**Estimativa da Retenção de Água no Solo a partir do
Uso de Equipamentos Não Convencionais, Redes
Neurais Artificiais e Funções de Pedotransferência**

Antonio Angelotti Netto

**Tese apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos, Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Doutor em Ciências da
Engenharia Ambiental.**

Orientador: Prof. Dr. Silvio Crestana

**São Carlos
2007**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de
Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

A584e Angelotti Netto, Antonio
 Estimativa da retenção de água no solo a partir do uso
de equipamentos não convencionais : redes neurais
artificiais e funções de pedotransferência / Antonio
Angelotti Netto ; orientador Silvio Crestana. -- São
Carlos, 2007.

 Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de
Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo, 2007.

 1. Física do solo. 2. Retenção de água no solo.
3. Analisador granulométrico. 4. Penetrômetro.
5. Reflectometria no domínio do tempo.
6. Tomografia computadorizada. 7. Redes neurais
artificiais. I. Título.

*Aos meus pais, Roberto e Lourdes,
Pela dedicação e apoio incondicionais,
E a minha irmã Andréa pelo constante incentivo...*

*... A minha esposa Daniela,
E as minhas filhas Maria Luiza e Maria Fernanda
Pela compreensão, carinho e incansável apoio
Com muito amor, admiração e gratidão.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Silvio Crestana pela oportunidade, orientação, amizade, exemplo de pessoa e pesquisador, contribuindo muito para meu aprimoramento científico.

Ao Dr. João de Mendonça Naime, pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, pelo apoio e ensinamentos na utilização do tomógrafo computadorizado e do analisador granulométrico, além da atenção e disponibilidade incondicionais.

Ao Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz, pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, pelas contribuições durante os trabalhos realizados com o penetrômetro associado à sonda de TDR e o analisador granulométrico.

Ao Dr. Odo Primavesi, pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, pela solicitude e conhecimentos concedidos na fase de escolha das áreas de estudo.

Ao grande amigo Dr. Ricardo Tezini Minoti pelas discussões científicas, companheirismo externado durante todo o doutorado, auxílio na coleta de torrões de solo na Fazenda Canchim e conversas regadas a café nos momentos de descontração.

Ao MSc. Ednaldo Ferreira, funcionário da Embrapa Instrumentação Agropecuária, pelas valiosas contribuições com as redes neurais artificiais.

À MSc. Engenheira Agrônoma Juliana Maria Manieri, pelo auxílio e contribuição com as medidas de penetrometria e TDR.

Ao Valentim Monzane, funcionário da Embrapa Instrumentação Agropecuária, pelas contribuições na confecção de pôsteres e demais figuras.

Ao Emerson, secretário da Embrapa Instrumentação Agropecuária, pela solicitude e pronto atendimento a meus e-mails e telefonemas, especialmente na fase final do doutorado.

Aos funcionários da Embrapa Instrumentação Agropecuária, Renê de Oste, Godoy, Jorge Novi, Álvaro Rodrigues, Gilmar, Dionísio, Valéria e aos demais colaboradores da “família” Embrapa Instrumentação Agropecuária, pelo apoio e amizade.

Aos colegas pós-graduandos, orientados pelo Dr. Silvio Crestana, Dr. Fernando Braga, Fernando Neves, Simone, Illona e Julieta.

A todos os professores do CRHEA e SHS que ministraram aulas nesse período, pelo conhecimento científico transmitido.

À Dr. Maria de Lourdes Mendonça Santos pesquisadora da Embrapa Solos, pela sugestão de utilização do programa Neuroman.

Ao professor Dr. Budiman Minasny, pesquisador da Universidade de Sydney, pela permissão do uso do programa Neuroman e Neuropath.

À Embrapa Instrumentação Agropecuária, pela infra-estrutura disponibilizada, fundamental à realização do doutorado, especialmente ao Dr. Martin Ladislau Neto e ao Dr. Álvaro Macedo da Silva.

À Embrapa Pecuária Sudeste por disponibilizar a área experimental e aos seus funcionários que colaboraram na abertura das trincheiras e coleta de torrões de solo.

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) pela oportunidade de realização do doutorado, sobretudo, ao professor Dr. Evaldo Luiz Gaeta Espíndola, e à secretária Claudete Aparecida Poianas da Silva, pela compreensão e auxílio em todos os momentos.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

RESUMO

Angelotti Netto, A. (2007). Estimativa da Retenção de Água no Solo a partir do Uso de Equipamentos Não Convencionais, Redes Neurais Artificiais e Funções de Pedotransferência. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Orientador – Prof. Dr. Silvio Crestana.

O desenvolvimento econômico e o aumento da produtividade agrícola intensificaram o uso de produtos químicos nas lavouras. Quando se pretende quantificar o impacto ambiental de tal uso é necessário empregar modelos que descrevam o fluxo de água e solutos na região não saturada do solo. Para esse fim, um dos parâmetros mais eficazes é conhecer a retenção de água no solo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver Funções de Pedotransferência (FPTs) que estimassem a partir de análise em Redes Neurais Artificiais (RNAs) a retenção de água nos solos da microbacia hidrográfica do ribeirão Canchim, município de São Carlos, SP. Os atributos físicos, textura (argila, silte e areia), densidade e resistência à penetração dos solos: LVAd, LVe, LVdf e NVef, manejados com e sem cobertura vegetal e sob mata foram determinados com equipamentos não convencionais na Embrapa Instrumentação Agropecuária em São Carlos, SP. Esses parâmetros foram utilizados como variáveis de entrada nas duas redes neurais artificiais. Foram obtidas, ainda, as curvas de retenção de água no solo por meio da câmara de pressão de Richards e da tomografia computadorizada, além da porosidade total e da condutividade hidráulica não saturada. O analisador granulométrico de solos e o penetrômetro associado a TDR possibilitaram a obtenção de um grande número de dados. Os atributos físicos dos solos apresentaram grande variabilidade em função da constituição granulométrica e manejos adotados. As RNAs foram eficientes no desenvolvimento de FPTs capazes de estimar a retenção de água com base em propriedades básicas de solo obtidas em grande número.

Palavras-chave: Retenção de Água no Solo, Analisador Granulométrico, Penetrômetro, Reflectometria no Domínio do Tempo, Tomografia Computadorizada, Redes Neurais Artificiais.

ABSTRACT

Angelotti Netto, A. (2007). Water Retention Soil Estimate Using Nonconventional Equipment, Artificial Neural Networks and Pedotransfer Functions. Doctoral Thesis – São Carlos School of Engineering, USP – University of São Paulo, São Carlos, SP, Brazil, 2007. Advisor: Prof. Dr. Silvio Crestana.

Economic development and increasing agricultural productivity have intensified the use of chemical products in farming. The quantification environmental impact of these products requires the use of models that describe the flow of water and solutes in the unsaturated region of the soil. For this purpose, one of the most effective parameters belong to the water retention curve of the soil. The purpose of this work was to develop Pedotransfer Functions (PTFs) to estimate the retention of water by soils of the hydrographic microbasin of the Canchim river, in the municipality of São Carlos, state of São Paulo, Brazil, based on Artificial Neural Networks (ANNs). The physical attributes, granulometry (clay, silt and sand), density and resistance to penetration of LVAd, LVe, LVdf and NVef soils, managed with and without vegetal cover and under forest, were determined using nonconventional equipment at Embrapa Instrumentação Agropecuária in São Carlos, SP. These parameters were used as input variables for two artificial neural networks. The soils' water retention curves were also obtained using a Richards pressure chamber and computed tomography, as well as their total porosity and unsaturated hydraulic conductivity. A soil granulometric analyzer and a penetrometer allied to TDR provided a large number of data. The soils' physical attributes displayed a wide variability as a function of their granulometric constitution and adopted managements. The ANNs were effective in developing PTFs able to estimate the water retention based on the large number of basic soil properties.

Keywords: Soil Water Retention, Granulometry, Penetrometer, Time Domain Reflectometry (TDR), Computed Tomography, Artificial Neural Networks.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Breve histórico	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Os impactos Ambientais e a Retenção de Água	5
2.2. Métodos Não Convencionais de Medidas de Parâmetros Físicos de Solo	10
2.2.1. Análise Granulométrica Baseada na Atenuação de Raios Gama	11
2.2.2. Penetrômetro Combinado à Sonda de TDR	13
2.2.3. Tomografia Computadorizada	14
2.3. Funções de Pedotransferência	17
2.4. Redes Neurais Artificiais	21
3. OBJETIVOS	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1. Localização e Caracterização da Área Experimental	25
4.2. Determinação de Parâmetros Físicos	27
4.2.1. Distribuição do Tamanho de Partículas	28
4.2.2. Avaliação da Densidade	32
4.2.3. Resistência do Solo à Penetração e Conteúdo de Água	33
4.2.4. Retenção de Água	36
4.2.4.1. Método Padrão	36
4.2.4.2. Tomografia Computadorizada	36
4.2.5. Condutividade Hidráulica	40
4.3. Desenvolvimento das Funções de Pedotransferência	41
4.3.1. Redes Neurais Artificiais	41
4.3.1.1. Desempenho das Redes Neurais Artificiais	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1. Determinações de Parâmetros Físicos de Solo	45
5.1.1. Distribuição do Tamanho de Partículas	45

5.1.2. Avaliação da Densidade	47
5.1.3. Resistência à Penetração e Conteúdo de Água	48
5.1.4. Curvas de Retenção de Água no Solo	50
5.1.5. Porosidade Total	62
5.1.6. Condutividade Hidráulica Não Saturada	64
5.2. Variáveis Estatísticas do Conjunto de Dados de Entrada	69
5.3. Desenvolvimento das Funções de Pedotransferência Usando RNAs	70
5.3.1. Desempenho das Redes Neurais Artificiais	74
6. CONCLUSÕES	77
7. SUGESTÕES	78
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APÊNDICE A.	90
APÊNDICE B.	95
APÊNDICE C.	98
APÊNDICE D.	100
APÊNDICE E.	109
ANEXO A	165

1. INTRODUÇÃO

1.1 Breve histórico

A experiência histórica demonstra que a expansão nas áreas de lavoura e pastagem representava a principal fonte de crescimento agrícola nos séculos XVII a XIX, e o maior exemplo dessa expansão, na história ocidental, foi à abertura de novos continentes – América do Norte e do Sul e Austrália – para a colonização europeia naquele período (Hayami e Ruttan, 1988).

Em razão do transporte barato durante a última metade do século XIX, os países dos novos continentes tornaram-se fontes cada vez mais importantes de alimentos e matérias-primas agrícolas para as metrópoles da Europa Ocidental (Hayami e Ruttan, 1988). No entanto, o que pouco se sabe é que naquela época o sistema de produção, baseado na exploração dos recursos naturais, já era objeto de críticas por parte de alguns pensadores, inclusive de alguns autores brasileiros (Pádua, 2002).

As consequências nefastas da exploração dos recursos naturais no Brasil, decorrentes da expansão desordenada das áreas de lavoura e pastagens, no final do século XVIII e durante o século XIX, com práticas tecnológicas e sociais rudimentares, calcadas no pensamento colonial predatório, foram relatadas em diversos textos históricos e sociológicos, o que provocou na atualidade uma rediscussão a respeito das origens e identidade da consciência ecológica no mundo moderno (Pádua, 2002).

O relato de José Vieira Couto, transcrito por Pádua (2002), traduz a preocupação intelectual com a degradação do meio ambiente no final do século XVIII:

“Já é tempo de se atentar nestas preciosas matas, amenas selvas que o cultivador do Brasil, com o machado em uma mão e o tição em outra, ameaça-a de total incêndio e desolação. Uma agricultura bárbara, ao mesmo tempo muito dispendiosa, tem sido a causa deste geral abrasamento. O agricultor olha ao redor de si para duas ou mais léguas de matas como para um nada, e ainda não as tem bem reduzido a cinzas já estende ao longe a vista para a destruição a outras partes. Não conserva apego nem amor ao território que cultiva, pois conhece mui bem que ele talvez não chegará a seus filhos”.

A degradação do ambiente causada pela monocultura de exportação, complemento lógico do trabalho escravo da época, nos séculos XVIII e XIX, que destruía a saúde da paisagem, foi relatada por diversos pensadores da época, e, em especial, por José Bonifácio de Andrada e Silva, citado por Pádua (2002):

“É fato constante que a produção dos vegetais que entre nós se manufacturam, como a cana, por exemplo, tornaram em pouco tempo improdutiva a terra, quando é sabido que as terras cansam em breve se não se alteram as plantações, mas que nunca cansam se esta alteração tem lugar de tempos a tempos. Demais, é evidente que tanto mais diversificadas forem as substancias alimentares vegetais, tanto mais se aproveitará o terreno, tanto mais recursos terão os povos e tanto menos sofrerão dos acasos funestos das secas ou das chuvas excessivas”.

A preocupação com o aumento da produção agrícola, associada ao pensamento de preservação ambiental, traduziu-se em pesquisas e estudos científicos e pela experimentação consciente, muito embora a situação fática existente no Brasil colônia e império fosse bem diversa daquele existente na Europa (Pádua, 2002).

Com a “revolução agrícola” inglesa que ocorreu no século XVIII, que é considerada por alguns pensadores como complementar da Revolução Industrial, desenvolveu-se um sistema integrado de lavoura-criação de animais, no qual a rotação intensiva da terra arável, entre cereais para alimentação e forrageiras, substituiu o sistema tradicional de campos abertos, em que um terço da terra arável era deixada em pousio. O novo sistema de manejo possibilitou o aumento da capacidade do solo para sustentar animais e, com a majoração dessa população, foi possível a produção de estrume necessário para melhorar a fertilidade do solo e aumentar o rendimento dos cereais, tendo em vista que o crescimento agrícola, com base no modelo de exploração de recursos naturais, não pode ser sustentado a longo prazo (Hayami e Ruttan, 1988).

No século passado ocorreu a transição de um período em que o aumento da área (expansão da fronteira agrícola) era a principal fonte de crescimento da produção agrícola mundial, para uma era em que a maior parte do crescimento da produção de lavouras e animais deverá ocorrer em função da elevação da frequência e intensidade do cultivo e manejo (Hayami e Ruttan, 1988).

Com os anos e o evoluir da crise econômica mundial, reflexo da crise energética iniciada com o embargo do petróleo em 1973, e com a elevação progressiva do seu custo, um novo fator contribuiu para demonstrar que a agricultura industrial não só era um modelo ecologicamente indesejável e socialmente injusto, como, também, era um modelo economicamente inviável, pois o custo da produção diminuiu o lucro dos produtores, o que eleva sobremaneira o preço dos alimentos para os consumidores (Paschoal, 1994).

O processo de modernização da agricultura, iniciado com a segunda “revolução agrícola” (nos séculos XVIII e XIX) e aprofundado com a “revolução verde”, contribuiu para a insustentabilidade do modelo moderno (convencional) que é atribuída ao comprometimento dos recursos produtivos tais como: solo, água e recursos genéticos; bem como ao comprometimento de estruturas e processos ecológicos básicos responsáveis pelo funcionamento dos ecossistemas,

tais como: biodiversidade, fluxo de energia, ciclagem de nutrientes e mecanismos de regulação populacional, à grande dependência de insumos de alto custo energético (Jucksch *et al.*, 2000).

A agricultura em escala industrial, do ponto de vista tecnológico, está baseada em três pilares fundamentais: agroquímica, motomecanização e manipulação genética (Aquino e Assis, 2005).

Com o desenvolvimento da motomecanização e do melhoramento genético das sementes, a fronteira agrícola brasileira, em meados dos anos 70, expandiu-se consideravelmente com a instalação de grandes monoculturas e estas colaboraram para o empobrecimento dos solos e para a migração de parte da população rural para as cidades, o que contribuíram para agravar problemas sociais, tais como: desemprego, déficits de habitações, educação, saúde e problemas ambientais como por exemplo: o abastecimento precário ou falta de água, ausência de saneamento básico, geração de lixo, poluição do ar, ocupação de áreas de mananciais e diminuição da biodiversidade (Paschoal, 1994).

Em razão da segunda "revolução agrícola" iniciou-se, também, o desenvolvimento e produção industrial de fertilizantes químicos e com eles nasceu a idéia, que foi amplamente difundida, de que o problema da nutrição das plantas estaria resolvido (Aquino e Assis, 2005).

O impacto social decorrente das novas tecnologias implementadas em razão da “revolução verde”, concomitantemente com o aumento da produção de alimentos de países em desenvolvimento, foi de tal ordem que resultou em reconhecimento mundial, concretizado pela concessão do Prêmio Nobel da Paz à Norman E. Borlaug, tido como o "pai" da Revolução Verde, que consistiu no desenvolvimento de variedades de cereais de porte baixo, de alta produtividade e com baixa relação entre palha e grãos (Isherwood, 2000). Contudo, esse período profícuo ocorreu apenas no hemisfério Norte, onde as condições de clima e solo são bastante diferentes das encontradas na parte Sul.

No Brasil, nas décadas de 70 e 80, com o apoio financeiro e tecnológico promovido pelo Estado por meio de incentivos fiscais e programas como a criação da Embrapa e do Sistema Nacional de Pesquisa Agrícola, a agricultura brasileira iniciou a sua modernização aumentando a produtividade e a expansão da área cultivada (Cassales e Manzatto, 2002), com o uso intensivo de insumos químicos (adubos solúveis e agrotóxicos), sementes melhoradas para responderem a esses insumos e alto grau de mecanização em todas as etapas da produção.

Ao permitir um salto em termos de produção e de produtividade, a agricultura moderna, tida como industrial, possibilitou conciliar, em vários casos, o aumento da produção agrícola, em especial de alimento, com o crescimento populacional (Jucksch *et al.*, 2000). Neste contexto de utilização em massa de máquinas e, especialmente, de insumos agrícolas, aumentou-se a

quantidade de solutos orgânicos e inorgânicos com grande potencial de contaminação do ambiente, sobretudo no solo e nas águas superficial e subterrânea (Tundisi, 2003).

