, p. 2275-2282.
- KOVÁCS, Z.L., **Redes Neurais Artificiais: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Edição Acadêmica, 163p., 1996.

- KRIEG, R.A. & REGER, R.D. Preconstruction Terrain Evaluation for the Trans-Alaska Pipeline Project. In: COATES, D.R. **Geomorphology and Engineering - Geomorphology Symposium 7th**. 2.ed. London: George Allen & Unwin, 1980. cap. 4, p. 55-76.
- KOPEZINSKI, I. **Avaliação da degradação ambiental produzida por mineração no município de Poços de Caldas (MG) considerando procedimentos de mapeamento geotécnico**. São Carlos: EESC/USP, 2.v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.
- LANDIM, P.M.B.; SOARES, P.C. & GAMA JÚNIOR, E.G. **Estratigrafia do Nordeste da Bacia do Paraná**. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, [s.p.], 1980.
- LANYON, I.E. & HALL, G.F. Land-surface Morphology: 1. evaluation of a small drainage basin in Eastern Ohio. **Soil Science**, Baltimore, v. 136, n. 5, November 1983.
- LEGGET, R.F. The Role of Geomorphology in Planning. In: COATES, D.R. **Geomorphology and Engineering - Geomorphology Symposium 7th**. 2.ed. London: George Allen & Unwin, 1980. cap. 15, p. 315-328.
- LI, D. & WEE, W.G. Integration of neural network and expert system for pattern recognition. In: INTERNATIONAL NEURAL NETWORK ANNUAL MEETING, 1, 1988, Boston. **Proceedings....** Boston: IEEE, 1988, v. 1, p. 32.
- LI, H.M. Maojiazhuang Landslide and its Stability Analysis by Remote Sensing. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings....** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 3, p. 1361-1365.
- LIPORACI, S.R. **Procedimentos e metodologias de mapeamento geotécnico: aplicação na cidade e parte do município de Poços de Caldas (MG) – Escala 1:25.000 – visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico**. São Carlos: EESC/USP. 1994. 2v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1994.

- LOLLO, J.A. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Leme - SP**: utilização da geomorfologia para a caracterização preliminar de unidades geotécnicas. São Carlos: EESC/USP. 1991. 87p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.
- LOLLO, J.A., **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico**: sistematização e aplicação na Quadricula de Campinas, Tese (Doutoramento), Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 2 vol., 1995.
- LOLLO, J.A. Caracterização geotécnica da área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP) com o uso de formas de relevo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3, 1998, Florianópolis. **Anais...**, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Florianópolis, (anais em mídia eletrônica - CD), 1998.
- LOLLO, J.A. & ZUQUETTE, L.V. Terrain evaluation in warm climates: methodological proposition. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT, 8, 1998, Vancouver - Canada. **Proceedings...**, International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG), Vancouver, v. 2, p. 913-918, 1998.
- MATHWORKS. **MATLAB 5.0 - Version 12**, 1997.
- MC DONALD, J.A. Neural nets are start to make sense. **Biosensors & Bioelectronics**, v. 7, n. 9, p. 621-626, 1992.
- MCCULLOCK, W.S. & PITTS, W. A logical calculus of the ideas imminent in nervous activity, **Bulletin of Mathematical Biophysics**, v. 5, pp. 115-133, 1943.
- MEHROTRA, K.; MOHAN, C.K. & RANKA, S. **Elements of Artificial Neural Networks**. Cambridge: The MIT Press, 1996, 344p.
- MEZZALIRA, S. Descrição Geológica e Geográfica das Folhas de Piracicaba e São Carlos, SP. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, n. 43, 43p. 1965.
- MILES, R.D. A Concept of Land Forms, Parent Materials and Soils in Airphoto Interpretation Studies for Engineering Purposes. In: SYMPOSIUM ON PHOTO INTERPRETATION, [s.n.], 1962, Delft. **Transactions of the ...**. Delft: International Society for Photogrammetry, 1962. p. 462-476.



- MILES, R.D. Application of Aerial Photographs to Preliminary Engineering Soil Surveys. In : SYMPOSIUM ON SURFACE AND SUBSURFACE RECONNAISSANCE, [s.n.], 1951, [s.l.]. **Symposium ...** [s.l.] : American Society Testing Materials, 1951. p. 57.
- MINDERMAN, P.A.; PETER, A.; & MCAVOY, T.J. Neural net modeling and control of a municipal waste water process. In: AMERICAN CONTROL CONFERENCE, 1993, San Francisco. **Proceedings...** San Francisco: IEEE, 1993, v. 2, p. 1480-1484.
- MINTZER, O.W. & FROST, R.E. How to Use Air-photos and Maps for Material Survey. **Highway Research Board Bulletin**, Washington, n. 62, [s.p.], 1952.
- MITCHELL, C.W. Terrain Evaluation. In: BELL, F.G. ed. **Ground Engineer's Reference Book**. 1.ed. London: Butterworths, 1987. cap. 23, p. 23/1-23/8.
- MITCHELL, H.C. Definitions and Terms Used in Geodetic and others Surveys. Washington: U.S. Government Printing Office, **Coast and Geodetic Survey Special Publication n. 242**, [s.l.], p. 64, 1948.
- MODENESI, M.C. Níveis de Erosão e Formações Superficiais na Região de Itu-Salto, SP. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 4, n. 4, p. 228-246, 1974.
- MONKHOUSE, F.J. & SMALL, J. **A Dictionary of the Natural Environment**. 1.ed. London: Edward Arnold, p. 174, 1978.
- NAGARAJAN, R. & SHAH, S.D. Regional Engineering Geological Mapping Using Remotely Sensed Data. **Bulletin of the International Association of Engineering Geologists**, Paris, n. 35-36, p. 51-57, October 1987.
- NANDA, R.L. & AKINYEDE, J.O. Application of Remote Sensing for the Survey of Calcrete in the Semi-arid Region of Nigeria. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 5, 1986, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: A.A. Balkema, 1986, v. 2, p. 2447-2452.
- NARENDRA, K.S. Adaptive Control Using Neural Networks. In: MILLER, W.T., SUTTON, R.S. & WERBOS, P.J. (ed.) **Neural Networks for Control**. Bradford Book-MIT Press, Cambridge, Massachusetts-USA, 3 ed. 1992. Cap. 5, p. 115-142.



- NIGHTINGALE, C, & HUTCHINSON, R.A. Artificial neural network and their application to image processing, **British Telecom Technology Journal**, v. 8, n. 3, p. 81-93, 1990.
- NIGRIN, A. **Neural Networks in Pattern Recognition**. Cambridge: The MIT Press, 1993, 413p.
- NISHIYAMA, L. **Mapeamento Geotécnico Preliminar da Quadricula de São Carlos**. São Carlos: EESC/USP. 1991. 2v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.
- OKAGBUE, C.O. Gully Development and Advance in a Rain Forest of Nigeria. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 5, 1986, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: A.A. Balkema, 1986, v. 6, p. 1999-2010.
- OLIVEIRA, A.G. Urânio no Planalto de Poços de Caldas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, 1968, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1968, p. 30.
- OLIVEIRA, A.G. Mineralizações Uraníferas do Planalto de Poços de Caldas - Minas Gerais - Brasil. In: CONGRESSO HISPANO-LUSO-AMERICANO DE GEOLOGIA ECONÔMICA, 1, 1971, Madrid-Lisboa. **Anais...** Madrid-Lisboa: 1971, tópico 2, p. 1037-1041.
- OLIVEIRA, A.G. Mineralização de Urânio e Molibdênio no Planalto de Poços de Caldas - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 207-221.
- OLIVEIRA, J.B. & BOTTA, C.L. Levantamento Pedológico Detalhado da Estação Experimental de Limeira, SP. **Bragantia**, [s.l.], v. 32, n. 1, p. 1-60, 1973.
- OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de São Carlos. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n. 98, 188p, 1984.
- OLIVEIRA, J.B. et al. Levantamento Pedológico Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo: Quadricula de Campinas. Rio de Janeiro, **IBGE - Série Recursos Naturais e Meio Ambiente** n. 5, 172p. 1979.



- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.; BARBIERI, J.L.; ROTTA, C.L. & TREMOCOLDI, W. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de Araras. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, [s.n.], 180p. 1982.
- OLIVEIRA, M.A.F. et. al. Sedimentação Associada ao Vulcanismo Alcalino de Poços de Caldas (Divinolândia, SP). **Boletim do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 16, p. 13-19, 1975.
- PALMQUIST, R.C. & BIBLE, G. Conceptual Modeling of Landslide Distribution in Time and Space. **Bulletin of the International Association of Engineering Geologists**, Krefeld, n. 21, p. 178-186, 1980.
- PARAGUAÇU, A.B.; ZUQUETTE, L.V.; RODRIGUES, J.E.; VILAR, O.M. & GANDOLFI, N. Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Campinas Escala (1:200.000). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, 1991, São Paulo. **Atas...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1991, p. 375-382.
- PAVLOVIC, R. & MARKOVIC, M. Remote Sensing Investigation of Slope Instability Occurrences. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 1, p. 17-22.
- PEDDLE, D.R. & FRANKLIN, S.E. Classification of permafrost active layer depth from remotely sensed and topographic evidence. **Remote Sensing of Environment**, v. 44, n. 1, p. 67-80, Apr. 1993.
- PEJON, O.J. **Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Piracicaba - SP (Escala 1:100.000)**: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. São Carlos: EESC/USP. 1992. 2v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.
- PENALVA, F. & WERNICK, E. Compartimentação Tectônica em parte do Pré-cambriano Paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973, Aracaju. **Resumos dos Trabalhos...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 1973, boletim 1, p. 128-130.



- PENTEADO, M.M. **Geomorfologia do Setor Centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista**. Rio Claro: FFCLRC. 1968. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia Ciências de Letras de Rio Claro, 1968.
- PERUGINI, N.K. & ENGELER, W.E. Neural network learning time: effects of network and training set size. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 2, 1989. **Proceedings...**, IEEE, p. 395-401.
- PETRI, S. & FÚLFARO, V.J. **Geologia do Brasil (Fanerozóico)**. 1.ed. São Paulo: EDUSP, 1983. 631p.
- PONÇANO, W.L. et al. **Mapa Geomorfológico Preliminar do Estado de São Paulo**. São Paulo, IPT, Escala 1:500.000, 1979a.
- PONÇANO, W.L. et al. O Conceito de Sistemas de Relevo Aplicado ao Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, 1979b, Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979b, v. 2, p. 253-262.
- POTHÉRAT, P. Photo-interprétation du Glissement de la Clapière (Alpes Maritimes, France). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 3, p. 1527-1532.
- PUN, L. Pertinence and Utility of Artificial Intelligence Techniques for Production Management Systems. **Computers in Industry**, v. 14, p. 149-159, 1990.
- QIAN, J., EHRLICH, R.W. & CAMPBELL, J.B. DNESYS - An expert system for automatic extraction of drainage networks from digital elevation data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 28, n. 1, p. 29-45, Jan. 1990.
- RADAMBRASIL **Folha SF 23/24 Rio de Janeiro - Vitória**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia, 780p. 1983.
- RAGHU, P.P.; POONGODI, R. & YEGNANARAYANA, B. A combined neural network approach for texture classification. **Neural Networks**, v. 8, n. 6, p. 975-987, 1995.
- RICE, C.M. **Dictionary of Geological Terms**. Princeton - New Jersey: 1956. p. 212.



- RIZZO, D.M. & DOUGHERTY, D.E. Characterization of Aquifer Properties Using Artificial Neural Networks: Neural Kriging. **Water Resources Research**, v. 30, n. 2, p. 483-497, February 1994.
- ROCKAWAY, J.D. & SMITH, R.J. Geomorphic Assessment for a Waste Disposal Facility. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings....** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 4, p. 2393-2402.
- RODRIGUES, B.B **Inventário e análise de susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais e erosões na região de Águas de Lindóia/SP - escala 1:10.000**. São Carlos: EESC/USP. 1998. 142 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.
- ROGERS, L.L. & DOWLA, F.U. Optimization of Groundwater Remediation Using Artificial Neural Network with Parallel Solute Transport Modeling. **Water Resources Research**, v. 30, n. 2, p. 457-481, February 1994.
- ROSENBLATT, F., The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain, **Psychological Review**, v. 65, pp. 386-408, 1958.
- RUIZ, R.M.M. & GIJÓN, M.F. Methodology for Landslides Hazard Map 1:10,000 in the Area of Monachil (Granada, Spain). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings....** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 3, p. 2059-2064.
- RUMMELHART, D.E.; HINTON, G.E. & WILLIAMS, R.J., Learning internal representations by error propagation. In: RUMMELHART, D.E.; HINTON, G.E. & WILLIAMS, R.J., **Parallel Distributed processing**, chap. 8, 1986.
- SAFAVIAN, S.R. & TENORIO, M.F. Applications of self organizing topology networks in geosciences and remote sensing. INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 1991, Singapore. **1991...**, Piscataway: IEEE, 1991, p. 1142-1147.



- SARAIVA R.M. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Socorro com base na Análise das Formas de Relevo ("landform")**. São Carlos: EESC/USP. 1994. 2.v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1994.
- SCHAAP, M.G. & BOUTEN, W. Modeling water retention curves of sandy soils using neural networks. **Water Resources Research**, v. 32, n. 10, p. 3033-3040, 1996.
- SCHMITT, M. & MATTIOLI J. Shape recognition combining mathematical morphology and neural networks. In: **APPLICATIONS OF NEURAL NETWORKS**, 1, 1991, Orlando. **Applications...**, Orlando: SPIE, v. 1469, p. 392-403.
- SCHNEIDER, R.L. et al. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 42-65.
- SCHOFIELD, A.N. Nyasaland Laterites and their Indications on Aerial Photographs. **Overseas Bulletin** (Road Research Laboratory), Harmondsworth, n. 5, 1957.
- SHIMEI, W., SHUFANG, X. & ZHIYUAN, J. An Engineering Geology Expert System of Shearing Zone. In: **INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS**, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 6, p. 4489-4494.
- SINGHROY, V.H. Case Studies on the Application of Remote Sensing Data to Geotechnical Investigation in Ontario, Canada. In: JOHNSON, A.I. & PETTERSON, C.B. (ed.) **Geotechnical Applications of Remote Sensing and Remote Data Transmission**: ASTM special technical publication, 967. 1.ed. Philadelphia: ASTM, 1986. p. 9-45.
- SMALL, R.J. **The Study of Landforms**. 2.ed. London: Cambridge University Press, 1986, 502p.
- SOARES, P.C. & FIORI, A.P. Lógica e Sistemática na Análise de Fotografias Aéreas em Geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p. 71-104, dezembro 1976.
- SOARES, P.C. **O Mesozóico Gondwânico no Estado de São Paulo**. Rio Claro: FCL/USP, 1973. Tese - Faculdade de Ciências e Letras, 1973.



- SOARES, P.C. Elementos Estruturais da parte Nordeste da Bacia do Paraná: classificação e gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 107-121.
- SOARES, P.C. & LANDIM, P.M.B. Aspectos Regionais da Estratigrafia da Bacia do Paraná no seu Flanco Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973, Aracaju. **Anais....** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 1973, p. 243-255.
- SOARES, P.C. & LANDIM, P.M.B. Depósitos Cenozóicos na Região Centro-sul do Brasil. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 31, p. 17-39, 1976.
- SOARES, P.C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A. & CASTRO, P.R.M. Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973, Aracaju. **Anais....** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 1973, v. 1, p. 209-228.
- SOUZA, M.L. **Mapeamento Geotécnico da Cidade de Ouro Preto / MG (Escala 1:10.000) – susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos**. São Carlos: EESC/USP. 1996. 2.v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1996.
- SOUZA N.M. **Contribuição à Cartografia Geotécnica com uso de Geoprocessamento: sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica**. São Carlos: EESC/USP. 1994. 2.v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1994.
- SOUZA, N.C.D.C. **Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Aguai: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração**. São Carlos: EESC/USP. 1992. 2.v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1992.
- STOJANOVSKI, J. Artificial neural network for mapping. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 1989. **Proceedings...**, v. 2, p. 630.
- TRAUTMANN, C.H. & KULHAWAY, F.H. Engineering Geologic Planning for Electric Transmission Structures. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 5, 1986, Buenos Aires. **Proceedings....** Buenos Aires: A.A. Balkema, 1986, v. 5, p. 1539-1545.



