

APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NO RECONHECIMENTO DE PERFIS DE SOLOS.

NEURAL ARTIFICIAL NETWORKS APPLICATION IN SOIL PROFILE IDENTIFICATION.

Lollo, José Augusto de *Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira / Universidade Estadual Paulista*
Av. Brasil Centro, 56, Ilha Solteira - SP, Brasil. Email : lolloja@polo.feis.unesp.br
Zuquette, Lázaro Valentin *Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo*
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, São Carlos - SP, Brasil. Email : lazarus@sc.usp.br

RESUMO

A identificação dos perfis de alteração de solos é uma informação fundamental em investigações geotécnicas visando a ocupação dos terrenos. O uso da técnica de avaliação do terreno se constitui numa ferramenta bastante útil para este reconhecimento. Porém, o processo de interpretação de fotografias aéreas pode se tornar bastante lento quando se trata de avaliar grandes parcelas do terreno. Com o objetivo de agilizar o processo sugere-se, no presente trabalho, o uso de redes neurais artificiais como mecanismo de identificação das feições de relevo. Desta forma o reconhecimento preliminar de perfis de alteração de solos pode se tornar um processo mais rápido e que envolva menores custos.

ABSTRACT

Soil profile identification is a basic information in geotechnical investigations for land occupation. Terrain evaluation technique application may be very useful in this case. However, the use of photographic interpretation procedures can be a slow method when large areas were considered. To allow quickness in this analysis we suggest, in this paper, the use of neural artificial networks for landform identification. This application could turn into preliminary soil profile identification more rapid and less expensive.

1 INTRODUÇÃO

Quando se avalia uma determinada parcela do terreno com vistas à caracterização dos materiais presentes e dos condicionantes que estes materiais apresentam do ponto de vista da engenharia civil é fundamental que este levantamento seja ágil e de baixo custo.

Dentre as informações consideradas fundamentais, as características do perfil de alteração dos solos representam um dado extremamente valioso, cuja caracterização a partir de trabalhos de campo e laboratório pode se tornar uma tarefa demorada e cara. Nestes casos a utilização de fotografias aéreas para o reconhecimento de feições de relevo pode ser uma solução adequada, por possibilitar um zoneamento da área em termos da homogeneidade de suas feições de relevo e sua associação com os solos presentes.

Este método de zoneamento do terreno, denominado avaliação do terreno (*terrain evaluation*) se baseia na possibilidade de reconhecimento de *landforms* e de suas associações espaciais, e seu posterior zoneamento, considerando a premissa de que estes *landforms* devam representar unidades de materiais.

Porém, apesar de sua utilização trazer o benefício de acelerar o processo de reconhecimento do meio físico, representa ainda um certo tempo despendido na etapa de fotointerpretação, o qual poderia ser diminuído pela adoção de técnicas digitais de reconhecimento de feições do relevo.

Como a técnica de avaliação do terreno baseia-se, em princípio, no reconhecimento de padrões, esta agilização da aplicação poderia se tornar uma realidade desde que se encontrasse uma técnica de tratamento da informação que se adaptasse à estas condições. Tais requisitos podem ser atendidos caso se utilize redes neurais artificiais como método de análise, uma vez que esta técnica foi desenvolvida para identificação de padrões, se adaptando perfeitamente às condições consideradas.

O presente trabalho tem por objetivo discutir as potencialidades de uso de redes neurais artificiais na avaliação do terreno como mecanismo de agilizar o reconhecimento preliminar de perfis de alteração de solos através da identificação de feições do relevo, tentando uma redução dos custos envolvidos no processo.