Segundo Hernani *et al.* (2002) diante do problema de degradação dos recursos naturais, especialmente em terras agrícolas, verificou-se no Brasil um princípio de reação por parte da sociedade civil que busca formas mais adequadas para conduzir o desenvolvimento e as atividades econômicas. Ainda segundo esses autores a agricultura deve ser, portanto, competitiva e comprometida com a equidade social, com o meio ambiente e a segurança alimentar e, diante deste contexto, as políticas públicas e os programas governamentais devem ser adotados para permitir um desenvolvimento sustentável.

Assim, diante das mudanças econômicas, sociais e ambientais que ocorreram na agricultura brasileira, novas práticas agrícolas economicamente viáveis, seguras e de baixo impacto ambiental foram desenvolvidas e introduzidas no campo e um exemplo é o plantio direto que tem contribuído para a viabilidade do aumento de produção em diversas áreas brasileiras, em especial no cerrado, onde, de início, parecia mais complicado desenvolvê-lo (Pauletti e Segnfredo, 1999). Diversos benefícios podem ser observados com o plantio direto, tais como: redução das perdas de solo por erosão, de nutrientes e de matéria orgânica, diminuição do uso de corretivos, fertilizantes e defensivos, aumento da produtividade, menores custos de produção, economia de energia elétrica e de utilização de água empregadas na irrigação, manutenção de estradas rurais, diminuição do custo do tratamento de água, impacto sobre a vida útil dos reservatórios, dragagem dos rios e portos, dentre outros (Hernani *et al.*, 2002).

Para Hernani *et al.* (2002) alguns programas de manejo conservacionistas de solo e água têm sido conduzidos com sucesso no Brasil, o que permitiu o desenvolvimento do sistema plantio direto e programas de gestão integrada e sustentável no âmbito das bacias hidrográficas, com reflexos positivos para o meio ambiente.

Em 1996, com a introdução do Zoneamento Agrícola no Brasil, criou-se um instrumento eficaz para a adoção de políticas públicas voltadas para a produção e reordenamento do espaço agrícola, com a observância das limitações ambientais (Cassales e Manzatto, 2002).

Analizando os dados obtidos pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico de Campinas, Bertoni e Lombardi Neto (2005) afirmam que anualmente o Estado de São Paulo perde por causa da erosão 130.000.000 de toneladas de terra, o que representa aproximadamente 25% da perda sofrida pelo Brasil inteiro, explicando-se tal parcela de prejuízo em função da intensidade da agricultura paulista.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Os impactos ambientais e a retenção de água

O desenvolvimento econômico e a expansão agrícola produziram alterações significativas no solo rural dos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, e o impacto dessas alterações tem sido muito discutido mais dentro de uma avaliação qualitativa do que quantitativa, no tocante ao escoamento, produção de sedimentos e qualidade da água (Tucci e Clarke, 1997).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005) o problema de conservação da água, que decorre da urbanização, da industrialização, do desflorestamento, erosão, enchentes e diminuição do lençol freático, não pode ser resolvido independentemente da conservação de outros recursos naturais.

Neste contexto, a água passa a transportar solos, insumos e dejetos animais provocando o assoreamento e a contaminação dos recursos hídricos. Filizola *et al.* (2002) recomendam que uma avaliação preliminar da possibilidade de contaminação por pesticidas das águas superficiais, subsuperficiais e subterrâneas de uma área agrícola pode ser realizada a partir das características físicas do solo (espessura, textura e capacidade de armazenamento de água), em razão do alto custo das análises de resíduos de pesticidas.

Os levantamentos de solos brasileiros contêm relativamente muito dados químicos e morfológicos, mas poucos dados físico-hídricos, cuja variável mais útil na previsão de propriedades físicas dos solos é provavelmente o teor de argila, pois se relaciona diretamente com a retenção de água, resistência do solo e muitos outros processos físicos e químicos (Minasny *et al.*, 2003).

Dentre as propriedades físicas, a capacidade de retenção de água de um solo em potenciais mátricos específicos e a condutividade hidráulica são talvez as mais importantes, já que a partir delas o fluxo de água e solutos na região não saturada do solo é mais facilmente mensurável. A determinação desses atributos destina-se não somente a prevenir e identificar possíveis impactos (negativos) ambientais, mas também a muitas outras aplicações, tais como Agricultura, Hidrologia, Meteorologia, Ecologia, Ciências do Solo.

A quantificação da retenção de água no solo é largamente utilizada em estudos de disponibilidade de água para as plantas, projetos de irrigação e drenagem, infiltração, condutividade hidráulica, estresse hídrico e movimento de solutos. Desse modo, a pesquisa por modelos capazes de descrever o transporte de água e solutos no solo tem se tornado de grande importância prática na atualidade, sobretudo para se obter um melhor manejo ambiental e otimização das práticas agrícolas.

Com a intensificação das atividades agrícolas e aumento significativo de produção de alimentos, em função do desenvolvimento tecnológico, que está diretamente relacionado ao uso da água e à economia agrícola, seja esta no tocante à economia de pequeno porte ou de subsistência quanto aos agroecossistemas de grande produção, o produtor rural expandiu as áreas irrigadas (Tundisi, 2003). E, atualmente, grandes quantidades de água - 64% da água doce utilizada pelo homem é destinada à irrigação (Guerra *et al.*, 2004) (Fig. 1) - e substâncias químicas solúveis (5 milhões de toneladas de pesticidas) são aplicadas no solo anualmente (Rawls *et al.*, 1991; Matson *et al.*, 1997).

Figura 1. Uso e consumo de água no Mundo (Guerra *et al.*, 2004)

O Brasil, quarto país entre os que mais comercializam produtos químicos agrícolas no mundo, despende por ano aproximadamente 3,9 bilhões de dólares com pesticidas (Fig. 2), dos quais quase 93% são aplicados em nove estados e 69% do total são utilizados nas culturas de soja, cana-de-açúcar, algodão e milho (Fig. 3) (SINDAG, 2007).

O consumo de fertilizantes em 2004 chegou a 19,4 milhões de toneladas (Serrana Fertilizantes, 2004), dos quais 88% são empregados em apenas sete estados da federação - SP, PR, RS, MT, MG, GO e MS - (Scorza Júnior, 2004) (Fig.4).

Além de uma grande gama de pesticidas e fertilizantes conterem metais pesados como constituintes ativos ou impurezas (Alloway, 1990), os corretivos de solo também contêm freqüentemente zinco como impureza (Kiekens 1990 citado por Ramalho *et al.*, 2000). Esses insumos agrícolas, por serem fontes potenciais de contaminação, com a particularidade de atingirem a maior extensão territorial do planeta, podem contaminar o solo e a água, por esta razão merecem atenção redobrada.

Figura 2. Consumo (em mil dólares) de pesticidas nos principais Estados em 2006 (SINDAG, 2007).

Figura 3. Consumo de pesticidas pelas principais culturas em 2006 (SINDAG, 2007).

Figura 4. Consumo regional de fertilizantes no Brasil em 2002 (Serrana, 2004).

Entre os fertilizantes, o nitrogênio e o fósforo, embora essenciais na obtenção de ótimos níveis de produtividade agrícola, são os poluentes que mais preocupam. Ambos, quando aplicados acima da capacidade de absorção da cultura e fora da região de alcance das raízes, podem causar a contaminação das águas subterrâneas e a eutrofização de lagos e rios quando os atingem em grande quantidade. A eutrofização, de acordo com Tundisi (2003), tem provocado a deterioração dos ecossistemas aquáticos, produzindo impactos ecológicos, econômicos, sociais e na saúde pública. O gerenciamento desse tipo de impacto implica grandes gastos com a recuperação de rios, lagos e represas, pois depende de ações que abrangem as bacias hidrográficas como um todo e o controle das fontes pontuais e não pontuais de descarga de nitrogênio e fósforo (Tundisi, 2003).

Já os pesticidas, que têm o mérito de controlar agentes indesejáveis ou nocivos, como insetos, fungos, plantas daninhas, entre outros, propiciaram a expansão das áreas cultivadas, o aumento da produção de alimentos e a expectativa de vida das pessoas em todo o mundo, reduzindo a pressão de ocupação. No entanto, se as moléculas desses pesticidas forem liberadas à solução do solo, elas podem ser absorvidas pelas raízes das plantas, lixiviadas para as camadas subsuperficiais do perfil ou carregadas com o escoamento superficial (Lavorenti *et al.*, 2003). Para prevenir e controlar a ocorrência dessa última hipótese, pode-se realizar o manejo adequado de solo e cultura (terraços, cultivo e plantio em nível, manutenção da cobertura vegetal na superfície). No entanto, na suposição de lixiviação para as camadas subsuperficiais a dificuldade é maior, uma vez que abrangem variabilidade espaço-temporal, leis físicas complexas, cuja quantificação é supostamente conseguida por meio de experimentos, leis empíricas e solução de

equações diferenciais que governam o movimento da água no solo (Crestana e Posadas, 1996; Righetto, 1998).

Existe, portanto, uma grande lacuna de informações, conhecimentos e tecnologias aplicáveis a ecossistemas tropicais, especialmente no tocante ao impacto de atividades agrícolas nos recursos edafo-hídricos. Além da carência de métodos, modelos, sistemas, sensores e tecnologias para monitorar, avaliar e estimar variáveis agro-ambientais de modo a indicar possíveis manejos que redundem em práticas agrícolas sustentáveis, ou seja, que contribuam para minimizar, mitigar ou mesmo tornar positivo o impacto das atividades agropecuárias e florestais nesses recursos.

Por essa razão, o desenvolvimento de modelos de retenção de água no solo é imprescindível não somente em estudos de modelagem ambiental e ecológica (Cornelis *et al.*, 2001; Rawls e Pachepsky, 2002; e Tomasella *et al.*, 2003), mas, também, naqueles multidisciplinares, como os que envolvem interações solo-planta, aeração, irrigação e drenagem (Centurion *et al.*, 1997), temperatura do solo e trafegabilidade (Puckett *et al.*, 1985), infiltração (Williams *et al.*, 1992), condutividade hidráulica (Rossato, 2001) e movimento de solutos (Kern, 1995).

As curvas de retenção de água no solo é uma propriedade física que descreve a relação entre conteúdo de água e o potencial matricial que varia no tempo e no espaço, cujas informações possibilitam a obtenção de outros atributos de solo (Scott, 2000). Por meio da curva de retenção, determinada experimentalmente para cada horizonte e solo, é possível obter modelos de transporte de solutos na região não saturada do solo que permite monitorar a qualidade do ambiente na subsuperfície.

Os métodos para elaboração de curvas de retenção de água no solo são muitos, no entanto, são grandes demandantes de tempo (Schuh *et al.*, 1988; Williams *et al.*, 1992), alguns necessitam de equipamentos onerosos (Wosten e van Genuchten, 1988) e raramente adequados e disponíveis (Schuh *et al.*, 1988; van den Berg *et al.*, 1997) e outros ainda, fazem uso de amostras deformadas, o que não reflete a realidade do campo (Oliveira e Sarvasi, 1997).

Na tentativa de eliminar e/ou minimizar tais limitações, pesquisadores têm desenvolvido equações de regressão estatística que relacionam características de retenção de água ou condutividade hidráulica com outras propriedades básicas de solo mais facilmente obtidas.

Em 1989, Bouma denominou as equações mencionadas acima de Funções de Pedotransferência (FPTs), que segundo Oliveira *et al.* (2002) têm sido empregadas atualmente no sentido mais abrangente, designando equações que estimem parâmetros edáficos que tomam por base até mesmo características morfológicas.

Todavia, equações construídas utilizando-se análise de redes neurais artificiais (RNA) têm sido desenvolvidas por serem mais precisas que as regressões estatísticas na estimativa da retenção de água, nas quais os dados provêm de propriedades básicas de solo (Pachepsky e Timlin, 1994; Schaap e Bouten, 1996; Pachepsky *et al.*, 1996).

Diante deste contexto, estimar curvas de retenção de água no solo em escala de microbacia hidrográfica poderá proporcionar reduções de custos e impactos ambientais, uma vez que tal conhecimento possibilitará a implantação de técnicas adequadas de manejo do solo e da água. Ainda mais quando essas curvas são elaboradas com base em parâmetros de solo obtidos de maneira rápida e mais precisa, graças ao emprego de novos métodos e equipamentos.

2.2 Métodos não convencionais de medidas de parâmetros físicos de solo

Nos últimos anos, a pesquisa em física do solo tem resultado no desenvolvimento de soluções analíticas ou numéricas que redundaram em uma grande variedade de novos métodos (Raats, 2001) que descrevem o estado e o movimento da água em solos saturados e não saturados, com precisão e segurança para a realização de medidas de fenômenos de fluxos e de parâmetros de solo (Hillel, 1998).

Sob condições práticas, a maior parte da movimentação de água no solo ocorre quando os poros não estão completamente saturados, ou seja, condição em que os macroporos encontram-se, em sua maioria, ocupados por ar e os microporos com água e certa quantidade de ar. Por isso os fatores que exercem influência sobre a direção e movimento do fluxo não saturado estão relacionados à condutividade hidráulica e à força motora, que é, nesse caso, o gradiente de pressão, ou seja, a diferença de tensão entre uma zona de solo e outra adjacente (Brady, 1989).

O entendimento e a predição do fluxo de água no solo são essenciais em projetos de irrigação e drenagem, poluição e conservação do solo e da água (Pauletto *et al.*, 1988; Prevedello *et al.*, 1995; Lobato *et al.*, 1998; Hillel, 1998). Contudo, a determinação dessas propriedades no campo é laboriosa, demorada e de alto custo (Mualem, 1986).

Para caracterizar o comportamento hidráulico dos macroporos na região de fluxo a estrutura do solo é crucial, enquanto que a textura tem o principal impacto naquelas propriedades hidráulicas controladas pelos microporos (Lin *et al.*, 1999). Conseqüentemente, a aproximação clássica usando dados granulométricos, densidade do solo e a quantidade de carbono orgânico são insuficientes para predizer os parâmetros hidráulicos estudados, exceto para as taxas de fluxo nos microporos.

A seguir são apresentadas técnicas e metodologias desenvolvidas e/ou validadas para as condições tropicais. Tecnologias da fronteira do conhecimento científico, que começam a

preencher a lacuna de informações e conhecimentos necessários ao monitoramento, por conseguinte, as avaliações e estimativas das variáveis agro-ambientais que possam impactar negativamente os recursos edafo-hídricos.

2.2.1 Análise granulométrica baseada na atenuação de raios gama

A origem do solo é a rocha, que por ação de processos químicos, físicos e biológicos (intemperização) se transformou no decorrer das eras geológicas em material poroso de características peculiares (Reichardt e Timm, 2004).

Bertoni e Lombardi Neto (2005) afirmam que solos muito diferentes em suas características contrastam no seu uso e manejo e o conhecimento das peculiaridades de cada tipo de solo é que condiciona o seu melhor aproveitamento.

A primeira característica que diferencia os solos é o tamanho das partículas que os compõem, cuja diversidade é muito grande (Pinto, 2002). A distribuição do tamanho das partículas de um solo define sua textura (Reichardt e Timm, 2004).

Como o meio poroso é o solo, suas propriedades mais importantes são a distribuição, ou seja, a forma de suas partículas, a superfície específica, a porosidade, enfim, todas as propriedades que têm reflexo na sua geometria porosa. E a facilidade com que um fluido é transportado através de um meio poroso depende tanto das propriedades do meio como do fluido. (Libardi, 2000). Portanto, o sistema poroso exerce influência sobre os processos de transporte e armazenamento de água e, conseqüentemente, na absorção e reação dos solutos (Crestana e Vaz, 1998).

A estrutura do solo, sobretudo para as propriedades hidráulicas de solos brasileiros, requer entendimento especial, graças à relativamente baixa quantidade da fração silte, quando comparada com solos de regiões de clima temperado (Tomasella *et al.*, 2003). Dessa forma, conhecer a distribuição do tamanho de partículas do solo é de extrema importância, tendo em vista seus inúmeros empregos, dentre eles destacam-se aqueles voltados ao estudo de processos aluvionais de sedimentação (Oliveira *et al.*, 1997), como indicador da qualidade do solo, sob os aspectos de drenagem, erosão, adsorção de nutrientes e pesticidas (Vaz *et al.*, 1996a), além de orientar agrônomos e agricultores na aplicação de herbicidas e fertilizantes (Vaz *et al.*, 1999). Em Ciência do Solo a distribuição do tamanho das partículas é freqüentemente empregada na determinação da textura deste (Gee e Bauder, 1986). Esse parâmetro baseia-se em diferentes combinações de areia, silte e argila, que separadas resultam na distribuição do tamanho das partículas de uma amostra de solo, que podem variar de milímetros até menos de um micrômetro.

Considerando que a distribuição do tamanho de partículas é a propriedade física mais importante de um solo, já que influencia a maioria de suas propriedades físicas (Skopp, 2000), vários sistemas de classificação de tamanho têm sido usados para definir arbitrariamente limites do tamanho das partículas do solo. Entre essas estão as técnicas tradicionais de determinação da granulometria do solo, pipeta e densímetro de Bouyoucos (Gee e Bauder, 1986), que são relativamente simples e de baixo custo, entretanto apresentam algumas limitações e desvantagens, como: perturbar o meio (partículas em sedimentação); não possibilitam a distribuição detalhada e contínua (curvas) dos diâmetros das partículas do solo; a porcentagem de areia é determinada à parte, por peneiramento (Crestana, 1994; Vaz *et al.*, 1996b; Vaz *et al.*, 1997), além de requerer maior perícia e tempo do operador, não permitindo a automação de análises (Vaz *et al.* 1999; Naime *et al.*, 2001).

Com o desenvolvimento do analisador granulométrico (Vaz *et al.* 1999; Naime *et al.*, 2001) para medida da distribuição do tamanho de partículas de solo as desvantagens citadas anteriormente foram eliminadas. A principal medida do analisador granulométrico é a determinação da curva de distribuição dos diâmetros de partículas (2 μ m a 2 mm) em 20 minutos de análise em cada amostra (Angelotti Netto *et al.*, 2004a). Conjuntos de 10 amostras podem ser analisados automaticamente. Adicionalmente, o analisador estima a densidade de partículas em apenas 5 minutos de análise e se mostrou fundamental para medir precisa e rapidamente a densidade e o conteúdo de água no solo (Naime *et al.*, 2003; Vaz, 2003).