- TUTTASS, T. & BRYNGDAHL, O. Neural learning algorithm for halftoning. **Optical Communications**, v. 113, n. 4-6, p. 360-364, 1995.
- VAN ZUIDAM, R.A. Considerations on Systematic Medium-scale Geomorphological Mapping. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Berlin - Stuttgart, v. 26, n. 4, p. 473-480, December 1982.
- VIBERG, L. & ADESTAM, L. Geotechnical Terrain Classification for Physical Planning - a Swedish research project. **Bulletin of the International Association of Engineering Geologists**, Krefeld, n. 21, p. 174-178, 1980.
- VIEIRA, P.C. Geologia da Folha de Rio Capetinga. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 23-52, julho/dezembro 1982.
- VON LEHMEN, A.; PAEK, E.G.; LIAO, P.F.; MARRAKCHI, A. & PATEL, J.S. Factors influencing learning by backpropagation. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 2, 1988, San Diego. **Proceedings....** San Diego: 1988, v. 1, p. 144-149.
- WANG, D. Pattern recognition: neural networks in perspective. **IEEE Expert**, Columbus, v. 8, n. 4, p. 52-60, 1993.
- WASSERMAN, P.D., **Neural computing: theory and practice**, 230p., 1989.
- WAY, D.S. **Terrain Analysis**. Strounddsburg: Hutchinson & Ross, 1973. 392p.
- WEIR, M.K. Method for self-determination of adaptive learning rates in backpropagation. **Neural Networks**, v. 4, n. 3, p. 371-379, 1991.
- WERNICK, E. **A Geologia da Região de Amparo, Leste do Estado de São Paulo**. Rio Claro: FFCL. 1967. Tese - Faculdade de Filosofia Ciências e Letras. 1967.
- WERNICK, E. **A Geologia do Maciço de Morungaba, Leste do Estado de São Paulo**. São Carlos, EESC/USP. 110p. 1972. Boletim Geológico n. 16, Escola de Engenharia de São Carlos, 1972.
- WERNICK, E. Contribuição à Estratigrafia do Pré-cambriano do Leste do Estado de São Paulo e Áreas Vizinhas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 206-216, 1978.



- WERNICK, E. & PENALVA, F. Migmatização e Feldspatização de Charnokitos e Granulitos no Leste Paulista e Sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974a, Porto Alegre. **Anais....** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974a, v. 5, p. 115-160.
- WERNICK, E. & PENALVA, F. Depósitos Molassóides da Formação Eleutério, São Paulo, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974b, Porto Alegre. **Resumo das Comunicações....** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974b, boletim especial 1, p. 723.
- WESTEN, C.J.; RENGERS, N.; SOETERS, R. & TERLIEN, M.T.J. An Engineering Geological GIS Data Base for Mountainous Terrain. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings....** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 6, p. 4467-4475.
- WIDROW, B., Generalization and information storage in networks of Adaline neuron. In: **Self-organizing systems**, Chap. 7, 1962.
- WOLF, P.R. Photographic Interpretation. In: WOLF, P.R. **Elements of Photogrammetry**. 2.ed. Singapore: McGraw-Hill, 1983. 514-529.
- WONG, K.C., POULOS, H.G. & THRONE, C.P. Site Classification by Expert Systems. **Computers and Geotechnics**, [s.l.], v. 8, p. 133-156, 1989.
- XU, Q. & HUANG, R.Q. Artificial Neural Network Methods for Spatial Prediction of Slope Stability. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings....** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 6, p. 4725-4728.
- YIN, K.L. A Computer-assisted Mapping of Landslide Hazard Evaluation. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings....** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 6, p. 4495-4499.



- YINGQING, Z. An Expert System for the Prediction of Slope Stability. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings....** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 6, p. 4483-4488.
- YOON, B. Neural networks. Still looking good. **Aerospace America**, v. 29, n. 10, p. 48-50, 1991.
- YU, Y. & JACOBSSON, A. Geological and Geotechnical Characteristics of Tills for Road Construction. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 7, 1994, Lisboa. **Proceedings....** Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 5, p. 3235-3243.
- ZUQUETTE, L.V. **Mapeamento Geotécnico Preliminar na Região de São Carlos**. São Carlos: EESC/USP. 1982. 2.v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1982.
- ZUQUETTE L.V. **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras**. São Carlos: EESC/USP. 1987. 3.v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1987.
- ZUQUETTE, L.V. **Mapeamento Geotécnico: uma nova abordagem**. Ribeirão Preto: Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 1991, 269p.
- ZUQUETTE, L.V. **Importância do Mapeamento Geotécnico no Uso e Ocupação do Meio Físico: fundamentos e guia para elaboração**. São Carlos: EESC/USP. 1993. 2.v. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1993.
- ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. Mapeamento Geotécnico da Região de Campinas (SP, Brasil) e sua Importância para o Planejamento Territorial. **Geociências**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 191-206, 1992.
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; SINELLI, O.; & GANDOLFI, N. Carta de Risco da Região de Ribeirão Preto (SP): escala 1:50.000. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, 1991. São Paulo: 2º... São Paulo. Sociedade Brasileira de Geologia, 1991. p. 361-265.



ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; SINELLI, O.; & GANDOLFI, N. Carta de Riscos Potenciais de Erosão - Cidade de Franca (SP) - escala 1:25.000. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2, 1992. Pereira: 2º... Pereira.



ANEXO 1

LISTAGEM DO APLICATIVO

MALHA.LSP




```

; Arquivo:Malha.LSP
;Consideracoes:
;      - as curvas deverao estar cada um em sua respectiva
;      altura e numa vista de topo
;      - os pontos devem ser dados de baixo para cima e
;      da esquerda para a direita
; setagens iniciais
(setq colorold (getvar "cecolor"))
(setq layerold (getvar "clayer"))
(setq apertold (getvar "aperture"))
(setq w (getdist "\nEntre com a largura de cada unidade da malha: "))
(setq p1 (getpoint "\nPick um ponto retangular do inicio da malha: "))
(setq p3 (getpoint "\nPick ponto oposto da malha: "))
(setq p2 (list (car p1) (cadr p3)))
(setq p4 (list (car p3) (cadr p1)))
(setq dx (distance p1 p4))
(setq dy (distance p1 p2))
(setq nx (fix (/ dx w)))
(setq ny (fix (/ dy w)))
(command "layer" "n" "malha" "s" "malha" "")
(command "pline" p1 p2 p3 p4 "c")
(command "osnap" "nea")
(command "aperture" "50")
; desenha linhas em x para interpolação
(setq x1 0)
(setq y1 0)
(setq pt p1)
(while (< x1 nx)
  (progn
    (setq px pt)
    (setq px (list (+ (car px) w) (cadr px)))
    (setq px1 px)
    (setq pt (list (+ (car pt) w) (cadr pt)))
    (setq x1 (+ x1 1))
    (setq y1 0)
    (while (< y1 ny)
      (progn
        (setq temp px1)
        (setq px1 (list (car px1) (+ (cadr px1) w)))
        (setq px temp)
        (command "line" px px1 "")
        (setq y1 (+ y1 1))
      )
    )
  )
)