2 AVALIAÇÃO DO TERRENO X PERFIS DE ALTERAÇÃO DE SOLOS

A primeira discussão do uso dos elementos do relevo para o zoneamento regional se deve a Bourne (1931), porém a interligação dos elementos da paisagem com solos e rochas se deve a Belcher (1943), Belcher (1946), e Hittle (1949). Esta técnica se baseia na possibilidade de se dividir uma área em unidades cada vez menores a partir de fotos aéreas, tendo-se como base a uniformidade das feições do relevo. Com o passar do tempo, a técnica passou a ser usada como critério de zoneamento do meio físico, como se verifica em Connors (1980), Viberg & Adestam (1980), Jha (1982), Nanda & Akinyede (1986), Kate & Pathak (1987), Nagarajan & Shah (1987), Rockaway & Smith (1994), e Yu & Jacobsson (1994).

De acordo com as dimensões que o *landform* analisado apresenta e com o enfoque que se pretende dar à análise, são usados três níveis hierárquicos : sistema de terreno (*land system*); unidade de terreno (*land unit*); e elemento de terreno (*land element*).

Maior dentre os níveis hierárquicos de *landform*, o sistema de terreno corresponde à uma associação de formas de relevo e é delimitado por trabalhos de aerofotointerpretação (sistemática de reconhecimento e identificação de características dos terrenos), visando um reconhecimento das grandes expressões geomorfológicas observadas.

A unidade de terreno corresponde a uma forma individual que compõe um sistema, sendo reconhecida em trabalhos de aerofotoanálise (reconhecimento e delimitação de feições em padrões ou unidades).

O elemento de terreno corresponde à uma parcela da unidade de terreno, e sua delimitação é feita a partir da técnica de aerofotodetecção (associação das informações coletadas com o conhecimento do intérprete sobre o terreno e os materiais nele presentes).

A etapa de trabalhos de campo objetiva a verificação dos resultados obtidos nas fotos aéreas, de forma a proporcionar maior precisão ao zoneamento estabelecido e possibilitar as atividades de generalização. Ela consiste do levantamento de seções-tipo dos *landforms* identificados, nas quais se busca uma caracterização dos materiais existentes bem como de sua variabilidade vertical e lateral, permitindo uma identificação de condições de materiais que sejam típicas dos *landforms* identificados.

A caracterização geotécnica dos *landforms* se dá através do uso de informações anteriores e de ensaios de campo e laboratório, com uma amostragem orientada à áreas-chave selecionadas previamente ou à locais onde tenham sido levantadas as seções-tipo das unidades.

Esta relação entre áreas-chave, seções-tipo e amostragem proporciona as bases para as interpolações ou extrapolações que são posteriormente efetuadas, conferindo-lhes confiabilidade, já que associa um determinado volume de materiais representado por um *landform* específico, com um conjunto de características físicas destes mesmos materiais, que devem se repetir da mesma forma sempre que este *landform* torne a ocorrer na área estudada.

Com o objetivo de testar a eficácia desta técnica para o reconhecimento regional de unidades de materiais inconsolidados com base em seus perfis de alteração, a técnica foi aplicada em uma área de teste e os resultados obtidos foram então confrontados com resultados de mapeamentos geotécnicos anteriormente efetuados na área. Os critérios de reconhecimento dos *landforms* identificados na área estudada, bem como a descrição completa destes *landforms* e sua caracterização geotécnica podem ser encontrados em Lollo (1996).

A área estudada foi a Quadricula de Campinas (IBGE, 1980) que abrange a porção Centro-Leste do Estado de São Paulo e do Sudoeste do Estado de Minas Gerais, situando-se entre os meridianos 46°30' e 48°00'W e os paralelos 22°00' e 23°00'S, abrangendo uma área de cerca de 17.000 km², cuja localização pode ser observada na Figura 1.