A técnica da determinação granulométrica por atenuação de raios gama foi introduzida por Vaz *et al.* (1992) e modificada por Oliveira *et al.* (1997) que teve seu uso intensificado e relatado em vários trabalhos, dentre eles Vaz *et al.* (1999) que propuseram a utilização rotineira do analisador granulométrico para determinar a distribuição do tamanho das partículas de solo e Naime *et al.* (2001) que constataram excelente correlação do método de radiação gama com o método da pipeta em sete horizontes diferentes de solos.

Angelotti Netto *et al.* (2004a) reuniram alguns trabalhos em que é comparada a técnica de determinação granulométrica por raios gama com os métodos convencionais. Esses autores consideraram que o analisador fornece resultados da composição granulométrica análogos aos métodos tradicionais. Tal inferência teve como base os resultados dos trabalhos de Vaz *et al.* (1996a), Vaz *et al.* (1997), Vaz (2003) e (Martin *et al.*, 2003). Vaz *et al.* (1997) compararam a técnica da atenuação da radiação gama com o método da pipeta utilizando um conjunto de 14 amostras de solo de diferentes texturas (arenosa a argilosa). As correlações lineares obtidas foram altas, em ordem decrescente: argila, areia e silte com 0,994; 0,986 e 0,935, respectivamente. Ao passo que a correlação para todas as frações juntas foi de 0,993. Vaz *et al.* (1996a) também obtiveram resultados similares entre os métodos da pipeta e radioativos, proporcionando uma

classificação textural idêntica para os solos analisados. Vaz (2003) comparou a técnica de raios gama com o método do densímetro empregando amostras de seis solos em quatro profundidades cada (24 amostras). Verificou um bom coeficiente de correlação linear ($r^2 = 0,94$ com RMSE = 5,03) para todas as frações juntas.

Em uma avaliação dentro do Programa de Qualidade de Laboratórios de Solos (PQLS) o analisador granulométrico obteve índice de excelência 18% maior que os métodos da pipeta e do densímetro (Martin *et al.*, 2003).

2.2.2 Penetrômetro combinado à sonda de TDR

A resistência do solo à penetração de raízes (RP) é outro importante parâmetro, que além de influenciar a penetração e crescimento das raízes, também interfere no movimento de água, no controle de nutrientes e no transporte de contaminantes abaixo da zona radicular. De acordo com Vaz *et al.* (2002) a RP pode ser utilizada como uma medida da compactação dos solos. Um solo compactado pode causar a diminuição da altura das plantas, suscetibilidades a períodos secos de curta duração, formação de camada impermeável, dificultando a infiltração da água e a aeração do solo (Vaz *et al.*, 1996c) e conseqüentemente um maior volume de escoamento superficial. Tormena e Roloff (1996) comentam que a mensuração ideal da resistência seria aquela efetuada por meio de métodos diretos, mas em razão das dificuldades práticas os pesquisadores têm utilizado o penetrômetro em seus estudos. As principais vantagens desse equipamento são a facilidade e a rapidez na obtenção dos resultados com a possibilidade de um número maior de repetições.

O penetrômetro de impacto é a forma mais comum para avaliar a RP, caracterizada pela força necessária para conduzir um cone de tamanho específico para dentro do solo, expressa como índice de cone (Bradford, 1986). O índice de cone tem inversamente boa correlação com medidas do crescimento radicular, variando inversamente a elongação com o crescimento radicular (Tormena e Roloff, 1996).

Dentre as características de solo que interferem na RP, a umidade e a densidade do solo são as mais significativas (Vazquez *et al.*, 1991). Dessas, a umidade é o fator predominante que influencia a força requerida para inserir o cone de um penetrômetro através do perfil do solo (Vaz *et al.* 2002). Em razão da forte dependência do conteúdo de água do perfil, a RP aumenta à medida que decresce o teor de umidade (Shaw *et al.*, 1942; Vaz *et al.*, 1996c). As medidas com penetrômetros não devem ser realizadas em solos muito úmidos, uma vez que não há diferenciação da medida, e tampouco em solos muito secos, visto que a medida é demorada e dificultada pela excessiva resistência deste (Vaz *et al.* 2002).

Com a associação de um sensor para medida da umidade por reflectometria no domínio do tempo (TDR) a um penetrômetro, Vaz & Hopmans (2001) eliminaram a complexidade na interpretação de dados obtidos com penetrômetro em razão das medidas de conteúdo de água não serem tomadas no mesmo local das medidas de resistência à penetração. A técnica da TDR é a técnica mais atrativa entre as disponíveis para medir a quantidade de água no solo (Vaz e Hopmans, 2001), em razão das diversas características favoráveis, como alta exatidão, não-utilização de radiação ionizante, pequena influência da salinidade do solo (quando a condutividade elétrica não for muito elevada), da densidade, da textura e da temperatura do solo e ainda, pela possibilidade de automação e multiplexação de um grande número de sensores em um único equipamento (Manieri *et al.*, 2007). Essa técnica é utilizada para estimar rapidamente, e de maneira não-invasiva (Manieri *et al.*, 2007) tanto o conteúdo de água (Conciani *et al.*, 1996; Ponizovsky *et al.*, 1999), infiltração (Timlin e Pachepsky, 2002) e a condutividade hidráulica (Caron *et al.*, 2002), como avaliar, *in situ*, o processo de transporte de água e movimento de substâncias químicas através da zona não saturada do solo (Vogeler *et al.*, 2000; Nissen *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2002).

A técnica da TDR baseia-se na determinação do tempo de propagação t (s) de ondas eletromagnéticas em uma sonda metálica inserida no solo. Com a medida de t é possível determinar a constante dielétrica (ϵ), que é uma média ponderada das constantes dielétricas das partículas do solo ($\epsilon_{\text{part}} \approx 3-5$), da água ($\epsilon_{\text{água}} = 80$) e de ar ($\epsilon_{\text{ar}} = 1$), com a equação: $\epsilon = (c t / L)^2$, em que c (m s^{-1}) é a velocidade da luz no vácuo e L (m), o comprimento da sonda metálica (Topp *et al.*, 1980). Com a variação da quantidade de água no solo ocorre a variação da constante dielétrica e, por meio de uma calibração experimental entre ϵ e θ , é possível utilizar esse método na determinação da umidade de solos (Manieri *et al.*, 2007).

Vários tipos de sondas de TDR têm sido desenvolvidas e utilizadas, tais como as sondas coaxiais (Topp *et al.*, 1980) de duas, três e quatro hastes (Conciani *et al.*, 1996), espirais (Vaz e Hopmans, 2001) e segmentadas (Conciani *et al.*, 1996), que podem realizar medidas vertical ou horizontalmente (Nadler *et al.*, 2002). Considerando que o tamanho das sondas convencionais (lineares) devem ser de no mínimo 10 cm para obter medidas exatas, a configuração proposta por Vaz e Hopmans (2001) é particularmente interessante, já que possibilita a construção de minissondas, com comprimento de poucos centímetros (Manieri *et al.*, 2007).

2.2.3 Tomografia computadorizada

Como visto anteriormente, a curva de retenção de água no solo é indispensável para inúmeros estudos multidisciplinares, e considerando que os métodos para sua determinação são

limitados, a técnica da tomografia computadorizada apresenta-se como uma ferramenta dedicada ao conhecimento das propriedades físicas do solo, dentre elas a retenção de água.

Em contraste com a representação bi-dimensional obtida pela radiografia, a técnica da tomografia computadorizada foi desenvolvida nas ciências médicas no final dos anos 60 e início dos 70 por Hounsfield (1973¹) apud Wildenschild *et al.* (2002). No Brasil a tomografia computadorizada foi introduzida em Ciência do Solo por Crestana (1985) e Crestana *et al.* (1992).

A TC fornece imagens de seções transversais de amostras de solo, de forma não invasiva, isto é, não perturba a amostra, uma vez que se utiliza do princípio da atenuação ou da interação da radiação com o interior dos meios materiais (Crestana, 1994). A tomografia basicamente pode ser efetuada em amostra de qualquer forma, que se move em relação a um feixe de radiações fixo, onde várias medidas paralelas são tomadas ao longo de um plano (corte) da amostra (Reichardt e Timm, 2004).

A tomografia computadorizada por transmissão é o processo de obtenção da imagem reconstruída da seção transversal ou fatia de um corpo, utilizando-se um equipamento externo, controlado por computador. O processo ocorre através de múltiplas projeções obtidas de quaisquer radiações ou partículas com energia suficiente para passar através do corpo de interesse (Figura), dentre as quais podemos citar raios X, raios γ e ondas ultra-sônicas. À medida em que um feixe radioativo atravessa uma amostra, ele é atenuado devido às interações da radiação com a matéria (Naime, 2001).

Para radiação monocromática com uma intensidade incidente I_0 , a radiação x irradiada é atenuada após passar através da amostra de espessura D (L), para conseguir uma intensidade atenuada I , com a magnitude descrita pela lei de Lambert-Beer (Wildenschild *et al.* 2002):

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu x) \quad (1)$$

onde μ é o coeficiente de atenuação linear representativo da amostra (L^{-1}). Para uma amostra homogênea, μ [L^{-1}] é caracterizado pela energia da radiação incidente, além das propriedades físicas da amostra. O μ de um material indica a probabilidade de ocorrência de absorção ou espalhamento da radiação, de uma determinada energia, por unidade de comprimento do caminho que o feixe radioativo percorre neste material. Para ter-se um parâmetro que caracteriza uma amostra independente de sua massa específica (ρ), define-se o coeficiente de atenuação em massa $\mu^*[L^2.M^{-1}]$ como a divisão de μ pela massa específica (Naime, 2001).

¹ Hounsfield, G.N. Computed transverse axial scanning (tomography). I. Description of system. Br. J. Radiol. 46, 1016. 1973.

Figura 5. Plano de uma varredura axial da tomografia computadorizada (Naime, 2001).

Considerando-se uma amostra heterogênea (Figura), os fótons que percorrem a amostra nas diversas direções encontram em seus caminhos elementos de volume com diferentes valores de massa específica. Portanto, os fótons emergentes são proporcionais à integral de todos os $\mu(x,y)$ do caminho L . Substituindo esta integral na eq.(1) e denominando l a medida de distância sobre L temos (Naime , 2001):

$$I = I_0 \cdot \exp \left[- \int_L \mu(x,y) dl \right]. \quad (2)$$

Portanto, as medidas de I e I_0 permitem calcular $\ln(I_0/I)$, raio-soma no caminho L .

O conjunto de raios-soma formam uma projeção do objeto em uma dada direção. Durante a varredura tomográfica, as projeções são obtidas em várias posições angulares igualmente espaçadas até completar 360° (3ª geração). A partir dessas projeções é possível reconstruir matematicamente a imagem do objeto, i.e., os valores de $\mu(x,y)$ são calculados para cada ponto do plano tomográfico e uma imagem pode ser associada a estes valores distribuídos em uma escala de cinzas ou cores (Naime, 2001).

Figura 6. Caminhos L percorridos pelos fótons de um feixe em leque (Naime, 2001).

Naime (2001) explicitou duas diferenças básicas entre a tomografia computadorizada e os outros métodos já desenvolvidos para determinação da retenção de água da seguinte forma:

“Primeiramente, os dados obtidos no perfil não são potenciais hidráulicos e sim valores de umidade. Teoricamente, isto não é importante porque a solução numérica da equação de Richards fornece o potencial da água e a umidade do solo. A segunda diferença está no tempo em que as medidas são feitas. Enquanto que nos métodos tradicionais de medida do perfil os potenciais da água ao longo do perfil são medidos simultaneamente, a tomografia fornece umidades em tempos diferentes. Isto também não é teoricamente importante, porque a solução numérica da equação de Richards pode ser obtida em diferentes profundidades em qualquer tempo. Portanto, os parâmetros do modelo “retenção-condutividade” podem ser gradualmente ajustados para produzir a solução numérica para os dados obtidos em diferentes profundidades em momentos diferentes”.

A técnica da tomografia computadorizada já comprovou, por meio de vários trabalhos em Ciência do Solo, sua adequabilidade para a realização de estudos não destrutivos de compactação de solo (Crestana, 1994 e Pedrotti *et al.*, 1995), infiltração de água (Crestana, 1990), condutividade hidráulica (Naime, 2001), fluxo preferencial, transporte de solutos (Crestana e Vaz, 1998; Perret *et al.*, 2000), fluxo bi e tridimensionais (Perret *et al.*, 1999), distribuição da água (Crestana e Posadas, 1996), caracterização da macroporosidade (Perret *et al.*, 1997; Perret *et al.*, 1998) e conteúdo de água (Crestana *et al.*, 1992; Crestana e Vaz, 1998).

O tomógrafo de raios gama (Naime, 2001) é um equipamento utilizado para determinar características hídricas do solo como a curva de retenção de água, a condutividade hidráulica não saturada e a sortividade. Essa ferramenta é suficientemente rápida para acompanhar a infiltração de água no solo, o que permitiu o desenvolvimento de uma nova metodologia para determinar a curva completa de retenção de água e a condutividade hidráulica do solo em apenas 4 horas de análise. É um tempo relativamente muito curto se comparado aos métodos convencionais que levam em média um mês, dependendo do tipo de solo (Angelotti Netto *et al.*, 2004a).

Vale lembrar que esses equipamentos não estão disponíveis comercialmente e, se estivessem, os custos para adquiri-los provavelmente seriam altos, no entanto, esses estiveram à disposição desta pesquisa.

2.3 Funções de Pedotransferência

Considerando a demanda de informação de apoio à agricultura sustentável e à melhoria da qualidade da terra, a utilidade do levantamento de solos não pode se restringir apenas em gerar

dados de levantamento e distribuição geográfica das classes de solos, mas também prover a distribuição espacial quantitativa das propriedades dos solos (Minasny *et al.*, 2003).

Várias têm sido as propostas para obtenção da condutividade hidráulica e da retenção de água no solo, uma vez que essas propriedades são relativamente difíceis de serem avaliadas (Pauletto *et al.*, 1988; Dirksen, 1999). Segundo van den Berg *et al.* (1997) algumas equações podem fornecer um ajuste global bom para curvas de retenção, contudo, podem ocasionar baixa precisão em estimativas de conteúdos de água em potenciais particulares no solo.

Considerando a estreita relação entre características de retenção de água e outros parâmetros edáficos facilmente mensuráveis, pesquisadores como Saxton *et al.* (1986), Meng *et al.* (1987), Rawls *et al.* (1991), Kern (1995), van den Berg *et al.* (1997) e Tomasella *et al.*, (2000), dentre outros, elaboraram as Funções da Pedotransferência (FPTs) que permitem estimar as propriedades hidráulicas anteriormente mencionadas, especialmente curvas de retenção de água, que caracterizam a dependência da quantidade de água ao potencial mátrico (Minasny e McBratney, 2002; Tomasella *et al.*, 2003). Termo introduzido por Bouma (1989) para se referir às equações de regressão que relacionam características de retenção de água ou condutividade hidráulica com outras propriedades básicas de solo mais facilmente obtidas. De acordo com Oliveira *et al.* (2002) esta denominação é empregada atualmente no sentido mais abrangente, designando equações que estimam parâmetros edáficos de difícil obtenção a partir de outros mais facilmente obtidos, incluindo, características morfológicas.

Contudo, Minasny *et al.* (2003) alertam para a necessidade de se definir dois princípios básicos de FPTs, evitando o mau uso do conceito pedotransferência.

“Primeiro princípio de FPTs é: Não prognosticar algo que é mais fácil e mais barato medir ou determinar.

Como o objetivo de funções de pedotransferência é prever propriedades cujas medidas ou determinações diretas são difíceis, laboriosas ou muito caras, os preditores devem ser de obtenção fácil ou barata. O custo e o esforço para obter a informação sobre o preditor deverão ser menores do que o de obter a informação sobre o que se pretende prever.

Em outras palavras, se definirmos eficiência (Minasny e McBratney, 2002) como:

Eficiência 1 = qualidade da informação/esforço

Eficiência 2 = qualidade de informação/custo,

a razão entre a eficiência dos prognósticos em relação à eficiência dos preditores deve ser maior que 1 para justificar uma FPT eficiente. Isto também implica que a qualidade da informação de uma FPT deverá ser mais alta (ou a informação deverá ser mais útil) que o preditor. Este princípio se aplica ao uso de dados existentes, disponíveis, para prever valores inexistentes (não medidos ou determinados).

Um exemplo típico é a predição da densidade do solo, que embora reconhecida sua utilidade para cálculo de outros atributos dos solos, em relação à massa e ao volume, e ser um preditor chave no prognóstico de retenção de água, raramente é determinada durante a execução de levantamento de solos.

Isto é assim principalmente porque, no passado, o propósito principal dos levantamentos de solos foi produzir mapas de classes de solos e a maioria das variáveis analisadas era tão somente para fins de classificação de solos.

Embora custem mais as determinações de argila e matéria orgânica, os modelos que predizem densidade do solo a partir do teor de argila e de carbono orgânico são considerados FPT eficientes. Isso porque usa dados existentes em relatórios de levantamentos para predizer uma variável perdida, que não foi determinada.

No entanto, predizer a condutividade hidráulica saturada (K_s) de um solo, a partir de suas características estruturais, mensuradas através de análise de imagens, não constituiria uma FPT eficiente. Embora haja uma boa relação entre os parâmetros de análise de imagem e K_s , exige mais esforço em usar técnicas de análise de imagem, a menos que a tecnologia melhore substancialmente. A previsão de K_s , a partir de morfologia de campo é, no entanto, um exemplo de FPT eficiente.

Princípio 2- Incerteza

Não usar FPTs, a menos que se possa avaliar a incerteza associada e, para um determinado problema, se um conjunto de FPTs alternativas está disponível, usar aquela com menor variância.

O Princípio 2 implica dois sub-princípios,

-a incerteza das FPTs deve ser quantificada e

-se um conjunto de FPTs alternativas está disponível, usar aquela com menor variância.