```

```

    )
  )
  (command "redraw")
  ; desenha linhas wm y para interpolacao
  (command "aperture" "50")
  (setq x1 0)
  (setq y1 0)
  (setq pt p1)
  (while (< y1 ny)
    (progn
      (setq py pt)
      (setq py (list (car py) (+ (cadr py) w)))
      (setq py1 py)
      (setq pt (list (car pt) (+ (cadr pt) w)))
      (setq y1 (+ y1 1))
      (setq x1 0)
      (while (< x1 nx)
        (progn
          (setq temp py1)
          (setq py1 (list (+ (car py1) w) (cadr py1)))
          (setq py temp)
          (command "line" py py1 "")
          (setq x1 (+ x1 1))
        )
      )
    )
  )
  )
  (command "redraw")
  ; determina os pontos de recobrimento
  (command "aperture" "50")
  (command "color" "2")
  (command "layer" "n" "malha" "s" "malha" "")
  (setq malhafile (open "malha.scr" "w"))
  (write-line "3dmesh" malhafile)
  (write-line (rtos ny 2 0) malhafile)
  (write-line (rtos nx 2 0) malhafile)
  (setq x1 0)
  (setq y1 0)
  (setq pt (list (- (car p1) w) (- (cadr p1) w) (caddr p)))
  (while (< y1 ny)
    (progn
      (setq py pt)
      (setq py (list (car py) (+ (cadr py) w) ))
      (setq py1 py)
      (setq pt (list (car pt) (+ (cadr pt) w) ))
      (setq y1 (+ y1 1))
      (setq x1 0)
    )
  )

```



```

        (while (< x1 nx)
          (progn
            (setq temp py1)
            (setq py1(list (+ (car py1)w) (cadr py1)))
            (setq py temp)
            (command "ID" py1)
            (setq ponto(getvar "lastpoint"))
            (write-line (strcat (rtos (car py1)) "," (rtos(cadr py1)) ","
(rtos(caddr ponto)))) malhafile)
            (setq x1 (+ x1 1))
          )
        )
      )
    )
  )
(write-line (strcat "color " colorold) malhafile)
(write-line (strcat "layer s " layerold " ") malhafile)
(write-line (strcat "aperture " (rtos apertold 2 0)) malhafile)
(close malhafile)
(command "osnap" "")
(setq sset (ssget "x" (list (cons 8 "malha"))))
(command "erase" sset "")
(command "script" "malha.scr")

```

ANEXO 2

EXEMPLO DE SAÍDA DO APLICATIVO MALHA.LSP

Mesh M size: 17

Mesh N size: 23

Vertex (0, 0): 50.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 2): 54.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 4): 58.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 6): 62.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 8): 66.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 10): 70.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 12): 74.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 14): 78.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 16): 82.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 18): 86.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 20): 90.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 22): 94.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (1, 1): 52.0726,1.9737,1.0185
Vertex (1, 3): 56.0726,1.9737,5.2606
Vertex (1, 5): 60.0726,1.9737,14.4241
Vertex (1, 7): 64.0726,1.9737,24.5359
Vertex (1, 9): 68.0726,1.9737,28.0991
Vertex (1, 11): 72.0726,1.9737,28.5097
Vertex (1, 13): 76.0726,1.9737,23.0760
Vertex (1, 15): 80.0726,1.9737,12.6272
Vertex (1, 17): 84.0726,1.9737,7.7494
Vertex (1, 19): 88.0726,1.9737,5.5798
Vertex (1, 21): 92.0726,1.9737,2.8373
Vertex (2, 0): 50.0726,3.9737,0.0000
Vertex (2, 2): 54.0726,3.9737,8.6584
Vertex (2, 4): 58.0726,3.9737,16.7197
Vertex (2, 6): 62.0726,3.9737,30.5353
Vertex (2, 8): 66.0726,3.9737,38.5597
Vertex (2, 10): 70.0726,3.9737,41.6332
Vertex (2, 12): 74.0726,3.9737,38.2835
Vertex (2, 14): 78.0726,3.9737,28.3196
Vertex (2, 16): 82.0726,3.9737,19.0295
Vertex (2, 18): 86.0726,3.9737,13.3412
Vertex (2, 20): 90.0726,3.9737,10.7375
Vertex (2, 22): 94.0726,3.9737,3.3399
Vertex (3, 1): 52.0726,5.9737,5.5627
Vertex (3, 3): 56.0726,5.9737,16.6097
Vertex (3, 5): 60.0726,5.9737,31.5295
Vertex (3, 7): 64.0726,5.9737,47.0300
Vertex (3, 9): 68.0726,5.9737,54.6802
Vertex (3, 11): 72.0726,5.9737,55.3437
Vertex (3, 13): 76.0726,5.9737,46.8060
Vertex (3, 15): 80.0726,5.9737,34.2838
Vertex (3, 17): 84.0726,5.9737,25.2140
Vertex (3, 19): 88.0726,5.9737,17.3801
Vertex (3, 21): 92.0726,5.9737,13.8424
Vertex (4, 0): 50.0726,7.9737,0.0000
Vertex (4, 2): 54.0726,7.9737,13.6689
Vertex (4, 4): 58.0726,7.9737,30.9088
Vertex (4, 6): 62.0726,7.9737,52.3765
Vertex (4, 8): 66.0726,7.9737,65.1749

Vertex (0, 1): 52.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 3): 56.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 5): 60.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 7): 64.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 9): 68.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 11): 72.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 13): 76.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 15): 80.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 17): 84.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 19): 88.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (0, 21): 92.0726,-0.0263,0.0000
Vertex (1, 0): 50.0726,1.9737,0.0000
Vertex (1, 2): 54.0726,1.9737,4.4641
Vertex (1, 4): 58.0726,1.9737,8.1845
Vertex (1, 6): 62.0726,1.9737,21.5602
Vertex (1, 8): 66.0726,1.9737,26.5848
Vertex (1, 10): 70.0726,1.9737,28.7423
Vertex (1, 12): 74.0726,1.9737,26.4756
Vertex (1, 14): 78.0726,1.9737,17.4441
Vertex (1, 16): 82.0726,1.9737,9.4152
Vertex (1, 18): 86.0726,1.9737,6.5072
Vertex (1, 20): 90.0726,1.9737,6.0262
Vertex (1, 22): 94.0726,1.9737,0.7963
Vertex (2, 1): 52.0726,3.9737,3.7467
Vertex (2, 3): 56.0726,3.9737,12.3008
Vertex (2, 5): 60.0726,3.9737,24.0249
Vertex (2, 7): 64.0726,3.9737,35.4498
Vertex (2, 9): 68.0726,3.9737,40.6697
Vertex (2, 11): 72.0726,3.9737,41.5200
Vertex (2, 13): 76.0726,3.9737,33.8495
Vertex (2, 15): 80.0726,3.9737,23.4978
Vertex (2, 17): 84.0726,3.9737,15.9435
Vertex (2, 19): 88.0726,3.9737,12.4784
Vertex (2, 21): 92.0726,3.9737,7.2342
Vertex (3, 0): 50.0726,5.9737,0.0000
Vertex (3, 2): 54.0726,5.9737,11.1255
Vertex (3, 4): 58.0726,5.9737,21.7609
Vertex (3, 6): 62.0726,5.9737,39.2346
Vertex (3, 8): 66.0726,5.9737,52.4061
Vertex (3, 10): 70.0726,5.9737,55.6316
Vertex (3, 12): 74.0726,5.9737,53.0956
Vertex (3, 14): 78.0726,5.9737,38.6873
Vertex (3, 16): 82.0726,5.9737,29.9452
Vertex (3, 18): 86.0726,5.9737,19.7088
Vertex (3, 20): 90.0726,5.9737,15.5228
Vertex (3, 22): 94.0726,5.9737,7.6477
Vertex (4, 1): 52.0726,7.9737,6.8030
Vertex (4, 3): 56.0726,7.9737,19.5464
Vertex (4, 5): 60.0726,7.9737,39.4229
Vertex (4, 7): 64.0726,7.9737,61.0786
Vertex (4, 9): 68.0726,7.9737,67.8533