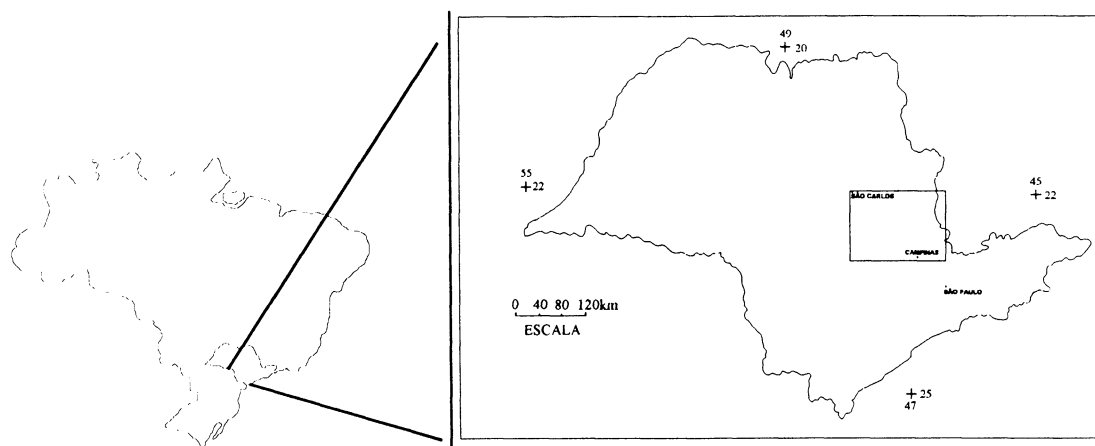
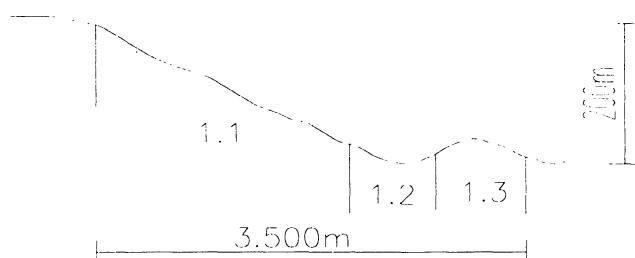


FIGURA 1 - Localização da área estudada.

A aplicação da avaliação do terreno na área citada permitiu o reconhecimento de sete sistemas e de vinte e seis unidades de terreno, apresentadas nas Figuras 2 a 8. O zoneamento foi efetuado até o nível de unidade de terreno uma vez que se buscava a relação entre este nível hierárquico e o perfil de alteração de materiais inconsolidados.



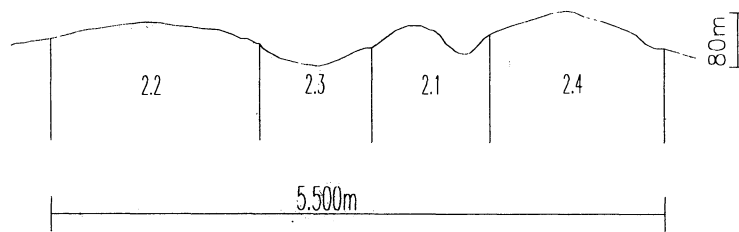
Sistema 1 - associação de escarpas e colinas com vales pequenos fechados.

Unidade 1.1 - escarpas, solos residuais rasos (<2m) homogêneos.

Unidade 1.2 - vales, depósitos aluviais, perfis pouco espessos (<5m) homogêneos.

Unidade 1.3 - colinas pequenas onduladas, perfis homogêneos espessos (entre 10 e 20m).

FIGURA 2 - Sistema de terreno n° 1 e unidades que o compõem.



Sistema 2 - colinas suave onduladas, vales pequenos abertos.

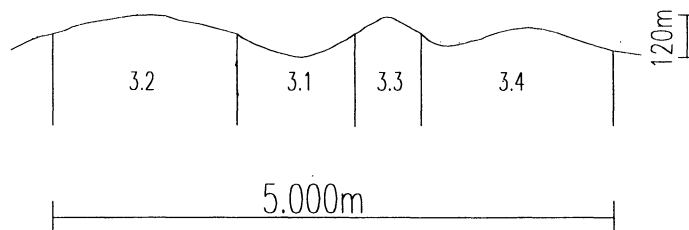
Unidade 2.1 - colinas pequenas onduladas, perfis homogêneos pouco espessos (< 5m).

Unidade 2.2 - colinas amplas aplainadas, perfis homogêneos muito espessos (até >20m).