Foram desenvolvidas muitas FPTs para predizer as mesmas ou similares propriedades dos solos.

Na Austrália, por exemplo, pelo menos 10 funções encontram-se disponíveis para a predição de retenção de água, enquanto que no âmbito mundial, há mais de 100 funções para estimar esta propriedade. Então, é mais prudente escolher a função que tenha o menor erro de variância ou que se ajuste melhor ao tipo de solo. Alternativamente, alguma análise Bayesiana poderia ser usada para prover a estimativa mais provável, ou todas as estimativas poderiam ser combinadas com pesos inversamente proporcionais às suas incertezas.

A incerteza de uma FPT pode ser devida à incerteza do modelo e à incerteza nos dados de entrada (input). A incerteza associada a um modelo pode ser calculada pelo método não paramétrico “bootstrap” (auto-suficiente), conforme Efron e Tibshirani (1993), ou pela análise de

primeira ordem, se as FPTs são geradas pelo método dos quadrados mínimos. A incerteza nos dados entrada pode ser facilmente computada usando o método de simulação Monte Carlo. Deve-se também minimizar a extrapolação de propriedades do solo.”

Segundo Minasny *et al.* (2003) no Brasil são encontrados poucos resultados de pesquisa em pedotransferência. Na Tabela 11 são relacionados alguns exemplos de funções de pedotransferência desenvolvidas para solos brasileiros.

Tabela 1. Exemplos de Funções de Pedotransferência desenvolvidas para solos Brasileiros (modificado de Minasny *et al.*, 2003).

Variáveis preditas	Preditores	Tipo e localização do solo	Referências
Condutividade hidráulica	Curvas de retenção de água	Latossolos Amarelos caulínicos da Amazônia	Tomasella <i>et al.</i> (1997)
Parâmetros de Brooks - Corey	Textura, densidade do solo, porosidade, teor de água	Amazônia Brasileira	Tomasella e Hodnett (1998)
Água retida no solo entre 10 e 1,5 kPa	Granulometria, densidade do solo	Ferralsols do Brasil	van de Berg <i>et al.</i> (1997)
Relações entre a equação de van Genuchten e parâmetros de retenção de água	Textura, carbono orgânico, umidade equivalente, densidade do solo	Dados gerais de relatórios de levantamentos de solos do Brasil	Tomasella <i>et al.</i> (2000)
Mineralogia de argilas e retenção de água	Carbono orgânico	Solos do semi-árido do Nordeste do Brasil e África Ocidental	Gaiser <i>et al.</i> (2000)
Umidade solo nos a -33 e -1500 kPa e água disponível	Textura e densidade de solos	Solos do Estado de Pernambuco	Oliveira <i>et al.</i> (2002)
Parâmetros da equação de van Genuchten	Textura, carbono orgânico umidade equivalente e densidade do solo	Levantamento de solos do Brasil	Tomasella <i>et al.</i> (2003)

Para Minasny *et al.* (2003) o desenvolvimento de funções de pedotransferência é impulsionado pela existência de grandes bancos de dados de solos, que possibilitam o uso de ferramentas de busca de dados.

Uma FPT tende a ser tão mais precisa quanto mais homogêneos forem os solos que compõem a base de dados e quão mais próximos destes estiverem os que terão seus dados estimados (Oliveira *et al.*, 2002). A utilização de amostras deformadas de solo para elaboração das pedofunções não é a condição ideal, visto que a água retida pelo solo, sobretudo na capacidade de campo, é influenciada também pela estrutura, e alterações na mesma podem limitar, em muito, a exatidão dos resultados obtidos (Vereecken *et al.*, 1989). Nesse sentido, Minasny *et al.* (2003) afirmam que: “ a heterogeneidade de dados pode causar uma performance apenas razoável das funções de pedotransferência, em razão da variação na predição não estar

vinculada somente à limitação do modelo, mas também à incompatibilidade dos dados”. Ainda segundo esses autores, a priori, deve-se utilizar FPTs já desenvolvidas, mas a validade de uma determinada FPT não deve ser interpolada ou extrapolada além do ambiente pedológico em que foi elaborada.

As FPTs são usadas em modelos aplicados em várias escalas (Pachepsky *et al.*, 1999). Entretanto, o seu uso mais adequado relaciona-se a estudos em escala regional ao invés de aplicações em locais específicos (Lin *et al.*, 1999). A utilização de pedofunções deve basear-se em calibrações locais porque as equações obtidas de outros trabalhos demonstraram baixa capacidade preditiva (Coelho *et al.*, 1998), constatação também realizada por Meng *et al.* (1987), Oliveira *et al.* (2002) e Tomasella *et al.* (2003). O mesmo ocorre com modelos de transporte de água e solutos desenvolvidos e testados em pequenas escalas e empregados em escalas maiores, como por exemplo, em uma bacia hidrográfica (Eskes e Crestana, 1996).

Como foi possível observar, desenvolver novas FPTs requer uma ampla base de dados de solos. Dessa maneira, em primeira instância deve-se utilizar FPTs já disponíveis, mas vale lembrar que a validade de uma determinada FPT não deve ser interpolada ou extrapolada além do tipo de solo em que foi desenvolvida (Minasny *et al.* 2003).

2.4 Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNAs), também conhecidas como sistemas de processamento paralelo e distribuído, é caracterizada por arranjos que lembram a estrutura do cérebro humano (Braga *et al.*, 2000). De acordo com Minasny e McBratney (2002) uma rede neural é uma tentativa de construção de modelos matemáticos que supostamente trabalhem em caminhos análogos ao cérebro humano.

O primeiro modelo artificial de um neurônio biológico foi fruto do trabalho de McCulloch e Pitts em 1943. Contudo, esse trabalho se concentrou mais em descrever um modelo artificial de um neurônio e apresentar suas capacidades computacionais do que em apresentar técnicas de aprendizado (Braga *et al.*, 2000).

O modelo mais simples de rede neural, conhecido como perceptron, foi apresentado por Frank Rosenblatt em 1958, no qual várias unidades de processamento estão conectadas unicamente a uma unidade de saída através dos pesos sinápticos (Galvão e Valença, 1999). No entanto, esse modelo recebeu fortes críticas em 1969 dos pesquisadores Minsky e Papert citados por Braga *et al.* (2000), quanto à sua capacidade computacional, já que é capaz de classificar apenas padrões linearmente separáveis, ou seja, problemas cuja solução pode ser obtida dividindo-se o espaço de entrada em duas regiões por meio de uma reta (Braga *et al.*, 2000).

Somente em 1982, com o trabalho de Hopfield, é que foram retomadas as pesquisas na área. E, mais tarde em 1986, com a descrição do algoritmo de treinamento *backpropagation*, Rumelhart e colaboradores demonstraram que as RNAs Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP) são capazes de resolver “problemas difíceis de aprender”. RNAs com duas camadas intermediárias podem implementar qualquer função, seja ela linearmente separável ou não (Braga *et al.*, 2000).

As RNAs possuem a capacidade de aprender por exemplos e fazer interpolações a extrapolações do que aprenderam. Por isso, são empregadas em uma gama muito variada de estudos, dentre eles, os que predizem fenômenos de transporte em solos (Pachepsky e Timlin, 1994), retenção de água em potenciais específicos (Pachepsky *et al.*, 1996; Pachepsky *et al.*, 1997), planejamento de transportes rodoviários (Bocanegra, 2002), modelos de parâmetros hidráulicos e otimizar FPTs para ajustar conteúdos de água estimados e medidos (Minasny e McBratney, 2002) previsão de defeitos em estradas vicinais (Nunes, 2003), mineração de dados e diagnóstico ambiental (Pereira, 2005), previsão de incidência de dengue (Strini, 2006), estudo de relações entre propriedades do solo (Timm *et al.*, 2006), estimativa de produtividade agrícola (Picoli, 2006). Esse último usando conjuntos de redes, denominados *ensembles*.

A utilização de uma RNA na solução de uma tarefa inicia-se por uma fase de aprendizagem, que é quando a rede extraí informações relevantes de padrões de informação apresentados a ela e cria uma representação própria para o problema (Braga *et al.*, 2000). A aprendizagem em RNAs foi definida (Mendel e McLaren, 1970² apud Braga *et al.*, 2000) da seguinte forma:

“A aprendizagem é um processo pelo qual os parâmetros livres de uma rede neural são adaptados por meio de um processo de estimulação pelo ambiente no qual a rede está inserida. O tipo de aprendizagem é determinado pela maneira pela qual a modificação dos parâmetros ocorre”.

O processo de aprendizado de uma RNA é composto basicamente por duas fases distintas: fase de treinamento e fase de validação.

Na fase de treinamento o conhecimento é induzido nos pesos das conexões por meio de um algoritmo de treinamento ou aprendizado. Algoritmo de treinamento é um conjunto de procedimentos bem definidos para adaptar os parâmetros de uma RNA com o objetivo de aprender alguma função específica. Os dados de treinamento fornecem os exemplos de referência e o algoritmo de aprendizado incorpora o conhecimento na RNA (Ferreira, 2005).

² Mendel, J.M.; McLaren, R.W. Adaptive, learning, and pattern recognition systems: theory and applications, chapter reinforcement-learning control and pattern recognition systems, pages. New York: Academic Press, 1970. p. 287-318.

O *backpropagation* possui, basicamente, três parâmetros que determinam seu desempenho e sua capacidade de aprendizagem: taxa de aprendizagem, *momentum* e o número épocas (Câmara, 2006).

O treinamento de uma rede neural nem sempre envolve uma função simples, em que a solução encontrada não corresponde ao erro mínimo, ou seja, a função pode apresentar mínimos locais, o que pode ocasionar uma parada durante o treinamento num destes mínimos que não corresponde à solução ótima. O elemento de fundamental importância neste processo é a taxa de aprendizagem que controla a velocidade de leitura e corresponde à taxa de convergência entre a solução atual e o mínimo global. Quanto à irregularidade da função erro (composta de diversos máximos e mínimos locais), uma das abordagens utilizadas para diminuir este risco consiste na introdução de um termo adicional chamado *momentum*, que tem por objetivo permitir o aumento da taxa de aprendizagem, sem que ocorram oscilações, bem como atuar no aumento da velocidade de convergência (Galvão e Valença, 1999).

A fase de validação, subsequente à fase de treinamento, tem o objetivo de verificar a capacidade de generalização da rede. E, o que se espera é uma rede com capacidade de generalização adequada que seja capaz de categorizar os dados de teste corretamente (Câmara, 2006).

3. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi:

Desenvolver Funções de Pedotransferência capazes de estimar a retenção de água no solo de uma microbacia hidrográfica por meio de análises em redes neurais artificiais. E, para que isso ocorresse, foram tomados por base parâmetros físicos de solo de mais fácil aquisição, tais como: granulometria, densidade e resistência do solo à penetração de raízes. A obtenção desses atributos foi efetuada utilizando-se métodos padrões, além de equipamentos e técnicas não convencionais, desenvolvidos e construídos na Embrapa Instrumentação Agropecuária, que estiveram à disposição deste plano de trabalho.

Específicos foram:

a) Estudar em diferentes condições de manejo os parâmetros físicos de quatro classes de solos da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachim, na qual se realizou a pesquisa.

b) Empregar as técnicas da tomografia computadorizada, atenuação de raios gama, penetrometria combinada à sonda de TDR, além de métodos tradicionais, para medir e avaliar em grande quantidade os atributos físicos dos solos estudados.

c) Desenvolver e empregar, após validação, as FPTs a partir de a e b .

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

A área de estudo está localizada na região central do Estado de São Paulo (Fig. 7), Planalto de São Carlos, na borda da linha de “Cuestas” areníticas da Serra Geral (Primavesi *et al.*, 1999). Está situada na microbacia hidrográfica do ribeirão Canchim (Fig. 7) que por sua vez insere-se na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Negros, a qual abrange os Municípios de São Carlos e Descalvado. Essa microbacia foi selecionada como objeto de estudo por estar inteiramente inserida na Fazenda Canchim, base física da Embrapa Pecuária Sudeste, facilitando, dessa forma, a realização de experimentos.

A Fazenda Canchim ocupa uma área de 2.662 ha e está localizada no sentido norte-nordeste da cidade de São Carlos, no Estado de São Paulo, entre os paralelos 21° 55' a 22° 00' de latitude sul e 47° 48' e 47° 52' a oeste de Greenwich. O Ribeirão Canchim é tributário da Bacia do rio Mogi Guaçu e rio Pardo (Calderano Filho *et al.*, 1998). O clima ocorrente conforme a classificação de Köppen é o Cwa (tropical de altitude), clima quente com inverno seco, no qual a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C a do mês mais quente ultrapassa 22°C (temperatura média anual de 21,2°C), com cotas altimétricas variando de 690 a 911 m. O relevo é plano a moderadamente ondulado, com declividade de 3 a 8%.

A precipitação pluvial média de 1993 a 1997 foi de 1354 mm. O excedente hídrico máximo mensal foi de 345 mm e a média anual, de 209 mm, concentrada de janeiro a março, o que representa uma perda anual de 2.090 m³ ha⁻¹ de água, representando grande risco de carreamento de partículas sólidas para os corpos d'água (assoreamento), especialmente por coincidir com o período de preparo de solo (Primavesi *et al.*, 1999).

A microbacia hidrográfica e a fazenda Canchim apresentam todas as classes de solos mais importantes que ocorrem na Região Sudeste, apresentando níveis naturais de fertilidade desde o álico (12,7% / 14,6%) até o eutrófico (21,2% / 11,3%) passando pelo distrófico (66,1% / 74,1%) – números entre parêntesis referem-se à microbacia hidrográfica e à fazenda, respectivamente - (Primavesi *et al.*, 1999).

Os solos selecionados e estudados foram classificadas por Calderano Filho *et al.* (1998) segundo a metodologia de Embrapa (2006) em: Latossolo Vermelho Eutrófico (LVe) e Distroférico (LVdf), Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef) e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) (Fig. 8).

Os Neossolos quartzarênicos e Argissolos Vermelho-Amarelos (horizonte A), embora presentes em grande parte da microbacia hidrográfica, quando submetidos a experimentos prévios de infiltração, foram incapazes de produzir resultados, uma vez que nesses solos (arenosos) a taxa de infiltração de água é alta e o tomógrafo ainda não é suficientemente rápido para acompanhar a frente de molhamento, definida como o limite visível da penetração da água, onde o gradiente de pressão $[\partial H/\partial z]$ é elevado, principalmente nos solos inicialmente secos (Naime, 2001). Tal restrição pode ser superada, segundo esse autor, com a substituição dos sistemas de detecção, que passariam a operar com feixe em forma de cone, permitindo a obtenção de imagens tridimensionais nas quais as varreduras são efetuadas em todos os planos de uma única vez.

Figura 7. Localização da área estudada (Primavesi *et al.*, 1999).

Figura 8. Classes de solo que ocorrem na fazenda Canchim (modificado de Primavesi *et al.*, 1999).

4.2 Determinações de parâmetros físicos de solo

As determinações físicas foram realizadas em três parcelas experimentais de 25 m², distribuídas em blocos ao acaso em cada classe de solo, alocadas em diferentes sistemas de manejo: sob cobertura vegetal, sem cobertura vegetal e sob mata. É oportuno destacar que as parcelas instaladas, em mata nativa, proporcionaram uma comparação entre áreas natural e manejada, com exceção da parcela sob mata no NVef, que após várias tentativas não foi possível analisá-lo.

Nos centros das parcelas abriram-se trincheiras de 1,2 x 1,0 x 1,0 m, respectivamente profundidade, largura e comprimento, onde coletaram-se amostras indeformadas de solo para

avaliação da densidade, retenção de água (método de Richards), porosidade total e deformadas para determinação da granulometria. As amostragens foram efetuadas nas profundidades de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,6 m, seguindo os procedimentos propostos por Lemos e Santos (2002). Ainda nessas mesmas trincheiras foram coletados os torrões para determinações de retenção e condutividade hidráulica pelo método da tomografia computadorizada.

Cabe salientar que as determinações de densidade (Embrapa, 1997) e de retenção de água no solo (método de Richards) foram realizadas no Laboratório do Departamento de Engenharia Rural Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), campus de Jaboticabal, SP.

Detalhes das metodologias empregadas em todas as determinações estão descritos em seus respectivos itens que se seguem.

4.2.1 Distribuição do tamanho de partículas

A determinação granulométrica foi realizada com o analisador granulométrico (Fig. 9), desenvolvido e construído na Embrapa Instrumentação Agropecuária (Vaz *et al.* 1999; Naime *et al.*, 2001), que após intenso trabalho de validação em campo, com diversos tipos de solos, foi adotado como padrão pela Embrapa.

O equipamento em questão é basicamente composto de uma fonte de raios gama do Amerício-241; colimadores em forma de fenda (1 mm de espessura, 15 mm de largura e 20 mm de profundidade); sistema de detecção e contagem da radiação gama, composto de detector de NaI, fonte de alta tensão, pré-amplificador, amplificador, discriminador e contador (Vaz *et al.*, 1997); um sensor de temperatura e um agitador (Naime *et al.*, 2001); sistema eletrônico microprocessado programado para controle de posicionamento da amostra, contagem de fótons, temporização e comunicação, via interface serial padrão RS 232, com computador pessoal; software para ambiente Windows® 95, responsável pela interface homem-máquina, comunicação com o sistema eletrônico, execução das rotinas de análise, cálculos, apresentação dos resultados em forma de gráfico e gravação e arquivos de dados e resultados; motor de passo para movimentação vertical da amostra (Vaz *et al.*, 1997).