Vertex (4, 10): 70.0726,7.9737,69.3169
 Vertex (4, 12): 74.0726,7.9737,66.7777
 Vertex (4, 14): 78.0726,7.9737,59.4808
 Vertex (4, 16): 82.0726,7.9737,41.0330
 Vertex (4, 18): 86.0726,7.9737,36.6915
 Vertex (4, 20): 90.0726,7.9737,21.4487
 Vertex (4, 22): 94.0726,7.9737,14.0883
 Vertex (5, 1): 52.0726,9.9737,10.3392
 Vertex (5, 3): 56.0726,9.9737,25.6276
 Vertex (5, 5): 60.0726,9.9737,51.5222
 Vertex (5, 7): 64.0726,9.9737,72.6228
 Vertex (5, 9): 68.0726,9.9737,80.9936
 Vertex (5, 11): 72.0726,9.9737,81.1226
 Vertex (5, 13): 76.0726,9.9737,72.9041
 Vertex (5, 15): 80.0726,9.9737,60.8976
 Vertex (5, 17): 84.0726,9.9737,46.2395
 Vertex (5, 19): 88.0726,9.9737,38.5705
 Vertex (5, 21): 92.0726,9.9737,25.5104
 Vertex (6, 0): 50.0726,11.9737,0.0000
 Vertex (6, 2): 54.0726,11.9737,20.9305
 Vertex (6, 4): 58.0726,11.9737,45.9656
 Vertex (6, 6): 62.0726,11.9737,71.4404
 Vertex (6, 8): 66.0726,11.9737,92.1808
 Vertex (6, 10): 70.0726,11.9737,93.7192
 Vertex (6, 12): 74.0726,11.9737,82.7749
 Vertex (6, 14): 78.0726,11.9737,71.6109
 Vertex (6, 16): 82.0726,11.9737,59.9859
 Vertex (6, 18): 86.0726,11.9737,46.5874
 Vertex (6, 20): 90.0726,11.9737,34.2770
 Vertex (6, 22): 94.0726,11.9737,22.5504
 Vertex (7, 1): 52.0726,13.9737,14.0346
 Vertex (7, 3): 56.0726,13.9737,38.7823
 Vertex (7, 5): 60.0726,13.9737,66.7309
 Vertex (7, 7): 64.0726,13.9737,88.4333
 Vertex (7, 9): 68.0726,13.9737,99.9975
 Vertex (7, 11): 72.0726,13.9737,89.2921
 Vertex (7, 13): 76.0726,13.9737,80.0820
 Vertex (7, 15): 80.0726,13.9737,65.0820
 Vertex (7, 17): 84.0726,13.9737,53.3872
 Vertex (7, 19): 88.0726,13.9737,41.2440
 Vertex (7, 21): 92.0726,13.9737,27.4881
 Vertex (8, 0): 50.0726,15.9737,0.0000
 Vertex (8, 2): 54.0726,15.9737,30.6996
 Vertex (8, 4): 58.0726,15.9737,58.5038
 Vertex (8, 6): 62.0726,15.9737,80.0000
 Vertex (8, 8): 66.0726,15.9737,94.7524
 Vertex (8, 10): 70.0726,15.9737,90.9248
 Vertex (8, 12): 74.0726,15.9737,80.1249
 Vertex (8, 14): 78.0726,15.9737,68.8477
 Vertex (8, 16): 82.0726,15.9737,57.1567
 Vertex (8, 18): 86.0726,15.9737,42.7226
 Vertex (8, 20): 90.0726,15.9737,31.8975
 Vertex (8, 22): 94.0726,15.9737,20.6456
 Vertex (9, 1): 52.0726,17.9737,23.3140
 Vertex (9, 3): 56.0726,17.9737,46.8748
 Vertex (9, 5): 60.0726,17.9737,71.1579

Vertex (4, 11): 72.0726,7.9737,68.6055
 Vertex (4, 13): 76.0726,7.9737,63.2480
 Vertex (4, 15): 80.0726,7.9737,47.7363
 Vertex (4, 17): 84.0726,7.9737,39.3166
 Vertex (4, 19): 88.0726,7.9737,27.3946
 Vertex (4, 21): 92.0726,7.9737,19.0688
 Vertex (5, 0): 50.0726,9.9737,0.0000
 Vertex (5, 2): 54.0726,9.9737,17.4522
 Vertex (5, 4): 58.0726,9.9737,37.2543
 Vertex (5, 6): 62.0726,9.9737,63.2336
 Vertex (5, 8): 66.0726,9.9737,77.3134
 Vertex (5, 10): 70.0726,9.9737,82.3899
 Vertex (5, 12): 74.0726,9.9737,78.8653
 Vertex (5, 14): 78.0726,9.9737,68.1296
 Vertex (5, 16): 82.0726,9.9737,52.9649
 Vertex (5, 18): 86.0726,9.9737,41.5333
 Vertex (5, 20): 90.0726,9.9737,30.5301
 Vertex (5, 22): 94.0726,9.9737,19.5739
 Vertex (6, 1): 52.0726,11.9737,11.5168
 Vertex (6, 3): 56.0726,11.9737,32.7515
 Vertex (6, 5): 60.0726,11.9737,61.0570
 Vertex (6, 7): 64.0726,11.9737,82.0066
 Vertex (6, 9): 68.0726,11.9737,96.1400
 Vertex (6, 11): 72.0726,11.9737,88.1217
 Vertex (6, 13): 76.0726,11.9737,79.7027
 Vertex (6, 15): 80.0726,11.9737,64.8705
 Vertex (6, 17): 84.0726,11.9737,52.0851
 Vertex (6, 19): 88.0726,11.9737,40.7706
 Vertex (6, 21): 92.0726,11.9737,27.7954
 Vertex (7, 0): 50.0726,13.9737,0.0000
 Vertex (7, 2): 54.0726,13.9737,26.6504
 Vertex (7, 4): 58.0726,13.9737,52.8119
 Vertex (7, 6): 62.0726,13.9737,77.6550
 Vertex (7, 8): 66.0726,13.9737,99.6382
 Vertex (7, 10): 70.0726,13.9737,99.8965
 Vertex (7, 12): 74.0726,13.9737,82.9321
 Vertex (7, 14): 78.0726,13.9737,71.8069
 Vertex (7, 16): 82.0726,13.9737,60.2606
 Vertex (7, 18): 86.0726,13.9737,46.0247
 Vertex (7, 20): 90.0726,13.9737,34.6061
 Vertex (7, 22): 94.0726,13.9737,22.7357
 Vertex (8, 1): 52.0726,15.9737,18.7939
 Vertex (8, 3): 56.0726,15.9737,43.8787
 Vertex (8, 5): 60.0726,15.9737,69.9786
 Vertex (8, 7): 64.0726,15.9737,85.5669
 Vertex (8, 9): 68.0726,15.9737,96.5109
 Vertex (8, 11): 72.0726,15.9737,82.6652
 Vertex (8, 13): 76.0726,15.9737,74.0020
 Vertex (8, 15): 80.0726,15.9737,62.1628
 Vertex (8, 17): 84.0726,15.9737,49.2985
 Vertex (8, 19): 88.0726,15.9737,39.1870
 Vertex (8, 21): 92.0726,15.9737,25.7071
 Vertex (9, 0): 50.0726,17.9737,0.0000
 Vertex (9, 2): 54.0726,17.9737,34.9119
 Vertex (9, 4): 58.0726,17.9737,59.3305
 Vertex (9, 6): 62.0726,17.9737,80.0000