Unidade 2.3 - vales, depósitos aluviais homogêneos rasos (raramente >2m).

Unidade 2.4 - colina médias suave onduladas, perfis homogêneos de espessura média (5 a 10m).

FIGURA 3 - Sistema de terreno n° 2 e unidades que o compõem.



Sistema 3 - colinas onduladas, vales pequenos e fechados.

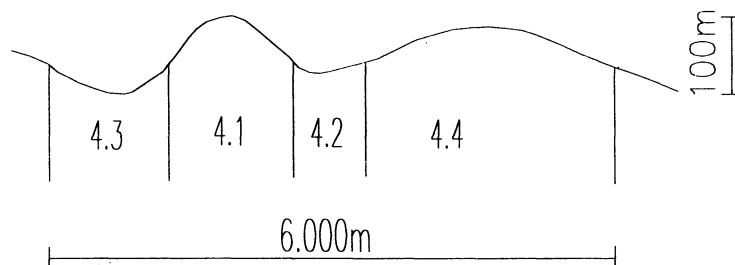
Unidade 3.1 - vales, processos erosivos, perfis homogêneos pouco espessos (<5m).

Unidade 3.2 - colinas médias suave onduladas, perfis homogêneos, espessura média (5 a 10m).

Unidade 3.3 - colinas pequenas onduladas, perfis homogêneos pouco espessos (<5m).

Unidade 3.4 - colinas médias aplainadas, perfis homogêneos espessos (> 10m).

FIGURA 4 - Sistema de terreno n° 3 e unidades que o compõem.



Sistema 4 - colinas onduladas, encostas dissecadas, vales pequenos.

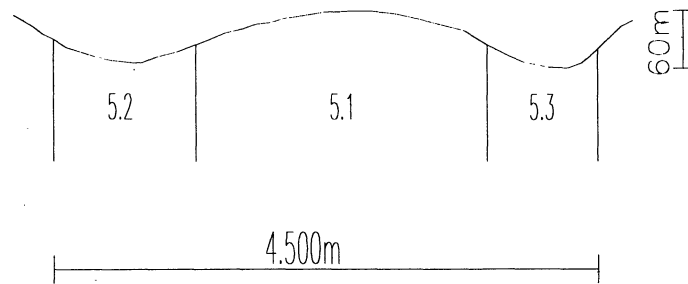
Unidade 4.1 - colinas pequenas onduladas, perfis homogêneos rasos (<2m).

Unidade 4.2 - vales pequenos, processos erosivos, perfis homogêneos pouco espessos (<5m).

Unidade 4.3 - vales amplos, depósitos aluviais homogêneos espessos (>10m).

Unidade 4.4 - colinas médias suave onduladas, perfis homogêneos espessos (>10m).

FIGURA 5 - Sistema de terreno n° 4 e unidades que o compõem.



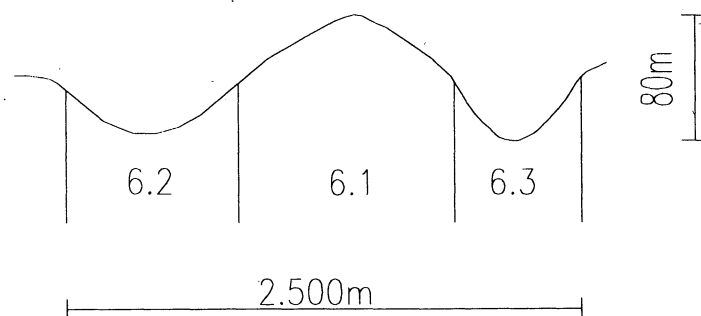
Sistema 5 - colinas aplainadas, vales variados.

Unidade 5.1 - colinas amplas aplainadas, perfis homogêneos e espessos (até >20m).

Unidade 5.2 - vales médios, processos erosivos, perfis homogêneos rasos (raramente >2m).

Unidade 5.3 - vales pequenos, depósitos aluviais pouco espessos (raramente > 5m).

FIGURA 6 - Sistema de terreno nº 5 e unidades que o compõem.