A metodologia que subsidia a determinação da distribuição do tamanho de partículas do solo toma por base a atenuação de um feixe de raios gama - Lei de Beer-Lambert - (Eq. 3), com a qual é usada para calcular a concentração C (Eq. 3) em diferentes alturas da amostra (Naime *et al.*, 2001)

$$C = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I}\right)}{x \left(\mu_p^* - \frac{\mu_w^* D_w}{D_p} \right)} \quad (3)$$

onde x é a espessura interna do recipiente, I_0 (contagem por segundo, cps) o número de fótons que cruza o recipiente quando ele está preenchido com água e I (cps) quando ele está com solução de solo. Os parâmetros μ_p^* e μ_w^* ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) são os coeficientes de atenuação em massa do solo e água, respectivamente. Portanto, a taxa C a C_0 é obtida em porcentagem, enquanto C_0 é a concentração da solução homogênea (massa de partículas de solo por volume de solução) (Naime *et al.*, 2001).

Figura 9. Analisador granulométrico automático

No caso da granulometria, esse método é acrescido do princípio da sedimentação de partículas em um meio líquido - lei de Stokes – (Eq. 4) o qual depende da viscosidade e da aceleração da gravidade (Vaz *et al.*, 1997).

$$t = \left(\frac{18 h \eta}{d^2 g (D_p - D_w)} \right) \quad (4)$$

em que: η ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$) é a viscosidade da água, d o diâmetro das partículas correlacionadas a concentração e g a aceleração da gravidade.

No laboratório, as amostras de cada profundidade foram colocadas para secar à temperatura ambiente, peneiradas em malha de 2 mm (Embrapa, 1997), determinado o

coeficiente de atenuação em massa (Vaz *et al.*, 1997) e replicadas em cinco alíquotas de 0,04 kg. Vale salientar que o emprego da temperatura de 105⁰C para secar amostras de solo, como preconizado em vários trabalhos, não foi empregado neste estudo, já que em análises prévias foram constatadas distorções nas quantidades das frações argila, silte e areia em função do aquecimento do solo (Angelotti Netto *et al.*, 2004b). Como o solo seco à temperatura ambiente ainda continha água, quantificou-se essa umidade gravimetricamente em uma outra alíquota de 40 g de solo.

Após 24 horas em estufa a 105 °C, o solo foi pesado e seu valor (menor que 40 g) inserido como um dos dados de entrada do software responsável pela execução das análises granulométricas. O período de 24 horas e não de 48 foi adotado depois que a realização de ensaios prévios demonstrou que a quantidade de água retida em 40 g de solo seco à temperatura ambiente era a mesma nesses dois tempos.

Para o emprego do método da atenuação de raios gama, o coeficiente de atenuação em massa e a densidade de partículas do solo devem ser conhecidos.

A determinação do coeficiente de atenuação em massa foi obtido preenchendo-se um recipiente retangular de acrílico (0,05 x 0,05 x 0,08 m) com solo previamente seco e peneirado de cada profundidade e sistema de manejo. Esse recipiente foi pesado ainda vazio e medido o número de fótons transmitidos através do recipiente vazio (I_0) e com solo (I) e a espessura (x , cm) que o feixe percorre no interior da amostra (Pedrotti *et al.*, 2003). Para isso utilizou-se uma sub-rotina do programa para obtenção da distribuição do tamanho de partículas (Vaz *et al.*, 1997).

A densidade de partículas foi determinada a partir de uma correlação direta (experimental), já inserida no software, obtida entre o coeficiente de atenuação em massa e a densidade das partículas, com a qual essa última foi estimada (Vaz *et al.*, 1997). Vaz *et al.* (1999) descreveram a maneira como foi obtida a correlação experimental entre a densidade de partículas e o coeficiente de atenuação em massa, a qual resultou de medidas em 27 amostras de solo, variando de alto a baixo conteúdo de argila e matéria orgânica e diferentes mineralogias. Três amostras de cada solo foram medidas para ambos os parâmetros e suas médias foram usadas para obter a correlação experimental.

Um outro procedimento imprescindível efetuado foi a obtenção do “branco”, ou seja, medir a atenuação da radiação (por 24 horas) nas mesmas posições e recipientes (completados apenas com água destilada até a altura de 0,16 m), nos quais posteriormente foram efetuadas as medidas contendo a solução de partículas, água e NaOH, como descrito a seguir.

As dispersões química (Fig. 10) e física (Fig. 11) das partículas de solo de acordo com a metodologia descrita por Vaz *et al.* (1997), consiste, respectivamente, em adicionar 10 ml de

NaOH (1N) em cada alíquota de solo deixada em repouso por no mínimo 12 horas (Fig. 10), procedendo-se à dispersão das partículas de solo em um agitador, modelo 936-2 da Hamilton Beach, em média rotação por 15 minutos (Fig. 11).

Figura 10. Dispersão química das partículas de solo.

Após esse processo, a solução contendo partículas de solo, água e NaOH, foi transferida para recipientes retangulares de acrílico (0,05 x 0,05 x 0,2 m) ao qual acrescentou-se água destilada até que a solução atingisse a concentração de 100 g/l, ou seja, 0,16 m de altura (Vaz *et al.*, 1999).

Figuras 11. Detalhes da dispersão física das partículas de solo.

Os recipientes contendo essa solução foram colocados no analisador granulométrico (Fig. 12), o qual realizou as medidas de atenuação da radiação em intervalos de espaço e tempo previamente definidos, em diferentes alturas do recipiente contendo as partículas em sedimentação (Oliveira *et al.*, 1997). Somente as alturas 0,13 e 0,05 m abaixo da superfície da solução são consideradas para determinar os limites de diâmetros da areia/silte (50 μm) e silte/argila (2 μm), respectivamente (Naime *et al.*, 2001). O resultado foi um gráfico da porcentagem acumulada em função do tamanho das partículas (Fig. 13), o qual forneceu, com o

auxílio do software Origin® da Microcal, a porcentagem de argila, silte e areia de cada amostra de solo (Vaz *et al.*, 1997).

Figura 12. Vista do analisador realizando as medidas de atenuação dos raios gama no recipiente contendo as partículas de solo.

Figura 13. Gráfico da porcentagem acumulada em função do tamanho das partículas de solo.

4.2.2 Avaliação da densidade

A densidade do solo foi obtida coletando-se, de acordo com os procedimentos propostos por Lemos e Santos (2002), uma amostra indeformada de solo, em cada profundidade (0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,6 m), classe de solo e sistema de manejo. Tal método consistiu em cravar no solo

anéis de aço (Fig. 14) com volume conhecido ($5,20 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$), os quais após a remoção foram identificados e levados ao Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, para serem analisadas com o objetivo de obter, além de sua densidade, a retenção de água (Embrapa, 1997) pelo método convencional (Richards).

Figura 14. Vista dos cilindros no momento do encrave na lateral da trincheira para determinação da densidade e curvas de retenção.

No laboratório as amostras foram colocadas em estufa à temperatura de 105°C , até peso constante e a densidade do solo foi calculada pela fórmula:

$$\rho = m_s / V \quad (5)$$

em que:

ρ é a densidade (Mg m^{-3}), m_s a massa dos sólidos do solo (Mg) e V o volume (m^3).

4.2.3 Resistência mecânica do solo à penetração e conteúdo de água

A avaliação da resistência mecânica do solo à penetração e a quantidade de água foram determinadas com o penetrômetro desenvolvido por Vaz e Hopmans (2001), que possui uma sonda de TDR associado a ele (Fig. 15), o que permitiu a realização de medidas simultâneas de resistência à penetração (RP) e conteúdo de água, no mesmo ponto, com um único sensor. Ambas as medidas foram repetidas cinco vezes em cada sistema de manejo (parcela), e dessas obtidas a média.

Figura 15. Penetrômetro de impacto combinado com sensor de umidade por TDR (a) e detalhes da sonda espiral de TDR (b) (Vaz e Hopmans, 2001).

As determinações da umidade volumétrica do solo foram efetuadas com uma sonda espiral TDR constituída de dois fios de aço enrolados paralelamente ao redor de um cilindro de PVC, na extremidade de uma haste de aço de 0,60 m de comprimento. E, um cabo coaxial que conecta a sonda ao equipamento de TDR foi guiado por dentro da haste metálica para não atrapalhar sua inserção no solo (Manieri *et al.*, 2007).

No campo, as medidas foram efetuadas com a sonda espiral adaptada à haste metálica conectada a um penetrômetro marca Kamaq, modelo Stolf (Stolf, 1991). Ao redor do retângulo formado pela trincheira e com o auxílio do peso de impacto, a haste combinada com a sonda foi inserida no solo desde a superfície até 0,60 m de profundidade (Vaz e Hopmans, 2001 e Vaz *et al.*, 2001), em intervalos médios de 0,06 a 0,07 m, mediu-se a RMSP e a constante dielétrica. Tomou-se o cuidado de realizar tais medidas com a sonda combinada antes da abertura da trincheira, evitando assim, possíveis perturbações decorrentes da escavação do solo.

Após cada impacto, foram registradas a profundidade de penetração, leitura realizada na própria haste e a constante dielétrica, medida por meio do equipamento TDR100 da Campbell, conectados por interface serial a um computador tipo PC equipado com o software PC-TDR100, fornecido pelo fabricante.

A RP foi determinada considerando que a energia potencial do corpo metálico usado para o impacto é convertida em trabalho de penetração do cone no solo, seguindo a descrição de Vaz e Hopmans (2001) de acordo com a equação:

$$RP = \left(\frac{M \cdot g \cdot h}{A \cdot x} \right) \cdot \left(\frac{M}{M+m} \right) \cdot n + \frac{(M+m)}{A} \cdot g / 1000000 \quad (6)$$

onde:

RP é a resistência do solo à penetração (MPa)

M é a massa do peso (kg),

g a aceleração da gravidade (9,81 m/seg)

h a altura de deslocamento do peso (m)

A a área do cone (0,0001287 m²)

x o deslocamento do cone no solo (m)

m a massa do corpo (kg)

n o número de impactos

Os valores da constante dielétrica do solo foram convertidos em valores de umidade volumétrica (θ), utilizando-se as equações (eq. 7 e 8) que levam em consideração as quantidades de argila e silte (Manieri *et al.*, 2007):

$$\theta = 0,04391 + 0,03651 \cdot \varepsilon + (-2,04607 / \varepsilon)^2 \quad \text{argila + silte} < 50\% \quad (7)$$

$$\theta = 0,37478 + 0,00700 \cdot \varepsilon + (-4,41380 / \varepsilon)^2 \quad \text{argila + silte} > 50\% \quad (8)$$

na qual:

ε é a constante dielétrica no momento da leitura

Os valores de RP obtidos com a sonda combinada foram convertidos em valores obtidos com o penetrômetro convencional (Stolf, 1991) chamado de índice de cone (IC), uma vez que tais valores diferem em razão, provavelmente, do aumento da fricção entre o solo e a haste TDR, o que dificulta a inserção desta no solo, assim como observaram Vaz *et al.* (2001) ao estudarem a influência do conteúdo de água e densidade na resistência à penetração do solo usando cone e haste com TDR em espiral.

A conversão foi efetuada empregando-se a seguinte equação:

$$RP_{IC} = 0,16972 + 0,58477 \cdot RMSP_{TDR} \quad (9)$$

em que,

RP_{IC} é o valor da resistência do solo à penetração ajustado para o índice de cone,

RP_{TDR} é o valor da resistência do solo à penetração obtido com o penetrômetro associado à TDR.

4.2.4 Retenção de água

A retenção de água foi obtida de duas maneiras: a primeira (convencional) valendo-se do método padrão da câmara de pressão de Richards e a segunda (não convencional) empregando-se a técnica da tomografia computadorizada.

4.2.4.1 Método padrão

Tal metodologia consistiu em coletar amostras indeformadas de solo de acordo com os procedimentos propostos por Lemos e Santos (2002), nas profundidades de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,6 m, saturá-las e colocá-las na câmara de pressão, submetendo-as às tensões de 0,001; 0,033; 0,10; 0,30 e 1,5 MPa (Embrapa, 1997).

Obtidos os valores de umidade nas tensões já mencionadas por meio do método em questão, foram elaboradas as curvas de retenção de água no solo.

Outro parâmetro obtido a partir dessas análises foi a porosidade total, quantificada da forma tradicional, adotando-se as recomendações de Reichardt (1990), que consistiu em tomar os valores de umidade à saturação e deduzir-lhes os valores de massa dos sólidos do solo.

4.2.4.2 Tomografia computadorizada

A tomografia computadorizada - técnica não convencional (Naime, 2001) de medir parâmetros físicos de solo, toma por base medidas de umidade, obtidas nas tomografias ao longo de uma coluna de solo inicialmente seco, durante a infiltração de água. A solução numérica da equação de Richards e o modelo de Rossi e Nimmo (1994) foram aplicados para a determinação da curva de retenção desde o solo seco até a saturação.

Para isso o modelo de retenção da água é descrito por:

$$\frac{\theta}{\theta_s} = \begin{cases} \theta_I = 1 - C \left(\frac{h}{h_0} \right)^2, & 0 \leq h \leq h_I \\ \theta_{II} = \left(\frac{h_0}{h} \right)^\lambda, & h_I \leq h \leq h_J \\ \theta_{III} = \alpha \ln \frac{h_D}{h}, & h_J \leq h \leq h_D \end{cases} \quad (10)$$

h_0 e λ são dois parâmetros do modelo, h_D é a tensão do solo seco, $h_D=5.10^7$ cm, θ_s é umidade saturada. Os parâmetros h_i , h_j , C e α são determinados analiticamente, como funções de h_0 e λ , por meio das igualdades da eq.(10), que garantem a continuidade do modelo junção de dois parâmetros, desenvolvido por Rossi e Nimmo (1994).

$$\begin{aligned} \theta_I(h_I) &= \theta_{II}(h_I) & \frac{\partial \theta_I}{\partial h}(h_I) &= \frac{\partial \theta_{II}}{\partial h}(h_I) \\ \theta_{II}(h_J) &= \theta_{III}(h_J) & \frac{\partial \theta_{II}}{\partial h}(h_J) &= \frac{\partial \theta_{III}}{\partial h}(h_J) \end{aligned} \quad (11)$$

Aplicando-se as igualdades da eq.(10) determinam-se os parâmetros:

$$h_I = h_0 \left(\frac{2 + \lambda}{2} \right)^{1/\lambda}; \quad h_J = h_D \exp \left(-\frac{1}{\lambda} \right); \quad C = \frac{\left[1 - \left(\frac{h_0}{h_I} \right)^\lambda \right]}{\left(\frac{h_I}{h_0} \right)^2}; \quad \alpha = \lambda \left(\frac{h_0}{h_J} \right)^\lambda \quad (12)$$

No campo, foram retirados blocos de seção quadrada de aproximadamente 0,3 m e 0,2 m de altura, a partir da superfície de cada classe de solo (Fig. 16). Os blocos foram retirados de modo a evitar perturbações em sua estrutura original. Transportados para o laboratório, cada bloco foi cortado e dele retirado três amostras cilíndricas, lapidadas até atingirem 0,04 m de diâmetro e 0,18 m de altura (Fig. 17). Essas amostras permaneceram à temperatura ambiente até sua secagem.

Figura 16. Vista de um bloco de solo destacado da trincheira.

Após esse período elas foram colocadas em um tubo de PVC com 0,20 m de comprimento e o espaço entre o solo e a parede interna do tubo preenchido com parafina líquida à 70°C. Os 0,02 m maior do tubo de PVC em relação à amostra foram para permitir uma carga hidráulica constante e necessária de 0,01 m. Na sequência, foi retirado o excesso de parafina no topo da amostra para permitir a posterior infiltração de água. Para todas as classes e sistemas de manejo de solo (quando possível) estudadas foram efetuados ensaios prévios de infiltração para definir o número de varreduras por amostra e, conseqüentemente, o espaçamento vertical entre cada uma delas. Após definir os parâmetros (número de projeções, nome da amostra, espaçamento vertical) tiveram início as análises tomográficas (varreduras). Primeiro com o solo seco e posteriormente durante a infiltração de água, repetidas nas mesmas posições medidas com o solo seco, executadas com o tomógrafo de terceira geração (Fig. 18), de acordo com o método desenvolvido por Naime (2001).

Figura 17. Amostra de solo lapidada pronta para ser inserida e parafinada no tubo de PVC.

Figura 18. Tomógrafo realizando varredura em amostra de solo estruturada dentro de tubo de PVC.

A diferença obtida entre os resultados das tomografias durante a infiltração e com o solo seco determinou-se a umidade em cada varredura, com o auxílio de um software desenvolvido em Visual Basic 4.0, que “roda” em ambiente Windows e atua como interface homem-máquina para ajustar os parâmetros de varredura, comandar toda a seqüência de tomografias desejadas e gravar em arquivos os dados obtidos nas varreduras programadas.

Para realizar a reconstrução de imagem foi usado um programa de computador desenvolvido para tomógrafo em Visual Basic 4.0. Esse programa tem as seguintes características (Naime, 2001):

- Gravação de imagens tipo “bitmap” com 256 tons de cinza ou 512 tons de cores;
- Reconstrução de imagens em seqüência para um conjunto de arquivos selecionados;
- Subtração de imagens;
- Padronização de escala para um conjunto de imagens selecionadas;
- Segmentação de imagens com tons de marrom para o solo seco e tons de azul para região úmida do solo;
- Exibição do valor do μ correspondente à célula apontada pelo cursor e também das duas células vizinhas em todas as direções;
- Calibração para a apresentação de valores de massa específica;
- Cálculos estatísticos como média, desvio padrão e coeficiente de variação sobre uma região de interesse, circular ou retangular, selecionada sobre a imagem;
- Medição de distância sobre a imagem;
- Ampliação da imagem em até 4 vezes e

- Geração de arquivos no padrão VTK¹⁰ para reconstrução 3-D no programa PowerVis¹¹.