Vertex (9, 7): 64.0726,17.9737,81.0784
 Vertex (9, 9): 68.0726,17.9737,82.9566
 Vertex (9, 11): 72.0726,17.9737,71.7691
 Vertex (9, 13): 76.0726,17.9737,65.7435
 Vertex (9, 15): 80.0726,17.9737,57.3820
 Vertex (9, 17): 84.0726,17.9737,44.7341
 Vertex (9, 19): 88.0726,17.9737,34.9298
 Vertex (9, 21): 92.0726,17.9737,21.9737
 Vertex (10, 0): 50.0726,19.9737,0.0000
 Vertex (10, 2): 54.0726,19.9737,36.9016
 Vertex (10, 4): 58.0726,19.9737,58.3700
 Vertex (10, 6): 62.0726,19.9737,77.3349
 Vertex (10, 8): 66.0726,19.9737,80.3964
 Vertex (10, 10): 70.0726,19.9737,65.8728
 Vertex (10, 12): 74.0726,19.9737,58.0104
 Vertex (10, 14): 78.0726,19.9737,48.6610
 Vertex (10, 16): 82.0726,19.9737,42.1249
 Vertex (10, 18): 86.0726,19.9737,32.4748
 Vertex (10, 20): 90.0726,19.9737,22.2190
 Vertex (10, 22): 94.0726,19.9737,11.4605
 Vertex (11, 1): 52.0726,21.9737,26.4963
 Vertex (11, 3): 56.0726,21.9737,46.7339
 Vertex (11, 5): 60.0726,21.9737,62.3405
 Vertex (11, 7): 64.0726,21.9737,70.5390
 Vertex (11, 9): 68.0726,21.9737,62.0701
 Vertex (11, 11): 72.0726,21.9737,52.0741
 Vertex (11, 13): 76.0726,21.9737,39.9141
 Vertex (11, 15): 80.0726,21.9737,33.8951
 Vertex (11, 17): 84.0726,21.9737,28.5926
 Vertex (11, 19): 88.0726,21.9737,20.5698
 Vertex (11, 21): 92.0726,21.9737,12.3291
 Vertex (12, 0): 50.0726,23.9737,0.0000
 Vertex (12, 2): 54.0726,23.9737,36.2107
 Vertex (12, 4): 58.0726,23.9737,50.5322
 Vertex (12, 6): 62.0726,23.9737,59.3346
 Vertex (12, 8): 66.0726,23.9737,58.7117
 Vertex (12, 10): 70.0726,23.9737,49.7573
 Vertex (12, 12): 74.0726,23.9737,38.7287
 Vertex (12, 14): 78.0726,23.9737,27.6840
 Vertex (12, 16): 82.0726,23.9737,20.9864
 Vertex (12, 18): 86.0726,23.9737,18.4646
 Vertex (12, 20): 90.0726,23.9737,15.3255
 Vertex (12, 22): 94.0726,23.9737,6.5517
 Vertex (13, 1): 52.0726,25.9737,23.8445
 Vertex (13, 3): 56.0726,25.9737,39.2355
 Vertex (13, 5): 60.0726,25.9737,47.9369
 Vertex (13, 7): 64.0726,25.9737,50.8532
 Vertex (13, 9): 68.0726,25.9737,47.0990
 Vertex (13, 11): 72.0726,25.9737,38.3909
 Vertex (13, 13): 76.0726,25.9737,25.5028
 Vertex (13, 15): 80.0726,25.9737,17.6287
 Vertex (13, 17): 84.0726,25.9737,15.7125
 Vertex (13, 19): 88.0726,25.9737,12.3880
 Vertex (13, 21): 92.0726,25.9737,5.8751
 Vertex (14, 0): 50.0726,27.9737,0.0000
 Vertex (14, 2): 54.0726,27.9737,28.2675

Vertex (9, 8): 66.0726,17.9737,84.8527
 Vertex (9, 10): 70.0726,17.9737,76.8782
 Vertex (9, 12): 74.0726,17.9737,69.0470
 Vertex (9, 14): 78.0726,17.9737,62.3860
 Vertex (9, 16): 82.0726,17.9737,50.3712
 Vertex (9, 18): 86.0726,17.9737,40.0894
 Vertex (9, 20): 90.0726,17.9737,28.6606
 Vertex (9, 22): 94.0726,17.9737,17.5176
 Vertex (10, 1): 52.0726,19.9737,25.7482
 Vertex (10, 3): 56.0726,19.9737,47.7068
 Vertex (10, 5): 60.0726,19.9737,68.1562
 Vertex (10, 7): 64.0726,19.9737,79.9845
 Vertex (10, 9): 68.0726,19.9737,72.6899
 Vertex (10, 11): 72.0726,19.9737,60.8564
 Vertex (10, 13): 76.0726,19.9737,53.8455
 Vertex (10, 15): 80.0726,19.9737,44.9425
 Vertex (10, 17): 84.0726,19.9737,38.1627
 Vertex (10, 19): 88.0726,19.9737,27.9810
 Vertex (10, 21): 92.0726,19.9737,18.0061
 Vertex (11, 0): 50.0726,21.9737,0.0000
 Vertex (11, 2): 54.0726,21.9737,37.3695
 Vertex (11, 4): 58.0726,21.9737,56.2191
 Vertex (11, 6): 62.0726,21.9737,68.4426
 Vertex (11, 8): 66.0726,21.9737,67.8000
 Vertex (11, 10): 70.0726,21.9737,56.7130
 Vertex (11, 12): 74.0726,21.9737,46.0920
 Vertex (11, 14): 78.0726,21.9737,36.8222
 Vertex (11, 16): 82.0726,21.9737,31.6258
 Vertex (11, 18): 86.0726,21.9737,25.1684
 Vertex (11, 20): 90.0726,21.9737,18.1614
 Vertex (11, 22): 94.0726,21.9737,7.5846
 Vertex (12, 1): 52.0726,23.9737,26.0415
 Vertex (12, 3): 56.0726,23.9737,42.8693
 Vertex (12, 5): 60.0726,23.9737,55.7719
 Vertex (12, 7): 64.0726,23.9737,59.9841
 Vertex (12, 9): 68.0726,23.9737,54.0706
 Vertex (12, 11): 72.0726,23.9737,44.3296
 Vertex (12, 13): 76.0726,23.9737,31.8282
 Vertex (12, 15): 80.0726,23.9737,23.5611
 Vertex (12, 17): 84.0726,23.9737,19.5741
 Vertex (12, 19): 88.0726,23.9737,17.4406
 Vertex (12, 21): 92.0726,23.9737,11.7138
 Vertex (13, 0): 50.0726,25.9737,0.0000
 Vertex (13, 2): 54.0726,25.9737,31.9962
 Vertex (13, 4): 58.0726,25.9737,43.7503
 Vertex (13, 6): 62.0726,25.9737,48.9436
 Vertex (13, 8): 66.0726,25.9737,48.5872
 Vertex (13, 10): 70.0726,25.9737,42.5908
 Vertex (13, 12): 74.0726,25.9737,31.0871
 Vertex (13, 14): 78.0726,25.9737,19.7633
 Vertex (13, 16): 82.0726,25.9737,15.9920
 Vertex (13, 18): 86.0726,25.9737,14.4782
 Vertex (13, 20): 90.0726,25.9737,8.7568
 Vertex (13, 22): 94.0726,25.9737,4.2189
 Vertex (14, 1): 52.0726,27.9737,21.8471
 Vertex (14, 3): 56.0726,27.9737,32.9710

Vertex (14, 4): 58.0726,27.9737,38.1510
 Vertex (14, 6): 62.0726,27.9737,40.6931
 Vertex (14, 8): 66.0726,27.9737,41.3550
 Vertex (14, 10): 70.0726,27.9737,36.5489
 Vertex (14, 12): 74.0726,27.9737,25.0159
 Vertex (14, 14): 78.0726,27.9737,15.0706
 Vertex (14, 16): 82.0726,27.9737,11.9534
 Vertex (14, 18): 86.0726,27.9737,10.8633
 Vertex (14, 20): 90.0726,27.9737,7.4547
 Vertex (14, 22): 94.0726,27.9737,2.7086
 Vertex (15, 1): 52.0726,29.9737,16.7349
 Vertex (15, 3): 56.0726,29.9737,27.2295
 Vertex (15, 5): 60.0726,29.9737,32.2073
 Vertex (15, 7): 64.0726,29.9737,33.7502
 Vertex (15, 9): 68.0726,29.9737,29.4822
 Vertex (15, 11): 72.0726,29.9737,22.8667
 Vertex (15, 13): 76.0726,29.9737,14.6512
 Vertex (15, 15): 80.0726,29.9737,8.4848
 Vertex (15, 17): 84.0726,29.9737,7.1773
 Vertex (15, 19): 88.0726,29.9737,5.0631
 Vertex (15, 21): 92.0726,29.9737,2.5856
 Vertex (16, 0): 50.0726,31.9737,0.0000
 Vertex (16, 2): 54.0726,31.9737,14.5209
 Vertex (16, 4): 58.0726,31.9737,23.2923
 Vertex (16, 6): 62.0726,31.9737,25.8284
 Vertex (16, 8): 66.0726,31.9737,23.9126
 Vertex (16, 10): 70.0726,31.9737,17.3536
 Vertex (16, 12): 74.0726,31.9737,9.0819
 Vertex (16, 14): 78.0726,31.9737,6.0559
 Vertex (16, 16): 82.0726,31.9737,4.5933
 Vertex (16, 18): 86.0726,31.9737,4.1384
 Vertex (16, 20): 90.0726,31.9737,2.2423
 Vertex (16, 22): 94.0726,31.9737,0.6984