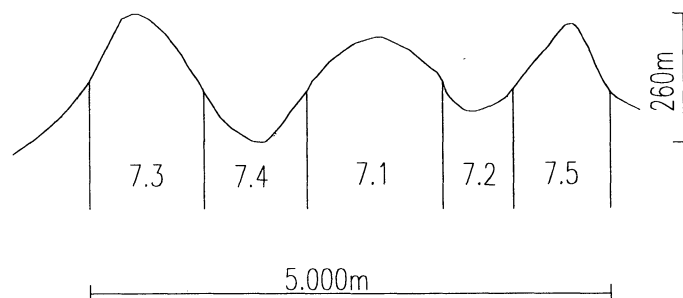
Sistema 6 - morrotes pequenos, vales variados.

Unidade 6.1 - morrotes médios, solos espessos (>10m), intervalos laterítico / saprolítico / saprolito.

Unidade 6.2 - vales médios, erosão, solos pouco espessos (<5m), laterítico / saprolítico / saprolito.

Unidade 6.3 - vales pequenos, espessura média (5 a 10m), aluvião / saprolítico / saprolito.

FIGURA 7 - Sistema de terreno nº 6 e unidades que o compõem.



Sistema 7 - morros e morrotes, vales variados.

Unidade 7.1 - morrotes médios, solos muito espessos (>20m), laterítico / saprolítico / saprolito.

Unidade 7.2 - vales pequenos, erosão, solos pouco espessos (<5m), laterítico / saprolítico / saprolito.

Unidade 7.3 - morros de topos angulosos, perfis espessos (10 a 20m), saprolítico / saprolito.

Unidade 7.4 - vales amplos, solos pouco espessos (<5m), aluvião / saprolítico / saprolito.

Unidade 7.5 - morrotes pequenos de topo anguloso, perfil pouco espesso (<5m), saprolito.

FIGURA 8 - Sistema de terreno nº 7 e unidades que o compõem.

A análise dos resultados obtidos com a aplicação da avaliação do terreno se deu através do confronto dos resultados obtidos com aqueles observados em trabalhos de mapeamento geotécnico efetuados na área. Desta forma todas as unidades de terreno reconhecidas foram confrontados com as unidades geotécnicas correspondentes apresentadas nos trabalhos anteriores.

Obteve-se uma boa correspondência entre *landforms* identificados e materiais associados, principalmente no que diz respeito aos perfis de alteração destes materiais, como se pode perceber nas figuras apresentadas, este conjunto de interpretações pode ser sintetizada nas observações a seguir.

(1) unidades de terreno com formas mais suavizadas representam processos de pedogênese mais intensos, apresentando perfis de solos mais evoluídos e profundos;

(2) solos de textura mais fina estão associados à unidades com formas mais alongadas, devido à menor intensidade dos processos erosivos;

(3) quando num determinado sistema ocorre mais de uma unidade com formas suaves, apresentará solos com perfis mais evoluídos e mais profundos aquela unidade que apresentar formas mais aplainadas;

(4) unidades com encostas mais dissecadas indicam condições de predominância de processos erosivos apresentando perfis de alteração menos profundos; e

(5) unidades que apresentam encostas íngremes mostram perfis pouco profundos, devido à intensidade dos processos erosivos.

3 REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

As redes neurais artificiais foram biologicamente inspiradas com o objetivo de imitar as tarefas executadas pelo cérebro humano, funcionando de maneira análoga ao neurônio biológico.

Desta forma elas são capazes de exibir uma série de características típicas do cérebro humano, tais como aprender por experiência, extrapolar informações de um exemplo para situações análogas, e selecionar informações relevantes dentro de um conjunto de dados (Wasserman, 1989).

As bases de seu desenvolvimento remontam à década de 40 com os trabalhos de McCulloch & Pitts (1943, *apud* Hecht-Nielsen, 1987) e Hebb (1949, *apud* Hecht-Nielsen, 1987), que discutiam a capacidade de tratamento de informações apresentada por uma rede neural, e as possibilidades de aprendizado que as mesmas apresentavam.