4.2.5 Condutividade hidráulica

Neste item, a condutividade hidráulica também foi determinada empregando-se a técnica da tomografia computadorizada, e neste modelo pode ser expressa como uma função dos mesmos dois parâmetros h_0 e λ , assim como na retenção de água (Naime, 2001):

$$k = K_s \sqrt{\frac{\theta}{\theta_s}} \frac{I^2(\theta)}{I^2(\theta_s)} \quad (13)$$

onde K_s é a condutividade hidráulica saturada,

$$\begin{aligned} I(\theta) &= I_{III}(\theta) & 0 \leq \theta \leq \theta_J \\ I(\theta) &= I_{II}(\theta) & \theta_J \leq \theta \leq \theta_I \\ I(\theta) &= I_I(\theta) & \theta_I \leq \theta \leq \theta_s \end{aligned} \quad (14)$$

e

$$\begin{aligned} I_{III} &= \frac{\alpha}{h_D} \left[\exp\left(\frac{\theta}{\alpha\theta_s}\right) \right] \\ I_{II} &= I_{III}(\theta_J) + \frac{1}{h_0} \frac{\lambda}{\lambda+1} \left[\left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^{\frac{\lambda+1}{\lambda}} - \left(\frac{\theta_J}{\theta_s}\right)^{\frac{\lambda+1}{\lambda}} \right] \\ I_I &= I_{II}(\theta_I) + \frac{2\sqrt{C}}{h_0} \left[\left(1 - \frac{\theta_I}{\theta_s}\right)^{1/2} - \left(1 - \frac{\theta}{\theta_s}\right)^{1/2} \right] \\ \theta_I &= \theta(h_I), \quad \theta_J = \theta(h_J) \end{aligned} \quad (15)$$

Devido a condutividade hidráulica de saturação não ser conhecida nos experimentos, ela foi calculada a partir dos dados experimentais com h_0 e λ . Assumiu-se o valor de umidade de saturação calculando-se a média no topo do perfil (Naime, 2001).

¹⁰ VTK – Visualization ToolKit: é um programa gratuito de código aberto para computação gráfica 3-D, processamento e visualização de imagens.

¹¹ PowerVis: Programa de reconstrução de imagens 3-D desenvolvido pelo grupo de Computação Gráfica e Processamento de Imagens do ICMC-USP (www.lcad.icmc.sc.usp.br/~powervis/).

Para estimar os parâmetros K_s , h_0 e λ , aplicou-se uma versão modificada do algoritmo Marquardt publicada por van Genuchten (1981). A raiz do erro médio quadrático REMQ¹², entre os N parâmetros observados (θ_{obs} e I_{obs}) e estimados (θ_{est} e I_{est}), foi minimizado tanto para a umidade como para a infiltração. Para permitir observações da infiltração acumulada, aproximadamente com o mesmo peso das medidas de umidade, os dados de umidade foram multiplicados por $10(N_{Obs} - N_C)/N_C$, onde N_{Obs} é o número total de observações englobando as medidas de infiltração e umidade, e N_C é o número camadas onde foram medidas as umidades. A umidade média nas camadas foi calculada antes de computar o REMQ (Naime, 2001).

Para executar este modelo, foi necessário fornecer estimativas iniciais de h_0 , λ e K_s ; θ_s e h_D . Na sequência foram elaborados os gráficos de K em função da umidade do solo.

4.3 Desenvolvimento das Funções de Pedotransferência

O desenvolvimento das Funções de Pedotransferência (FPT) baseou-se em análises em Redes Neurais Artificiais (RNA) que permitiram transferir valores de propriedades básicas de solo em estimativas de curvas de retenção de água no solo em escala de microbacia hidrográfica.

4.3.1 Redes neurais artificiais

Neste trabalho foram utilizadas duas redes neurais artificiais, desenvolvidas em JAVA, no sistema Weka (Witten e Eibe, 2005), que disponibiliza funções para treinamento de RNAs, as quais doravante serão denominadas de *Backpropagation* e *Bagging* (Fig. 20). Como ambas as RNAs possuem a mesma arquitetura de rede, isso é a rede *MultiLayer Perceptron* (MLP), adotou-se o algoritmo mais utilizado para treinamento desse tipo de RNA, o *backpropagation* (Rumelhart *et al.*, 1986).

O algoritmo *backpropagation* utiliza um mecanismo de correção de erros (Fig. 19) que ajusta os pesos da rede. O treinamento ocorreu em duas fases, cada fase percorre a rede em um sentido (Braga *et al.*, 2000). Na fase “para frente” um padrão é apresentado às unidades da camada de entrada e o estímulo é propagado para a próxima camada e o processo ocorre sucessivamente até a camada de saída. Como os valores de saídas desejados são conhecidos é possível estimar os erros na camada de saída. Na fase “para trás” a estimativa do erro é usada

¹² REMQ: Raiz do Erro Médio Quadrático =
$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\theta_{obs} - \theta_{est})^2}{N}}$$

como referência para a correção dos pesos. Como nas camadas intermediárias não existem valores de saída desejados (a exemplo da camada de saída), o ajuste dos pesos é feito por meio da propagação para trás do erro da camada de saída, o que caracteriza o treinamento com o *backpropagation*. Assim, a sucessiva repetição das fases de “para frente” e “para trás” para cada padrão (época) provocam uma progressiva redução do erro de treinamento (Câmara, 2006).

A execução dessas duas fases é imprescindível para assegurar uma rede com capacidade de generalização adequada (Câmara, 2006) e, uma vez treinada, uma rede neural pode facilmente ser usada como ferramenta preditora (Tamari *et al.*, 1996).

Figura 19. Fluxo de processamento do algoritmo *backpropagation*. Os dados seguem da entrada para a saída no sentido “para frente”, e os erros, da saída para a entrada no sentido “para trás” (Braga *et al.*, 2000).

Ao passo que o *Bagging* é um preditor que contém todas as características do *backpropagation*. A diferença é que ele emprega um método que gera múltiplas versões de um preditor e usa estes para obter um preditor agregado (Breiman, 1996). Essas versões múltiplas são formadas fazendo-se *bootstraps* (diversas amostragens aleatórias) replicadas do conjunto de aprendizado e utiliza estes como novo conjunto de aprendizado (Breiman, 1996). Segundo Xu *et.* (1994) as técnicas da validação cruzada e *bootstrap* são técnicas mais robustas para resolverem problemas.

Nas duas RNAs foram utilizados como dados de entrada (Fig. 24) os valores de textura (areia, silte e argila), densidade, resistência mecânica do solo à penetração e retenção de água em potenciais específicos (método de Richards).

Figura 20. Vista em diferentes momentos da tela do Weka (a) com os parâmetros de entrada inseridos; (b) com a função *MultiLayer Perceptron* e (c) com o classificador/preditor *Bagging* selecionados.

4.3.1.1 Desempenho das redes neurais artificiais

O desempenho de ambas as RNAs foi avaliado em função do maior coeficiente de correlação (Pearson) e a menor raiz do erro médio quadrático – REMQ - calculado em função do conjunto de dados. Para tal, os parâmetros, números de camadas intermediárias, taxa de aprendizado, *momentum* e tempo de treinamento (épocas) foram constantemente ajustados visando a atender a esses critérios. No caso do *Bagging*, tem-se outro parâmetro a considerar, o número de iterações, responsável pelo número de amostragens realizadas no conjunto de dados (treinamento).

Outro critério adotado em ambas as redes, foi a validação cruzada em 10 dobras (Fig. 21). Essa técnica permite estimar a precisão do método, no qual exemplos do conjunto de dados são divididos aleatoriamente em 10 grupos mutuamente exclusivos (dobras) com tamanho e distribuição aproximadamente iguais. Uma dobra é separada como teste (um conjunto de novos exemplos a serem apresentados) e as 9 dobras restantes são consideradas para treinamento da rede. Cada par (dobra de teste, dobra de treinamento) constitui uma iteração para a validação do algoritmo, totalizando 10 iterações. Após o treinamento, utilizando a dobra de treinamento, a dobra de teste é apresentada à rede em questão e o erro é calculado. Finalmente, a média das 10 dobras fornece uma estimativa do desempenho do algoritmo (Ferreira, 2005).

Figura 21. Detalhe da opção validação cruzada e previsões de saída selecionadas.

Especificamente para os dados em questão, cada dobra apresenta um erro relativo ao valor esperado. Após as 10 dobras, o erro e o coeficiente de determinação para todo o conjunto de dados foram calculados. Assim, o erro e o coeficiente de determinação refletem a estimativa de desempenho futuro (precisão) da RNA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados das determinações físicas (dados de entrada) e as Redes Neurais Artificiais (pedotransferência). Na sequência, em cada um dos subitens os resultados são analisados e discutidos.

5.1 Determinações de parâmetros físicos de solo

5.1.1 Distribuição do tamanho de partículas

Os resultados da granulometria do solo obtidos a partir da atenuação de raios gama estão apresentados na Tabela 2. Verifica-se que as maiores quantidades de areia, silte e argila ocorreram no LVAd, NVef e LVdf, respectivamente.

No LVe sob mata nota-se que as quantidades da fração areia (Tab. 2) não ultrapassaram os 50 g kg^{-1} . Ao passo que nos outros dois sistemas de manejo, exceto na profundidade de 0,4 m do tratamento coberto, foram sempre maiores que 50 g kg^{-1} . Fato esse que interfere na adoção da equação que melhor estima a umidade do solo por meio da sonda TDR. De acordo com Manieri *et al.* (2007) as equações que estimam esse parâmetro diferem em função da soma das quantidades das frações argila + silte serem maiores ou menores que 50 g kg^{-1} . Comportamento idêntico pode ser verificado no LVdf com e sem cobertura vegetal e no NVef, apenas na profundidade de 0,10 m do LVdf há mais de 50 g kg^{-1} de areia e em todas as profundidades do NVef, exceto a 0,10 e 0,20 m sob cobertura vegetal.

Observa-se em todas as profundidades do NVef sob os sistemas diferentes de manejo que as quantidades de argila foram sempre menores que 35 g kg^{-1} . Isso pode indicar que o local selecionado para retirada das amostras esteja em uma zona de transição de solo, o que alteraria sua denominação, já que segundo Embrapa (2006) para ser classificado como NVef o solo deve possuir 350 g kg^{-1} ou mais de argila, inclusive no horizonte A (Anexo A). Outra possibilidade é ter ocorrido problemas na dispersão das partículas de solo.

O analisador granulométrico de solos demonstrou ser uma ferramenta valiosíssima, considerando as inúmeras possibilidades de aplicação. Especificamente em relação à determinação granulométrica dos solos, evidenciou sua capacidade de fornecer resultados padronizados e com boa precisão.

Tabela 2. Valores médios de granulometria¹ (g kg⁻¹) nas cinco profundidades (z) sob diferentes sistemas de manejo e solo.

	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
z (m)		0,1			0,2			0,3			0,4			0,6	
LVAd															
Coberto	736	34	231	759	40	201	750	12	238	681	43	276	702	27	271
Descoberto	726	24	250	755	29	216	697	34	269	725	23	252	662	48	290
Mata	793	37	170	795	11	194	719	42	239	703	52	245	684	44	271
LVe															
Coberto	591	76	336	546	92	362	506	66	427	499	83	418	531	37	432
Descoberto	590	57	353	553	73	374	501	90	410	524	67	409	507	96	397
Mata	466	132	401	476	108	416	469	114	417	470	105	425	497	90	413
LVdf															
Coberto	543	110	347	464	120	416	471	88	441	436	109	455	450	134	416
Descoberto	512	86	402	434	128	438	454	96	449	520	73	407	461	97	442
Mata	484	76	440	452	93	455	422	125	453	438	91	471	465	99	436
NVef															
Coberto	497	206	297	496	184	321	512	183	305	543	156	300	502	198	300
Descoberto	635	253	112	619	276	105	643	273	84	648	244	108	637	257	107

¹ Média de cinco repetições.

5.1.2 Avaliação da densidade

Os valores de densidade do solo de cada profundidade e sistema de manejo, assim como o valor médio por classe, são demonstrados na Tabela 3.

De acordo com a Tabela 3 as maiores densidades ocorreram no solos sob mata e as menores nos solos cobertos. Constatação oposta a relatada por Albuquerque *et al.* (2001) que compararam três sistemas de manejo de solo e verificaram que sob mata nativa a densidade do solo foi menor ($0,79 \text{ Mg m}^{-3}$) em relação ao preparo convencional ($1,09 \text{ Mg m}^{-3}$) e plantio direto ($1,16 \text{ Mg m}^{-3}$).

Tabela 3. Valores médios de densidade (ρ , Mg m^{-3}), nas diferentes profundidades (z) e sistemas de manejo de solo.

z (m)	LVAd	LVe	LVdf	NVef
Coberto				
0,1	1,4	1,2	1,2	1,0
0,2	1,4	1,2	1,2	1,0
0,3	1,4	1,2	1,1	1,0
0,4	1,3	1,2	1,2	1,1
0,6	1,3	1,1	1,1	1,1
Média	1,36 a	1,18 b	1,16 b	1,04 c
F			95,09*	
CV (%)			4,4	
Descoberto				
0,1	1,3	1,3	1,3	1,1
0,2	1,3	1,3	1,2	1,1
0,3	1,3	1,2	1,1	1,2
0,4	1,3	1,2	1,3	1,1
0,6	1,3	1,2	1,2	1,1
Média	1,30 a	1,24 a	1,22 a	1,12 b
F			28,00*	
CV (%)			4,5	
Mata				
0,1	1,4	1,1	1,2	-
0,2	1,4	1,1	1,3	-
0,3	1,3	1,2	1,3	-
0,4	1,3	1,1	1,2	-
0,6	1,3	1,2	1,2	-
Média	1,34 a	1,14 b	1,24 c	-
F			33,33*	
CV (%)			4,4	

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula, nas linhas (classes de solo) não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. * Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Resultados compartilhados por Anjos *et al.* (1994) que caracterizaram algumas propriedades físicas de quatro solos sob mata nativa e diferentes sistemas de manejo, Assis e Lanças (2005) e Centurion *et al.* (2007) que verificaram o aumento da densidade do solo nos sistemas manejados em relação à mata nativa. Porém, ficaram abaixo dos valores encontrados por Souza *et al.* (2001) até a profundidade de 0,2 m ($1,45 \text{ Mg m}^{-3}$) e Centurion *et al.* (2007) até 0,30 m ($1,49 \text{ Mg m}^{-3}$), ambos em LV.

No entanto, de acordo com Ball-Coelho *et al.* (1998¹) apud Albuquerque *et al.* (2001) o aumento da densidade do solo de textura arenosa aumentou a retenção de água e não reduziu a produtividade do milho. Constatação compartilhada por Silva *et al.* (2005) ao estudarem os efeitos dos sistemas de uso e manejo nas propriedades físicas de um Argissolo Amarelo. Esses autores observaram que em razão do aumento da densidade do solo nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar houve um incremento no teor de água disponível (potencial mátrico entre -0,001 a -1,5 MPa), passando de $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, no solo sob mata nativa, para 0,17; 0,18 e $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, nos solos submetidos aos sistemas sequeiro, irrigado e vinhaça.

O teste F foi significativo com 1% de probabilidade (Tab. 3), indicando que existe diferença entre as classes de solos em relação às densidades, com um grau de 99% de probabilidade.

5.1.3 Resistência do solo à penetração e conteúdo de água

Os menores valores de RP ocorreram nos solos sob mata e os maiores no NVe coberto e LVe descoberto (Tab. 4). Importante salientar que a umidade foi medida juntamente com a resistência à penetração permitindo a sua normalização, já que diferenças de umidade podem causar variações da resistência da ordem de 5 MPa (Vaz *et al.*, 1997).

Os valores de RP referente ao índice de cone (IC) de todos os sistemas de manejo, exceto sob mata, são muito altos, uma vez que ultrapassaram o valor de 2,7 MPa (Tab. 4). Valor acima de 2,0 MPa é considerado por Nesmith (1987²) apud Tormena e Roloff (1996) como impeditivos do crescimento de raízes no solo. No entanto, Tavares *et al.* (2001) constataram que valores de RP de 3,5 MPa, apesar de provocarem deformações morfológicas nas raízes do milho, não foram considerados limitantes para o seu crescimento. Ao passo que Beutler *et al.* (2006) ao estudarem os efeitos da compactação em um Latossolo Vermelho, concluíram que valores de RP entre 2,24

¹ Ball-Coelho, B.R.; ROY, R.C.; SWANTON, C.J. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. Soil Till. Res., v. 45, p.237-249, 1998.

² Nesmith, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultisol. Soil Sci. Soc. Am. J. v. 51, p. 183-186, 1987.

a 2,97 MPa promoveram decréscimo na produtividade de soja. Gerald *et al.* (1982³) *apud* Albuquerque *et al.* (2001) afirmaram que a resistência do solo à penetração, considerada crítica para o crescimento das raízes, diminuiu com o aumento do teor de argila do solo.

Albuquerque *et al.* (2001) verificaram maior RP no solo de mata (1,93 MPa), da superfície até 0,2 m de profundidade, acima dos valores constatados no preparo convencional (1,63 MPa). Resultados semelhantes aos descritos por Assis e Lanças (2005) ao avaliarem os atributos físicos de um Nitossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. Esses autores verificaram maiores valores médios de RP (até 0,4 m de profundidade), na área sob mata nativa (2,27 MPa) em relação ao sistema de preparo convencional do solo (1,44 MPa) e sistema de plantio direto com um (2,08 MPa) e doze (2,10 MPa) anos de adoção.

Tabela 4. Valores médios de resistência à penetração (RP, MPa), obtidos com a sonda e convertidos para o método convencional (índice de cone), com suas respectivas umidades volumétricas médias (θ , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para os diferentes sistemas de manejo e solo.

	Coberto			Descoberto			Mata		
	RP _{sonda}	RP _{IC}	θ	RP _{sonda}	RP _{IC}	θ	RP _{sonda}	RP _{IC}	θ
LVAd	5,24 b	3,23	0,1572 c	4,76 b	2,95	0,0854 _d	1,64 b	1,13	0,1664 a
LVe	6,20 b	3,38	0,2585 b	6,52 a	3,98	0,2386 c	2,40 a	1,57	0,1376 a
LVdf	5,00 b	3,09	0,3621 a	4,39 b	2,74	0,3637 a	2,78 a	1,79	0,1566 a
NVef	8,31 a	5,03	0,2359 b	6,03 a	3,69	0,3046 _b	-	-	-
F	30,58*		118,24*	51,00*		242,17	12,63*		0,73 ^{ns}
CV(%)	17,05		11,87	10,19		12,03	22,82		35,28

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula, nas colunas (sistemas de manejo) não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ^{ns} Não-significativo. * Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A RP_{sonda} nas áreas manejadas com e sem cobertura vegetal também são altas, uma vez que excederam 4,3 MPa (Tab. 4), e estão acima dos valores verificados por Souza *et al.* (2001) em um Latossolo Vermelho (2,39 MPa), com valores de umidade idênticos ($0,24 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$). E acima também, dos resultados obtidos por Tormena *et al.* (2007) ao pesquisarem os efeitos do sistema

³ Gerald, C.J.; Sexton, P.; Shaw, G., Physical factors influencing soil strength and root growth. Agron. J. v. 74, p. 875-879, 1982.

plântio direto sobre a qualidade física de um Latossolo Vermelho, constataram valores médios de RP em torno de 2,76 MPa.