Vertex (14, 5): 60.0726,27.9737,39.3757
 Vertex (14, 7): 64.0726,27.9737,41.7222
 Vertex (14, 9): 68.0726,27.9737,39.6505
 Vertex (14, 11): 72.0726,27.9737,29.9030
 Vertex (14, 13): 76.0726,27.9737,19.4231
 Vertex (14, 15): 80.0726,27.9737,13.2886
 Vertex (14, 17): 84.0726,27.9737,11.9570
 Vertex (14, 19): 88.0726,27.9737,9.6004
 Vertex (14, 21): 92.0726,27.9737,4.2730
 Vertex (15, 0): 50.0726,29.9737,0.0000
 Vertex (15, 2): 54.0726,29.9737,22.6866
 Vertex (15, 4): 58.0726,29.9737,29.8289
 Vertex (15, 6): 62.0726,29.9737,33.2548
 Vertex (15, 8): 66.0726,29.9737,33.1071
 Vertex (15, 10): 70.0726,29.9737,26.8500
 Vertex (15, 12): 74.0726,29.9737,18.5288
 Vertex (15, 14): 78.0726,29.9737,10.0910
 Vertex (15, 16): 82.0726,29.9737,8.0757
 Vertex (15, 18): 86.0726,29.9737,7.2380
 Vertex (15, 20): 90.0726,29.9737,3.4826
 Vertex (15, 22): 94.0726,29.9737,1.5617
 Vertex (16, 1): 52.0726,31.9737,7.5420
 Vertex (16, 3): 56.0726,31.9737,21.4255
 Vertex (16, 5): 60.0726,31.9737,25.0189
 Vertex (16, 7): 64.0726,31.9737,26.0476
 Vertex (16, 9): 68.0726,31.9737,21.7529
 Vertex (16, 11): 72.0726,31.9737,12.1770
 Vertex (16, 13): 76.0726,31.9737,6.9632
 Vertex (16, 15): 80.0726,31.9737,5.4366
 Vertex (16, 17): 84.0726,31.9737,4.4729
 Vertex (16, 19): 88.0726,31.9737,3.7816
 Vertex (16, 21): 92.0726,31.9737,1.3271

ANEXO 3

LISTAGEM DAS REDES NEURAIS UTILIZADAS



REDE TRANSVER - PERFIS TRANSVERSAIS DAS UNIDADES

```
%  
%  
% TRANSVER - BACPROPAGATION - PERFIS TRANSVERSAIS DAS UNIDADES
```

```
help bckprop8  
clf reset  
pausetime = 0.1;
```

```
% DEFINIÇÃO DO PROBLEMA
```

```
%=====
```

```
% Os incrementos em X são constantes com passo de 200m.  
X = [0 0.4 0.8 1.2 1.6 2.0 2.4 2.8 3.2];
```

```
% Definição do vetor de entrada da unidade padrão.  
UNIDP = [0 0.4 0.8 1.2 1.3 1.2 0.8 0.4 0];
```

```
% Definição do vetor de entrada da unidade teste.  
UNIDT = [0 0.5 0.75 1.17 1.28 1.13 0.81 0.35 0];
```

```
%=====
```

```
% PLOTA DADOS DE ENTRADA (PADRÃO E TESTE)
```

```
%=====
```

```
plot(X,UNIDP,'+');  
plot(X,UNIDT,'*');  
pause
```

```
%=====
```

```
% INICIALIZANDO A REDE
```

```
%=====
```

```
% Dimensionamento dos Vetores Peso.  
[R,Q] = size(UNIDP); S1 = 5; [S2,Q] = size(UNIDT);
```

```
% Valores Iniciais de Pesos e Funções de Ativação.  
W10 = [2.5000 2.5000 2.5000 2.5000 2.5000];
```

```
B10 = [-3.3562 1.0774 -1.5880 1.4083 2.8722];
```

```
W20 = [-0.9622 -0.1375 0.2361 -0.1718 -0.9622 -0.1375 0.4525 0.2361 -0.1718];
```

```
B20 = [0.1326 0.1326 0.1326 0.1326 0.1326 0.1326 0.1326 0.1326 0.1326];
```

```
%=====
```


% PLOTA APROXIMAÇÃO OBTIDA

%=====

```
plot(X,UNIDP,'+');
plot(X,purelin(W20*tansig(UNIDT*W10.'+B10)+B20),'*');
pause
pause2(pausetime);
hold on
h = get(gca,'Children');
h = h(1);
```

%=====

% ETAPA DE TREINAMENTO

%=====

% PARAMETROS DE TREINAMENTO

```
disp_freq = 10;
max_epoch = 5000;
err_goal = 0.02;
lr = 0.01;
lr_inc = 1.05;
lr_dec = 0.7;
err_ratio = 1.04;
```

% OBSERVAÇÃO: o processo de treinamento está baseado nos parâmetros a seguir:

```
%
% TP = [disp_freq max_epoch err_goal lr lr_inc lr_dec err_ratio];
% [W1,B1,W2,B2,epoch,TR] = trainbp(W10,B10,'tansig', ...
%   W20,B20,'purelin',P,T,TP);
```

% PARAMETROS DA REDE

```
W1 = W10;
B1 = B10;
W2 = W20; B2 = B20;
flops(0);
```

% o termo acima (flops) representa o número de passagens pela rede...

% a este termo deu-se o nome iteração;

% FASE DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO TREINAMENTO

```
A1 = tansig(UNIDT*W1.'+B1);
A2 = purelin(W2*A1+B2);
E = UNIDP-A2;
SSE = sumsqr(E);
```

% REGISTROS DO TREINAMENTO

```
TR = [SSE; lr];  
for epoch=1:max_epoch
```

% FASE DE CHECAGEM DO ERRO

```
if SSE < err_goal, epoch=epoch-1; break, end
```

% FASE DE APRENDIZAGEM

```
D2 = deltalín(A2,E);  
D1 = deltatan(A1,D2,W2);  
[dW1,dB1] = learnbp(P,D1,lr);  
[dW2,dB2] = learnbp(A1,D2,lr);  
TW1 = W1 + dW1; TB1 = B1 + dB1;  
TW2 = W2 + dW2; TB2 = B2 + dB2;
```

% FASE DE APRESENTAÇÃO

```
TA1 = tansig(TW1*P,TB1);  
TA2 = purelin(TW2*TA1,TB2);  
TE = T-TA2;  
TSSE = sumsqr(TE);
```

% FASE DE EVOLUÇÃO DO TREINAMENTO

```
if TSSE > SSE*err_ratio  
    lr = lr * lr_dec;  
else  
    if TSSE < SSE  
        lr = lr * lr_inc;  
    end  
    W1=TW1; B1=TB1; W2=TW2; B2=TB2;  
    A1=TA1; A2=TA2; E=TE; SSE=TSSE;  
end
```

% REGISTRO DA EVOLUÇÃO TREINAMENTO

```
TR = [TR [SSE; lr]];
```

% APRESENTAÇÃO DO PROGRESSO DO TREINAMENTO

```
temp = flops;  
if (rem(epoch,disp_freq) == 0)  
    if ~(strcmp(computer,'PC') | strcmp(computer,'386'))  
        fprintf('epoch=%0.0f SSE=%0.0g\n\n',epoch,SSE)  
    end  
    delete(h)  
    h=plot(P2,purelin(W2*tansig(W1*P2,B1),B2),'m');  
    pause2(pausetime);  
end  
flops(temp);  
end  
totalflops = flops;
```



```
%=====
```

```
% PLOTA APROXIMAÇÃO FINAL
```

```
%=====
```

```
delete(h)
h=plot(P2,purelin(W2*tansig(W1*P2,B1),B2),'m');
pause
hold off
```

```
%=====
```

```
% PLOTA TAXAS DE APRENDIZADO
```

```
%=====
```

```
plotlr(TR(2,:));
pause
```

```
% PLOTA CURVA DE ERROS
```

```
%=====
```

```
ploterr(TR(1,:));
pause
```

```
% PLOTA OS ERROS ASSOCIADOS A CADA SAÍDA
```

```
%=====
```

```
barerr(A2,T);
pause
```

```
% RESULTADOS FINAIS
```

```
%=====
```

```
SSE = sumsq(T-purelin(W2*tansig(W1*P,B1),B2));
fprintf('\nVALORES FINAIS DA REDE:\n')
W1
B1
W2
B2
fprintf('Treinamento com %.iterações.\n',epoch)
fprintf('Treinamento com %.ciclos "flops" .\n',flops);
fprintf('Erro final %g.\n',err_goal);
fprintf('SSE Final %g.\n',SSE);
fprintf('Resultado: ');
if SSE < err_goal
    disp('Reconhecimento Adequado.')
else
    disp('Reconhecimento Inadequado.')
end
```