Desenvolvimentos posteriores não só tornaram possível a produção de sistemas capazes de executar este tipo de tarefas, mas também o desenvolvimento de leis de aprendizado dos mesmos, tais como o *Aprendizado por Coincidência*, o *Aprendizado por Performance*, o *Aprendizado Competitivo*, o *Aprendizado por Filtragem*, e o *Aprendizado Espaço-temporal* (Hecht-Nielsen, 1987).

Estes dispositivos têm sido bastante utilizados recentemente com a finalidade de reconhecimento e seleção de padrões, mostrando excelentes resultados em diversas áreas de engenharia e tecnologia, como se pode verificar em Beale & Jackson (1990), Pun (1990), Herman, Albus & Hong (1992), Jorgensen & Schley (1992), Narendra (1992), Sanderson (1992), e Ungar (1992).

Nas geociências mais especificamente, podem ser citados alguns conjuntos de aplicações recentes de redes neurais artificiais ou outros dispositivos de inteligência artificial com bons resultados :

- (1) na caracterização e gerenciamento de recursos hídricos tem-se os exemplos de Qian, Ehrich & Campbell (1990), Rizzo & Dougherty (1994), e Rogers & Dowla (1994);
- (2) para análise de estabilidade de terrenos tem-se os trabalhos de Peddle & Franklin (1993), Shimei, Shufang & Zhiyuan (1994), Xu & Huang (1994), Yin (1994), e Yingqing (1994);
- (3) em reconhecimentos e análises para planejamento territorial White & Jantraia (1989), Wong, Poulos & Throne (1989), e Frankot & Chellappa (1990);
- (4) na prospecção de petróleo tem-se a aplicação de Rodrigues & Queiroz Neto (1992) para o reconhecimento de eletrofácies; e
- (5) em projetos de túneis e descrição e classificação de maciços rochosos tem-se os trabalhos de Juang & Lee (1989) e Ichikawa *et alii* (1990).

Estas tentativas de uso de redes neurais artificiais tem mostrado que a técnica é bastante adequada quando se trata de identificar e associar padrões.

Ora, a técnica de avaliação do terreno é uma aplicação típica de reconhecimento de padrões, nada impedindo portanto, que a mesma venha a ser utilizada em conjunto com redes neurais artificiais para um zoneamento preliminar do terreno, podendo promover uma redução ainda maior de custos nesta etapa de investigação do meio físico.

4 CONJUGAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS

Os argumentos apresentados mostram que a associação entre as técnicas de avaliação do terreno e redes neurais artificiais é viável, podendo trazer grandes benefícios em termos de agilidade em trabalhos de zoneamento preliminar do meio físico, podendo, portanto, favorecer processos de análise do meio físico, sejam eles voltados ao planejamento, à análise de riscos, ou à caracterização com vistas a implantação de obras de engenharia.

Nas aplicações já existentes em outras áreas da engenharia, o uso de redes neurais artificiais tem mostrado resultados bastante eficazes no reconhecimento e interpretação de padrões, podendo-se citar o uso de redes neurais artificiais para o tratamento de sinais pela engenharia elétrica, e de padrões de vibração na engenharia mecânica.

No caso presente o trabalho da rede neural artificial consistiria, depois de selecionado o método de aprendizado mais adequado, em reconhecer padrões característicos de feições de relevo e associá-los à outros conjuntos de dados (de outras feições) com as mesmas características, sempre que este padrão fosse reconhecido.

As possíveis dificuldades desta associação residiriam então na forma de descrição das feições do terreno adequadas ao tratamento por parte da rede neural, uma vez que a aplicação da avaliação do terreno se dá a partir da identificação de padrões visuais em fotografias aéreas, sendo necessária a criação de uma outra modalidade de descrição destes *landforms* de maneira que os mesmos sejam reconhecidos pela rede.