O teste F foi significativo em nível de 1% de probabilidade, indicando que existe diferença entre as classes de solos em relação as RP e a umidade, para um mesmo sistema de manejo, com um grau de 99% de probabilidade, exceto para a umidade dos solos sob mata que não foi significativo. No entanto, foi neste sistema de manejo que ocorreu o maior coeficiente de variação da umidade volumétrica.

De maneira geral os maiores valores de umidade foram observados no LVdf com e sem cobertura vegetal (Tab. 4). Constatação confirmada pela análise estatística indicando que houve diferença (5% Tukey). Ao passo que os menores valores de umidade foram detectados no LVAd, com exceção do sistema sob mata que apresentou teores mais elevados de umidade dos três solos para esse sistema de manejo, apesar de não haver diferença estatística para esse sistema de manejo.

O penetrômetro associado ao sensor de TDR mostrou-se uma ferramenta de grande valia, para medir a resistência do solo à penetração, conjuntamente com a umidade no tempo e no espaço, a exemplo do que concluíram Vaz e Hopmans (2001), proporcionando medidas confiáveis e rápidas de ambos os parâmetros.

5.1.4 Curvas de retenção de água no solo

As curvas de retenção de água de cada profundidade e solo, em função dos diferentes sistemas de manejo, obtidas com o método de Richards (Fig. 22 a 32) e tomografia computadorizada (Fig. 33 a 41) são apresentadas. Para as originárias do método de Richards obteve-se um valor médio de retenção de água das cinco profundidades e tensões de cada sistema de manejo (parcela), constatou-se que as maiores quantidades de água retidas ocorreram no NVef. Em ordem decrescente, as demais foram: LVdf, LVe e LVAd. Esses resultados indicam que as quantidades das frações mais finas do solo (argila + silte) exerceram grande influência sobre a retenção de água, pois, conforme aumentavam as quantidades dessas frações, a retenção também sofria um incremento. Resultados corroborados por Angelotti Netto (2001) ao comparar a retenção de água em diferentes profundidades de um LV sob pousio e cultivo intensivo. Verificando que as camadas que continham maiores quantidades de silte e argila retiveram mais água. Comportamento também descrito por Centurion e Andrioli (2000) ao caracterizarem propriedades hídricas de solos, quando verificaram que a retenção de água no solo correlacionou-se melhor com a soma dos teores de silte e argila.

Observa-se nas Figuras de 22 a 24, que correspondem ao LVAd, que a maior retenção de água ocorreu no solo coberto pela vegetação. Verifica-se no solo desprovido de cobertura, que além de reter menos água, também proporcionou as maiores amplitudes desses valores.

Nota-se nas Figuras 25 a 31 e Tabela 5 que as maiores retenções de água, embora com pequena diferença, se deram em todos os solos sem cobertura vegetal, seguidos por aqueles sob mata. Nas curvas de retenção do LVdf coberto e sem cobertura vegetal a 0,3 m de profundidade verifica-se um erro experimental provocado provavelmente pela flutuação de temperatura dentro do laboratório que por sua vez ocasionou uma instabilidade na coluna de mercúrio.

Constata-se nas Tabelas 3 (densidade) e Tabela 5 a maior retenção de água em sistemas de manejo de solo que apresentaram menores valores de densidade, exceção feita a LVe sob mata que apresentou menor densidade ($1,14 \text{ Mg m}^3$) que os três sistemas de manejo do LVAd. Demonstrando que quanto menor a densidade, maior a retenção de água no solo. Contrapondo a afirmação de Camargo (1983), de que solos que apresentam camadas adensadas podem aumentar a quantidade de água retida na faixa de disponibilidade para as plantas. E discordantes dos resultados obtidos por Centurion e Demattê (1985) ao estudarem os efeitos do preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho. Grego e Vieira (2005) relataram correlação positiva entre retenção de água e densidade ao avaliarem a variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho.

Figura 22. Curvas de retenção de água no LVAd sob vegetação nas cinco profundidades obtidas com o método de Richards.

Figura 25. Curvas de retenção de água no LVe sob vegetação nas cinco profundidades obtidas com o método de Richards.

Figura 26. Curvas de retenção de água no LVe sem vegetação nas cinco profundidades obtidas com o método de Richards.

Figura 29. Curvas de retenção de água no LVdf sem vegetação nas cinco profundidades obtidas com o método de Richards.

Figura 30. Curvas de retenção de água no LVdf sob mata nas cinco profundidades obtidas com o método de Richards.

Figura 33. Curva de retenção de água no LVAd sob cobertura vegetal obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 34. Curva de retenção de água no LVAd desprovido de cobertura vegetal obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 35. Curva de retenção de água no LVAd sob mata obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 36. Curva de retenção de água no LVe sob cobertura vegetal obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 37. Curva de retenção de água no LVe sem cobertura vegetal obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 38. Curva de retenção de água no LVe sob mata obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 39. Curva de retenção de água no LVdf sob vegetação obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 40. Curva de retenção de água no LVdf sem cobertura vegetal obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 41. Curva de retenção de água da NVec sob vegetação obtida a partir de análises tomográficas.

Com o intuito de comparar as retenções de água obtidas com o tomógrafo com aquelas oriundas do método convencional (Richards) foi construída uma tabela (Tab. 6) que confronta os valores de umidade volumétrica dos solos nos diferentes sistemas de manejo com a umidade proveniente da metodologia da tomografia computadorizada (Fig. 33 a 41). Para padronizar os resultados foram aplicadas as equações de regressão tensões pré-estabelecidas em 0,33; 0,6 e 1,5 MPa.

Tabela 5. Valores médios de retenção de água (água disponível - retida entre 0,33 e 1,5 MPa) nos diferentes sistemas de manejo e solo.

Solos	Coberto	Descoberto $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$	Mata
LVAd	0,1466	0,1540	0,1494
LVe	0,1973	0,2062	0,2066
LVdf	0,2180	0,2349	0,2248
NVec	0,2184	0,2599	-

Outra providência tomada foi efetuar a média dos valores de retenção a 0,1 e 0,2 m do método de Richards (Tab. 6), visto que as amostras empregadas na técnica da tomografia

computadorizada foram de 0,18 m de profundidade. Aproximando e permitindo dessa maneira a comparação da retenção nas mesmas camadas de solo. Verifica-se que a retenção de água no LVAd coberto e sob mata apresentaram valores muito discrepantes (mais de dez vezes) daqueles obtidos por meio do método de Richards. Isso pode ocorrer em razão da enorme variabilidade do solo, das prováveis imprecisões nas leituras dos instrumentos de medida, acarretando grandes variações nos valores de retenção de água, a exemplo do que verificaram Reichardt *et al.* (1993) trabalhando em solos não saturados, sob condições de campo.

Tabela 6. Valores de umidade volumétrica obtidos nas diferentes tensões empregando-se equações de regressão oriundas de tomografia computadorizadas (média de 0,1 e 0,2 m de profundidade) e do método de Richards.

Tensão Solos Sist. manejo	Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)					
	0,33 MPa		0,6 MPa		1,5 MPa	
	Tomógrafo	Richards	Tomógrafo	Richards	Tomógrafo	Richards
LVAd cob	0,0340	0,1364	0,0181	0,1286	0,0143	0,1258
LVAd descob	0,1279	0,1530	0,1002	0,1472	0,0916	0,1451
LVAd mata	0,0194	0,1502	0,0085	0,1373	0,0063	0,1328
LVe cob	0,2373	0,1991	0,1971	0,1835	0,1841	0,1781
LVe descob	0,2665	0,1960	0,2222	0,1779	0,2079	0,1717
LVe mata	0,2532	0,1958	0,2062	0,1795	0,1912	0,1738
LVdf cob	0,1808	0,2162	0,1330	0,1996	0,1189	0,1938
LVdf descob	0,2542	0,2279	0,2059	0,2004	0,1907	0,1912
NVef cob	0,2513	0,1995	0,2103	0,1847	0,1970	0,1796

5.1.5 Porosidade Total

A porosidade total (Tab. 7) foi obtida a partir de valores de retenção de água em solo saturado. Esse parâmetro foi determinado para auxiliar na interpretação dos resultados de densidade e retenção de água no solo. Em razão de problemas operacionais não foi possível obter a retenção de água na tensão de 0,006 MPa, o que definiria o limite entre macro e micro porosidades.

As maiores porosidades ocorreram nos LVAd e LVe sob mata e no LVdf descoberto (Tab. 7). No caso dos solos sob mata era esperado, no entanto, no LVdf não, uma vez que seu sistema de manejo contribui para a redução da porosidade, a exemplo do que verificou Angelotti Netto (2001), e discordando do relatado por Santos e Ribeiro (2000) em que a porosidade total dos perfis sobre o Argissolo estão relacionadas diretamente com os tipos de manejo do solo, apresentando redução à medida que aumenta a intensidade de uso.

O teste F foi significativo com 1% de probabilidade, indicando que existe diferença entre as classes de solos em relação a porosidade total para um mesmo sistema de manejo, com um grau de 99% de probabilidade.

Os coeficientes de variação obtidos condizem com os encontrados na literatura 7,71 e 5,37% (Souza *et al.*, 2001) e 5,80% (Centurion *et al.*, 2007). Contudo, a porosidade total média no NVef ($0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) está próxima à verificada por esses mesmos autores ($0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em LV e diferentes das descritas por Albuquerque *et al.* (2001) em um Nitossolo Vermelho sob preparo convencional ($0,59 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), plantio direto ($0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), mata ($0,70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e Centurion *et al.* (2007) na mata ($0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e no quarto corte da cana-de-açúcar ($0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) de um Latossolo Vermelho.

Tabela 7. Valores de porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) dos quatro solos estudados, nas diferentes profundidades e sistemas de manejo

z (m)	LVAd	LVe	LVdf	NVef
Coberto				
0,1	0,2580	0,4192	0,3808	0,3086
0,2	0,2650	0,4264	0,4016	0,3302
0,3	0,2818	0,4342	0,3698	0,3980
0,4	0,3215	0,3868	0,4706	0,4859
0,6	0,3761	0,4224	0,4916	0,3980
Média	0,3005 b	0,4178 a	0,4229 a	0,3841 a
F		18,16*		
CV (%)		13,48		
Descoberto				
0,1	0,2876	0,3784	0,5654	0,4540
0,2	0,2421	0,4557	0,5158	0,4529
0,3	0,3039	0,3858	0,4080	0,5387
0,4	0,3211	0,4714	0,5343	0,4953
0,6	0,3684	0,5192	0,5287	0,5542
Média	0,3046 b	0,4421 a	0,5104 a	0,4990 a
F		46,55*		
CV (%)		12,21		
Mata				
0,1	0,4201	0,4917	0,4940	-
0,2	0,3423	0,5448	0,4637	-
0,3	0,3935	0,5125	0,4732	-
0,4	0,4087	0,5273	0,4330	-
0,6	0,3721	0,5530	0,5056	-
Média	0,3873 c	0,5259 a	0,4739 b	-
F		62,10*		
CV (%)		6,07		

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula, nas colunas (sistemas de manejo) não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. * Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

5.1.6 Condutividade hidráulica não saturada

Esse parâmetro foi determinado a fim de auxiliar a compreensão dos resultados de retenção de água. Tendo em vista que o fluxo de drenagem é função exponencial entre a condutividade hidráulica (K) e a umidade do solo (Cavalcante *et al.*, 1978 e Reichardt *et al.*, 1993), elaborou-se os gráficos (Fig. 42 a 50) com suas respectivas equações de regressão exponencial de $K(\theta)$ desconsiderando quaisquer outras regressões, mesmo que em alguns casos apresentassem coeficientes de determinação maiores que os exponenciais.

Os maiores valores de $K(\theta)$ ocorreram em ordem decrescente: LVAd descoberto, NVef coberto, LVAd mata, ao passo que os menores, nesta mesma ordem foram: LVdf coberto, LVe mata e descoberto. Verifica-se, portanto, que os solos com teores mais elevados de areia apresentaram maior fluxo de água. A exceção foi o NVef, que contém pouca areia, mas em contrapartida é um solo com altas quantidades de silte, o que pode ter contribuído positivamente com a $K(\theta)$. Resultados que discordam da afirmação de Scardua (1984) que em solo argiloso sob regime de fluxo não saturado há uma melhor condução da água graças a grande quantidade de pequenos poros, uma vez que torna o fluxo contínuo.

Nas Figuras 42 a 50 os pontos azuis e a linha contínua (preto) correspondem, respectivamente, a condutividade hidráulica determinada com a tomografia computadorizada e a ajustada pela equação de regressão.

Figura 42. Curva de condutividade hidráulica do LVAd coberto obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 43. Curva de condutividade hidráulica do LVAd descoberto obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 44. Curva de condutividade hidráulica do LVAd mata obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 45. Curva de condutividade hidráulica do LVe coberto obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 46. Curvas de condutividade hidráulica do LVe descoberto obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 47. Curvas de condutividade hidráulica do LVe sob mata obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 48. Curvas de condutividade hidráulica do LVdf coberto obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 49. Curvas de condutividade hidráulica do LVdf descoberto obtida a partir de análises tomográficas.

Figura 50. Curvas de condutividade hidráulica do NVef sob pastagem obtida a partir de análises tomográficas.

A tomografia computadorizada é uma importante ferramenta que possibilita conhecer o fluxo de água no solo e, conseqüentemente, outros parâmetros de solo a partir deste. O tomógrafo evidenciou sua capacidade de determinação de processos físicos, sobretudo aqueles ligados à dinâmica da água no solo.

5.2 Variáveis estatísticas do conjunto de dados de entrada

As medidas de dispersão das variáveis de entrada empregadas nas duas RNAs encontram-se demonstradas na Tabela 8.

Pimentel-Gomes e Garcia (2002) afirmam que a variabilidade de um atributo pode ser classificada de acordo com a magnitude do seu coeficiente de variação, o qual pode ser: (1) baixa, quando menor que 10%. (2) média, quando entre 10 e 20%; (3) alta, quando entre 20 e 30% e (4) muito alta, se maior a 30%. Dessa maneira, a variabilidade dos atributos do solo foram: para a profundidade e tensão muito altas, em razão de seus valores terem sido arbitrados dessa forma, justamente para que as redes neurais tivessem maior variação de dados, tornando mais representativo os resultados obtidos a partir desta.

A variabilidade da densidade foi classificada como baixa - 8,38% - (Tab. 8). Resultados parecidos de coeficiente de variação e desvio padrão foram observados por Imhoff *et al.* (2000), ao avaliarem a qualidade física de um Nitossolo Vermelho, num sistema de pastejo intensivo, em torno de 6,5% e $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente. E também por Souza *et al.* (2001) que, trabalhando com a variabilidade espacial de um Latossolo Vermelho, observaram um coeficiente de variação médio até profundidade de 0,20 m de 5,94%. Este atributo apresentou o menor coeficiente de variação entre os parâmetros estudados, assim como observaram Simões *et al.* (2006) ao analisarem a variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos.

Das frações granulométricas (Tab. 8), a areia apresentou uma variabilidade qualificada como muito alta (36,31%). Contrária a verificada por Kitamura *et al.* (2007) ao relacionarem a variabilidade espacial das frações granulométricas de um solo Argiloso. Esses autores observaram variabilidade média (11,05%) assim como constataram Barbieri *et al.* (2002) estudando a dependência espacial de atributos granulométricos em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar. Classificação também muito alta foi do silte (68,87%). Resultado diferente daquele obtido por Kitamura *et al.* (2007), que determinaram o coeficiente de variação em 16,35% e Barbieri *et al.* (2002) também considerada média de acordo com a classificação adotada. Esta fração apresentou a maior variabilidade entre os atributos estudados, a exemplo do

que concluíram Simões *et al.* (2006). Para a argila, a exemplo da areia e do silte, a variabilidade foi muito alta. Condição oposta a observada por Kitamura *et al.* (2007) classificada como baixa (6,4%) e diferente da relatada por Roque *et al.* (2002) como média, verificada ao analisarem a variabilidade espacial de atributos físicos em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com seringueira.

Para as variáveis areia, silte e argila esses parâmetros mostraram bem a diferença na composição dos solos, visto os altos valores de desvio padrão da areia e argila, comprovando a amplitude e, conseqüentemente, a diversidade de dados abrangidos pelas RNAs (Tab. 8). A fração silte demonstrou complexidade em sua determinação, uma vez que seu coeficiente de variação foi muito maior que o da argila (229%) e areia (189%).

Tabela 8. Parâmetros estatísticos do conjunto de dados das variáveis de entrada¹ utilizadas em ambas as Redes Neurais Artificiais.

Parâmetros	z	Tensão	ρ	Areia	Silte	Argila	RP	θ
Desvio Pad.	17,20	0,57	0,10	182,61	69,39	119,08	2,00	0,0532
CV (%)	53,76	145,39	8,38	36,31	68,87	30,04	41,36	24,86

¹z = profundidade; ρ = densidade, RP = resistência do solo à penetração e θ = umidade volumétrica.