REDE 3DTERRAIN – MODELOS DIGITAIS DAS UNIDADES

```
%  
%  
% REDE3D - BACPROPAGATION - MODELO DIGITAL - UNIDADES DO TERRENO  
  
help bckprop8  
clf reset  
pausetime = 0.01;  
  
% DEFINIÇÃO DO PROBLEMA  
%=====
```

% Define a malha de entrada.

```
load d:\otoniell\arq.mat\x  
load d:\otoniell\arq.mat\y  
  
% Define as cotas em Z  
  
load d:\otoniell\arq.mat\motpag2  
  
%=====
```

% PLOTA A UNIDADE PADRÃO

```
%=====
```

```
load d:\otoniell\arq.mat\x  
load d:\otoniell\arq.mat\y  
plot3(x,y,motpag2,'b')  
hold on  
pause  
  
%=====
```

% PLOTA A UNIDADE TESTE

```
load d:\otoniell\arq.mat\motpag3  
load d:\otoniell\arq.mat\x  
load d:\otoniell\arq.mat\y  
plot3(x,y,motpag3,'r')  
pause  
hold on
```



```
% NORMALIZAÇÃO DOS VETORES - "OPÇÃO 0"
```

```
motpag3=motpag3(find(motpag3~=0));  
load d:\otoniel\arq.mat\motpag2  
motpag2=motpag2(find(motpag2~=0));  
load d:\otoniel\arq.mat\x  
load d:\otoniel\arq.mat\y  
while length(motpag2)~=length(motpag3)  
    if length(motpag2)>length(motpag3)  
        motpag2(:,length(motpag2))=[];  
    else  
        if length(motpag3)>length(motpag2)  
            motpag3(:,length(motpag3))=[];  
        end  
    end  
end  
while length(motpag2)<length(x)  
    x(:,length(x))=[];  
end  
while length(motpag2)<length(y)  
    y(:,length(y))=[];  
end  
motpag3=abs(motpag3-motpag2);  
motpag2=motpag3*0;
```

```
% =====
```

```
% INICIALIZANDO A REDE3D
```

```
%=====
```

```
% Entrada de dimensão dos vetores R e Q, e dimensões S1 & S2 das camadas.
```

```
[R,Q] = size(motpag2); S1 = 5; [S2,Q] = size(motpag3);
```

```
% Pesos e entradas iniciais.
```

```
W10 = [1.5000; 1.5000; 1.5000; 1.5000; 1.5000];  
B10 = [-3.4562; 3.0774; -3.7000; 3.3283; 3.8722];  
W20 = [-0.1522 0.1175 0.8425 0.5061 -0.3818];  
B20 = [-0.2226];
```

```
%=====
```

```
% PLOTA A PRIMEIRA APROXIMAÇÃO OBTIDA
```

```
%=====
```

```
load d:\otoniell\arq.mat\x
load d:\otoniell\arq.mat\y
plot3(x,y,motpag2,'b')
hold on
plot3(x,y,purelin(W20*purelin(W10*motpag3,B10),B20),'r');
pause2(pausetime);
hold on
h = get(gca,'Children');
h = h(1);
```

```
%=====
```

```
% TREINAMENTO DA REDE
```

```
%=====
```

```
% PARÂMETROS DE TREINAMENTO
```

```
disp_freq = 50;
max_epoch = 6000;
err_goal = 0.01;
lr = 0.01;
lr_inc = 1.04;
lr_dec = 0.7;
```

```
% NOTA: o treinamento é definido por:
```

```
%
```

```
% TP = [disp_freq max_epoch err_goal lr lr_inc lr_dec err_ratio];
```

```
% [W1,B1,W2,B2,epoch,TR] = trainbp(W10,B10,'logsig', ...
```

```
%      W20,B20,'purelin',P,T,TP);
```

```
% PARAMETROS DA REDE
```

```
W1 = W10;
B1 = B10;
W2 = W20;
B2 = B20;
flops(0);
```



```

% FASE DE APRESENTAÇÃO

A1 = purelin(W1*motpag3,B1);
A2 = purelin(W2*A1,B2);
E = motpag2-A2;
SSE = sumsqr(E);

% REGISTRO DO TREINAMENTO

TR = [SSE; lr];
for epoch=1:max_epoch

    % FASE DE CHECAGEM

    if SSE < err_goal, epoch=epoch-1; break, end

    % FASE DE APRENDIZADO

    D2 = deltalín(A2,E);
    D1 = deltalín(A1,D2,W2);
    [dW1,dB1] = learnbp(motpag3,D1,lr);
    [dW2,dB2] = learnbp(A1,D2,lr);
    TW1 = W1 + dW1; TB1 = B1 + dB1;
    TW2 = W2 + dW2; TB2 = B2 + dB2;

    % FASE DE APRESENTAÇÃO

    TA1 = purelin(TW1*motpag3,TB1);
    TA2 = purelin(TW2*TA1,TB2);
    TE = motpag2-TA2;
    TSSE = sumsqr(TE);

    % FASE DE APRENDIZADO ADAPTIVO

    if TSSE > SSE
        lr = lr * lr_dec;
    else
        if TSSE < SSE
            lr = lr * lr_inc;
        end
        W1=TW1; B1=TB1; W2=TW2; B2=TB2;
        A1=TA1; A2=TA2; E=TE; SSE=TSSE;
    end

    % REGISTRO DO TREINAMENTO

    TR = [TR [SSE; lr]];

```

```

% APRESENTAÇÃO DO PROGRESSO DO TREINAMENTO

temp = flops;
if (rem(epoch,disp_freq) == 0)
    if ~(strcmp(computer,'PC') | strcmp(computer,'386'))
        fprintf('epoch=%.0f  SSE=%g\n\n',epoch,SSE)
    end
    delete(h)
    h=plot(motpag2,purelin(W2*purelin(W1*motpag3,B1),B2),'m');
    pause2(pausetime);
    end
    flops(temp);
end
totalflops = flops;

%=====

% PLOTAGEM DA APROXIMAÇÃO FINAL

%=====

delete(h)
h=plot(motpag2,purelin(W2*purelin(W1*motpag3,B1),B2),'m');
pause
hold off

%=====

% PLOTAGEM DOS PARÂMETROS DE APRENDIZADO

%=====

plotlr(TR(2,:));
pause

% PLOTAGEM DA CURVA DOS ERROS

%=====

ploterr(TR(1,:));
pause

```



```
% PLOTAGEM DE ERROS X VETORES DE SAÍDA
```

```
%=====
```

```
barerr(A2,motpag2);  
pause
```

```
% RESULTADOS
```

```
%=====
```

```
SSE = sumsq(motpag2-purelin(W2*purelin(W1*motpag3,B1),B2));  
fprintf('\nFINAL NETWORK VALUES:\n')  
W1  
B1  
W2  
B2  
fprintf('Trained for %.0f epochs.\n',epoch)  
fprintf('Training took %.0f flops.\n',flops);  
fprintf('Average of %.0f flops/epoch.\n',round(totalflops/epoch));  
fprintf('Average of %.0f flops/cycle.\n',round(totalflops/epoch/Q));  
fprintf('Sum squared error goal was %g.\n',err_goal);  
fprintf('Final sum squared error is %g.\n',SSE);  
fprintf('Trained network operates: ');  
if SSE < err_goal  
    disp('Adequado.')  
else  
    disp('Inadequado.')  
end
```