Neste sentido pode-se pensar em duas possibilidades imediatas de descrição parametrizada destas feições do relevo. A primeira delas seria a descrição do *landform* a partir de grandezas descritivas do mesmo, tais como amplitudes, extensões, e declividades. Outra possibilidade é a apresentação na forma de um modelo digital do terreno, que proporcionaria a apresentação de uma superfície característica daquele *landform*.

Os testes deste uso combinado das duas técnicas a partir destas modalidades de representação das feições do relevo encontram-se ainda em fase inicial, não sendo possível, até o presente momento, a apresentação de resultados.

5 CONCLUSÕES

Em face do que foi comentado, pode-se afirmar que a técnica de avaliação do terreno pode se constituir numa boa alternativa para o levantamento de perfis de alteração de solos, associando estes materiais com feições do relevo, e tornando este levantamento mais ágil e de menor custo.

Como não se tem, até o momento, resultados experimentais deste tipo de aplicação, não é possível falar-se em conclusões, porém os estudos feitos até o momento indicam a viabilidade de utilização da técnica para esta finalidade, desde que as feições do relevo sejam adequadamente representadas para seu tratamento pela rede. No caso em questão esta descrição tem sido feita, até a presente data, através dos perfis (transversal e longitudinal) do *landform* analisado.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a suas instituições (Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP e Escola de Engenharia de São Carlos - USP) pela infra-estrutura proporcionada, e a Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP pelos recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beale, R.; Jackson, T. (1990). Neural computing : an introduction. London, 240p.
- Belcher, D.J. (1943). The engineering significance of soil patterns. XXIII Annual Meeting of Highway Research Board, pp. 569.
- Belcher, D.J. (1946). Engineering applications of aerial reconnaissance. Geological Society of America Bulletin, New York, vol. 57, n. 8, pp. 727-734.
- Bourne, R. (1931). Regional survey and its relation to stocktaking of agricultural and forest resources of the British Empire. Ox. For. Mem., v. 13, pp. 1-13.
- Connors, S.D. (1980). 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, n. 17, pp. 153-162.
- Frankot, R.T.; Chellappa, R. (1990). Estimation of surface topography from SAR imagery using shape from shading techniques. Artificial Intelligence, vol. 43, n. 3, pp. 271-310.
- Hecht-Nielsen, R. (1987). Neurocomputing. New York, 433p.
- Herman, M.; Albus, J.S.; Hong, T. (1992). Intelligent control for multiple autonomous undersea vehicles. In : Neural Networks for Control. Cambridge, Chap. 18, pp. 427-474.
- Hittle, J.E. (1949). Airphoto interpretation of engineering sites and materials. Photogramm. Engng., vol. 15, pp. 589.
- Ichikawa, Y.; Aydan, O.; Kyoya, T.; Osaka, H.; Kawamoto, T. (1990). Expert system for tunnel design. Microcomputers in Civil Engineering, vol. 5, n. 1, pp. 3-18.

IBGE (1980). Mapa topográfico : quadrícula de Campinas (SF-23-Y-A). Escala 1:250.000, Rio de Janeiro.

Jha, V.K. (1982). Highway alignment survey in mountainous areas and its impact on environment - case example from Okhaldhunga Area, Nepal. IV International Congress of the International Association of Engineering Geologists, New Delhi, vol. 1, pp. I.403-I.412.

Jorgensen, C.C.; Schley, C. (1992). A neural network baseline problem for control of aircraft flare and touchdown. In : Neural Networks for Control. Cambridge, Chap. 17, pp. 403-427.

Juang, C.H.; Lee, D.H. (1989). Development of an expert system for rock mass classification. Civil Engineering Systems, vol. 6, n. 4, pp. 147-156.

Kate, J.M.; Pathak, R. (1987). Geomorphological mapping and classification of an area using air-photo interpretation technique. Inst. Eng. India Journal, New Delhi, vol. 68, n. 2, pp. 114-119.

Lollo, J.A. (1996). O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico : sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. São Carlos, Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, 2 vol.

Nagarajan, R.; Shah, S.D. (1987). Regional engineering geological mapping using remotely sensed data. Bulletin of the International Association of Engineering Geologists, Paris, n. 35-36, pp. 51-57.

Nanda, R.L.; Akinyede, J.O. (1986). Application of remote sensing for the survey of calcrete in the semi-arid region of Nigeria. V International Congress of the International Association of Engineering Geologists, Buenos Aires, vol. 2, pp. 2447-2452.

Narendra, K.S. (1992). Adaptive control using neural networks. In : Neural Networks for Control. Cambridge, Chap. 5, pp. 115-142.

Peddle, D.R.; Franklin, S.E. (1993). Classification of permafrost active layer depth from remotely sensed and topographic evidence. Remote Sensing of Environment, vol. 44, n. 1, pp. 67-80.

Pun, L. (1990). Pertinence and utility of artificial intelligence techniques for production management systems. Computers in Industry, v. 14, pp. 149-159.

Qian, J.; Ehrlich, R.W.; Campbell, J.B. (1990). DNESYS - An expert system for automatic extraction of drainage networks from digital elevation data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 28, n. 1, pp. 29-45.

Rizzo, D.M.; Dougherty, D.E. (1994). Characterization of aquifer properties using artificial neural networks : Neural Kriging. Water Resources Research, vol. 30, n. 2, pp. 483-497.

Rockaway, J.D.; Smith, R.J. (1994). Geomorphic assessment for a waste disposal facility. VII International Congress of the International Association of Engineering Geologists, Lisboa, vol. 4, pp. 2393-2402.

Rodrigues, F.S.; Queiroz Neto, I.A. (1992). Aplicação de inteligência artificial na identificação de eletrofácies redes neuronais versus análise discriminante. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, vol. 6, n. 3/4, pp. 155-162.

- Rogers, L.L.; Dowla, F.U. (1994). Optimization of groundwater remediation using artificial neural network with parallel solute transport modeling. *Water Resources Research*, vol. 30, n. 2, pp. 457-481.
- Sanderson, A.C. (1992). Applications of neural networks in robotics and automation for manufacturing. In : *Neural Networks for Control*. Cambridge, Chap. 15, pp. 365-386.
- Shimei, W.; Shufang, X.; Zhiyuan, J. (1994). An engineering geology expert system of shearing zone identification. VII International Congress of the International Association of Engineering Geologists, Lisboa, vol. 6, pp. 4489-4494.
- Ungar, L.H. (1992). A bioreactor benchmark for adaptive network-based process control. In : *Neural Networks for Control*. Cambridge, Chap. 16, pp. 387-402.
- Viberg, L.; Adestam, L. (1980). Geotechnical terrain classification for physical planning - a swedish research project. *Bulletin of the International Association of Engineering Geologists*, Krefeld, n. 21, pp. 174-178.
- Wasserman, P.D. (1989). *Neural computing : theory and practice*. New York, 230p.
- White, R.K.; Jantraia, A. (1989). Computer program design for land treatment systems. *BioCycle*, vol. 30, n. 10, pp. 66-67.
- Wong, K.C.; Poulos, H.G.; Throne, C.P. (1989). Site classification by expert systems. *Computers and Geotechnics*, vol. 8, pp. 133-156.
- Xu, Q.; Huang, R.Q. (1994). Artificial neural network methods for spatial prediction of slope stability. VII International Congress of the International Association of Engineering Geologists, Lisboa, vol. 6, pp. 4725-4728.
- Yin, K.L. (1994). A computer-assisted mapping of landslide hazard evaluation. VII International Congress of the International Association of Engineering Geologists, Lisboa, vol. 6, pp. 4495-4499.
- Yingqing, Z. (1994). An expert system for the prediction of slope stability. VII International Congress of the International Association of Engineering Geologists, Lisboa, vol. 6, pp. 4483-4488.
- Yu, Y.; Jacobsson, A. (1994). Geological and geotechnical characteristics of tills for road construction. VII International Congress of the International Association of Engineering Geologists, Lisboa, vol. 5, pp. 3235-3243.