A RP (Tab. 8) foi qualificada como muito alta (41,36 %), a exemplo do que relataram Imhoff *et al.* (2000) com um coeficiente de variação de 71,4% e desvio padrão em torno de 0,9. Tormena *et al.* (2007) observaram valores ainda mais elevados, que produziram uma variabilidade entre 41,39 a 96,82 %, com desvio padrão de 1,4 a 2,39 MPa. Por outro lado, Souza *et al.* (2001) encontraram coeficientes de variação de 26,54 %. Vale salientar que Imhoff *et al.* (2000) e Souza *et al.* (2001) trabalharam apenas com um tipo de solo. Constatação que permiti inferir que a RP variou dentro da normalidade, já que neste estudo foram utilizadas quatro classes de solo com grandes diferenças texturais.

A umidade volumétrica (Tab. 8) foi classificada como alta (24,86 %). Variabilidade maior que as verificadas por Imhoff *et al.* (2000) e por Souza *et al.* (2001) que foram de 11,39% e 5,11%, respectivamente. Porém, próximas das observadas por Tormena *et al.* (2007) que relataram valores de coeficiente de variação de umidade volumétrica entre 4,78 e 18,74 %. Enquanto que o desvio padrão observado por Imhoff *et al.* (2000) foi de $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, os obtidos por Tormena *et al.* (2007) variaram entre 0,05 e $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

5.3 Desenvolvimento das Funções de Pedotransferência usando Redes Neurais Artificiais

Observa-se na Figura 51, construída a partir de inúmeras tentativas e erros, a melhor combinação dos parâmetros: camadas intermediárias, taxa de aprendizagem, *momentum* e tempo

de treinamento, e além desses, para a rede que empregou *bagging*, o número de iterações (Fig. 53). A melhor configuração de ambas as redes neurais (Fig. 52) consistiu de sete neurônios, tanto na primeira como na segunda camada (intermediária).

Figura 51: Variáveis da Rede Neural Artificial simples que forneceram os melhores resultados.

Figura 52. Arquitetura das redes neurais artificiais simples (única RNAs) e *bagging* (trinta RNAs).

As funções de PTFs obtidas a partir da RNA simples são demonstradas a seguir:

$$y = f(x)$$

$$f : \mathbb{R}^7 \ni x \rightarrow y \in \mathbb{R}$$

onde:

$$x = [z, t, \rho, a, s, arg, RP]^T$$

em que:

z é a profundidade em que o solo foi amostrado.

t é a tensão aplicada as amostras de solo

ρ a densidade dos solos

a quantidade da fração areia

s conteúdo da fração silte

arg a quantidade da fração argila

RP a resistência do solo à penetração

w é a matriz de pesos da camada de entrada

w' é o vetor de pesos da camada de saída

θ_i é o i -ésimo termo de polarização (bias) do neurônio da camada intermediária

θ' é o termo de polarização do neurônio de saída.

$G_i(.)$ é a função de saída do i -ésimo neurônio da camada intermediária

$$g_i(x) = \tanh \left(\sum_{j=1}^7 w_{ij} \cdot x_j + \theta_i \right) \quad (16)$$

$$\Rightarrow f(x) = \tanh \left(\sum_{i=1}^7 w'_i \cdot g_i(x) + \theta' \right) \quad (17)$$

onde: $\tanh(.)$ é a tangente hiperbólica (função de ativação).

Tal que:

$$\tanh(V) = \frac{1 - e^{-v}}{1 + e^{-v}} \quad (18)$$

Substituindo eq. (17) em eq. (18):

$$f(x) = \tan h \left(\sum_{i=1}^7 w'_i \cdot \tan h \left(\sum_{j=1}^7 w_{ij} \cdot x_j + \theta_i \right) + \theta' \right) \quad (19)$$

Se w , w' , θ , θ' forem adequadamente ajustados pelo algoritmo backpropagation, a FPT é a expressa em (eq. 20).

Finalmente, substituindo a função de ativação tangente hiperbólica ($\tanh(\cdot)$) (18) em (19), obtém-se:

$$f(x) = \frac{1 - e^{-\left(\sum_{i=1}^7 w'_i \cdot \frac{1 - e^{-\left(\sum_{j=1}^7 w_{ij} \cdot x_j + \theta_i \right)}}{1 + e^{-\left(\sum_{j=1}^7 w_{ij} \cdot x_j + \theta_i \right)}} \right) + \theta'}}{1 + e^{-\left(\sum_{i=1}^7 w'_i \cdot \frac{1 - e^{-\left(\sum_{j=1}^7 w_{ij} \cdot x_j + \theta_i \right)}}{1 + e^{-\left(\sum_{j=1}^7 w_{ij} \cdot x_j + \theta_i \right)}} \right) + \theta'}} \quad (20)$$

E da RNA *bagging*:

$$f^B(x) = y$$

$$f^B : R^7 \ni x \rightarrow y \in R$$

$$f^B(x) = \frac{1}{30} \cdot \sum_{k=1}^{30} f_k(x) \quad (21)$$

Portanto, a FPT *bagging* é a média de 30 $f(x)$ distintos. Essa diversidade de $f_k(x)$ é proporcionada pelo algoritmo *Bagging* (Breiman, 1996). Cabe ressaltar que os parâmetros θ , θ' , w e w' são demonstrados nos apêndices D e E.

5.3.1 Desempenho das RNAs

Verifica-se pelos valores de desempenho que a RNA que apresentou melhor estimativa de retenção de água foi do tipo *Bagging* (Tab. 9). Contudo, a RNA simples demonstrou ser de grande utilidade na estimativa, visto que seus valores de coeficiente de correlação e Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) são muito próximos dos obtidos com a RNA *Bagging*. Portanto, os resultados demonstram o alto desempenho das duas RNAs na estimativa de retenção de água no solo em escala de microbacia hidrográfica, uma vez que ambas RNAs conseguiram, respectivamente, explicar 92 e 93%, da variação da retenção de água no solo com REMQ de 0,0147 e 0,0133 m³ m⁻³. Corroborando dessa forma, a afirmação de Tomasella *et al.* (2003) que para solos brasileiros a estimativa da retenção de água em potenciais específicos por meio de informações básicas de solo usando FPT apresentou os melhores resultados.

Os valores do REMQ de ambas as RNAs (Tab. 9) são semelhantes aos obtidos por Pachepsky *et al.* (1996) quando compararam RNAs com equações de regressão para estimar a retenção de água, encontrando valores de REMQ entre 0,025 e 0,013 m³ m⁻³ e concluíram que as RNAs tiveram uma melhor performance que as regressões. Resultados análogos aos de Picoli (2006) que estimou a produtividade da cana-de-açúcar com modelos *ensembles* de RNA comparando-a com avaliações subjetivas dos técnicos da Usina. Esse autor concluiu que o uso de *ensembles* produziu um EMQ menor e estimaram com maior confiabilidade a produtividade agrícola explicando 66% da variabilidade real.

Figura 53. Variáveis da Rede Neural Artificial tipo *bagging*

Considerando a melhor performance da RNA *Bagging* (bootstrap), pode-se inferir que ela pode, assim como concluíram Minasny e McBratney (2002), ser aplicada para prever o intervalo de confiança dos parâmetros preditos e o conteúdo de água.

Tabela 9. Parâmetros de desempenho das RNAs desenvolvidas.

Parâmetros de desempenho	Simple	<i>Bagging</i>
Coefficiente de correlação	0,9621	0,9682
Coefficiente de determinação	0,9256	0,9374
Raiz do erro médio quadrático	0,0147 m ³ m ⁻³	0,0133 m ³ m ⁻³
Erro médio quadrático	0,00022 m ³ m ⁻³	0,00018 m ³ m ⁻³

O desenvolvimento de FPTs a partir de análise em RNAs, em detrimento de outras já elaboradas, foi oportuna e de grande valia, especialmente se levados em conta os parâmetros de desempenho, corroborados pelos resultados obtidos por Schaap *et al.* (1998). Esses autores utilizaram RNAs e FPTs já publicadas para prever propriedades hidráulicas de 1209 amostras de solo e verificaram coeficientes de determinação acima de 0,70 (coeficiente de correlação de 0,84) apenas quando utilizaram textura, densidade e um ou dois pontos de conteúdo de água. No entanto, constataram que apenas uma FPT já publicada teve desempenho tão boa quanto uma RNA, com semelhantes variáveis de entrada.

As altas correlações lineares (Fig. 54 e 55) entre as umidades volumétricas medidas e preditas de ambas as redes neurais artificiais, são outro indicativo do bom desempenho das redes na estimativa da retenção de água no solo.

Figura 54. Valores de umidade volumétrica determinada com o método de Richards e predita com a rede neural artificial simples.

Figura 55. Valores de umidade volumétrica determinada com o método de Richards e predita com a rede neural artificial *bagging*.

Verifica-se nas duas RNAs a variância homogênea em toda a concentração de dados, tanto nas menores quanto nas maiores umidades. Diferentes dos resultados de Tamari *et al.* (1996) que observaram maior eficiência da rede neural em relação à regressão multilinear quando os dados de condutividade hidráulica foram menores que $0,1 \text{ m s}^{-1}$, porém, acima de $0,2 \text{ m s}^{-1}$ foram menos eficientes que a regressão. Pachepsky *et al.* (1996) notaram que RNAs tiveram desempenho melhor que as regressões em potenciais matriciais entre $-0,1$ e -20 kJ m^{-3} ; no entanto, em potenciais maiores que esses as regressões foram melhores.

6. CONCLUSÕES

Do exposto, pode-se inferir que os equipamentos não convencionais empregados neste estudo permitem a obtenção, com relativa celeridade, de um grande número de dados, os quais possibilitaram análises em redes neurais artificiais. As dificuldades encontradas decorrem da abrangência e complexidade de se trabalhar com instrumentos da fronteira do conhecimento científico e, portanto, passíveis de ajustes, como é o caso do tomógrafo computadorizado.

A utilização de Redes Neurais Artificiais na obtenção de Funções de Pedotransferência é de grande eficiência, representada por seus coeficientes de desempenho, contribuindo dessa maneira com as Ciências Ambientais e do Solo a preencher a lacuna de informações relativas especialmente à dinâmica da água e solutos no solo.

No âmbito geral, este trabalho resultou em uma metodologia capaz de estimar a retenção de água no solo com relativa precisão e confiabilidade.

7. SUGESTÕES

Com base no presente estudo, sugerem-se algumas pesquisas visando o aperfeiçoamento das funções de pedotransferência e dos equipamentos não convencionais empregados neste estudo:

- Realizar novas análises granulométricas nas áreas de NVef a fim de confirmar a atual classificação ou atribuir-lhe nova denominação, uma vez que os valores granulométricos obtidos não condizem com a classificação proposta.
- Aperfeiçoar o tomógrafo computadorizado para que opere com feixe em forma de cone, varrendo dessa maneira todos os planos de uma única vez, permitindo trabalhar com todas as classes de solo.
- Efetuar a identificação, utilizando o próprio Weka, dos atributos de entrada que exercem maior influência na estimativa da retenção de água no solo.
- Desenvolver um aplicativo utilizando os pesos das conexões de nodos obtidos com a rede neural artificial tipo *bagging*, o qual permitirá estimar a retenção de água com maior facilidade.
- Uma vez desenvolvido o software acima mencionado poderá ser este aplicado em outras classes de solo e microbacias hidrográficas a fim de avaliar sua capacidade de generalização.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOY, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 717-723, 2001.
- ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J. (ed). **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 1990. p. 29-39.
- ANGELOTTI-NETTO, A. **Determinação da condutividade hidráulica por diferentes técnicas de medidas de umidade do solo**. 2001. 101 p. (Dissertação em Agronomia – Área de concentração - Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- ANGELOTTI-NETTO, A.; CRESTANA, S.; NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P.; PRIMAVESI, O.; SILVA, F.G.B. Novos métodos e equipamentos para caracterização física dos solos. In: VILAR, O.M. **Solos Não Saturados**, São Carlos: Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/ Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2004a. p. 1-8.
- ANGELOTTI-NETTO, A.; SILVA, F.G.B. V.; PRIMAVESI, O.; VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; CRESTANA, S. Influência da temperatura de secagem de terra para análise granulométrica determinada por atenuação de raios gama. XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água: Manejo: integrando a ciência do solo na produção de alimentos. **Resumos expandidos...** Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2004b. CD-ROM.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 139-145, 1994.
- AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2005. 517 p.
- ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 515-522, 2005.
- BARBIERI, D.M.; SOUZA, Z.M. VIEIRA, J.C.; MARQUES JUNIOR, J.; CORÁ, J.E.; PEREIRA, G.T. Dependência espacial de atributos granulométricos em um Latossolo Vermelho Eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar na região de Jaboticabal (SP) In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., Cuiabá, 2002. **Anais...** Cuiabá, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-ROM.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 5.ed. São Paulo: Ícone, 2005, 355 p.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; SILVA, A.P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 787-794, 2006.
- BOCANEGRA, C.W.R.. **Procedimentos para tornar mais efetivo o uso das redes neurais artificiais em planejamento de transportes**. 2002. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

- BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advances in Soil Science**, v. 9, p. 177-213, 1989.
- BRADFORD, J.L. Penetrability.p. 463-478. In: Klute, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 1986.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. Trad. Antônio B. N. Figueiredo Filho. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.
- BRAGA, A.P.; LUDERMIR, T.B.; CARVALHO, A.C.P.L.F. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LCT, 2000. 262 p.
- BREIMAN L. Bagging predictors. **Machine Learning**, v. 24, p. 123-140, 1996.
- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H.G. dos; FONSECA, O.O.M. da; SANTOS, R.D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C. **Os solos da Fazenda Canchim**. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP: Levantamento semidetalhado, propriedades e potenciais. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS/São Carlos: EMBRAPA-CPPSE, 1998. 95P. (EMBRAPA-CNPS. Boletim de Pesquisa, 7) (EMBRAPA-CPPSE. Boletim de Pesquisa, 2).
- CÂMARA, V.R. **Rede neural para identificação do sexo de bovinos a partir de ressonância magnética nuclear de carnes**. 2006. 30 p. (Monografia de Conclusão de Curso) - Centro Universitário Central Paulista, São Carlos.
- CAMARGO, O.A. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44p.
- CARON J.; RIVIERE, L.M.; CHARPENTIER, S.; RENAULT, P. MICHEL, J.C. Using TDR to estimate hydraulic conductivity and ayr entry in growing media and sand. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 373-383, 2002.
- CASSALES, F.L.G.; MANZATTO, C.V. Aspectos gerais da dinâmica de uso da terra. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIRO, E. PERES, J.R.R. (Ed). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. p. 31- 45.
- CAVALCANTE, L.F.; REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. Determinação da condutividade hidráulica do solo durante a redistribuição da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 77-79, 1978.
- CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 701-709, 2000.
- CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 263-266, 1985.
- CENTURION, J.F.; FREDDI, O.S.; ARATANI, R.G.; METZNER, A.F.M.; BEUTLER, A.N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 199-209, 2007.
- CENTURION, J.F.; MORAES, M.H.; DELLA LIBERA, C.L.F. Comparação de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 173-179, 1997.

- COELHO, E.F.; CONCEIÇÃO, M.A.; SOUZA, V.A.B. Estimativa dos limites de disponibilidade de água em função da densidade global e da textura do solo. **Revista Ceres**, v. 45, p. 183-192, 1998.
- CONCIANI, W.; CARNEIRO, B.J. SOARES, M.M.; HERMANN, P.S.P.; CRESTANA, S. Emprego de TDR com sondas multihastes segmentadas para medida de umidade de um perfil de solo. In: SIMPÓSIO DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA-SIAGRO, 1., São Carlos-SP, 1996. **Anais...** São Carlos, EMBRAPA-CNPDIA, p. 167-173.
- CORNELIS, W.M.; RONSYN, J.; MEIRVENNE, M. V.; HARTMANN, R. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65: 638-648, 2001.
- CRESTANA, S. **A tomografia computadorizada como um novo método párea estudos da física da água no solo**. 1985. 98 p. (Tese de Doutorado em Física) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CRESTANA, S. Técnicas recentes de determinação de características do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10, Florianópolis-SC, 1994. **Resumos...** Florianópolis: SBCS, 1994. p. 86-97.
- CRESTANA, S. Transporte, previsão do destino e balanço de pesticidas no solo. São Carlos: EMBRAPA-NPDIA, 1990. Projeto temático financiado pela FAPESP sob no 90/3773-7.
- CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; VAZ, C.M.P.; CESAREO, R.; MASCARENHAS, S.; REICHARDT, K. Calibração e uso de um tomógrafo computadorizado em ciência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 161-167, 1992.
- CRESTANA, S.; POSADAS, A.N. Dinâmica da água e de solutos na região não-saturada do solo: modelagem determinística e estocástica. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I.; MARTIN NETO, L. & COLNAGO, L.A. eds. **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA-CNPDIA, 1996. p. 263-291.
- CRESTANA, S.; VAZ, C.M.P. Non-invasive instrumentation opportunities for characterizing soil porous systems. **Soil and Tillage Research**, v. 47, p. 19-26, 1998.
- DIRKSEN, C. Soil physical measurements. **Reiskirchen**, Catena Verlag. 1999. 154 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306p.
- ESKES, S.J.T.; CRESTANA, S. **Uma abordagem probabilística para quantificar o movimento de solutos no solo em uma escala de bacia hidrográfica**. São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, n° 9, p. 1-6, 1996 (Pesquisa em andamento).

- FERREIRA, E. J. **Abordagem genética para seleção de um conjunto reduzido de características para construção de ensembles de redes neurais: aplicação à língua eletrônica**. 2005. p. (Dissertação de Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- FILIZOLA, H.F.; FERRACINI, V.L.; SANS, L.M.A.; GOMES, M.A.; FERREIRA, C.J.A. Monitoramento e avaliação de risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guairá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 659-667, 2002.
- GALVÃO, C.O.; VALENÇA, M.J.S. (org.) **Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos a ciências ambientais**. Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, ABRH, 1999. 246 p.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. p. 383-411. *In*: Klute, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 1986.
- GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em um parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 169-177, 2005.
- GUERRA, A.F.; LIMA, J.E.F.W.; RODRIGUES, L.N. Água e irrigação. *In*: **Agroanalysis: Embrapa: excelência no agronegócio brasileiro**. Fundação Getúlio Vargas, ed. especial, v. 24, p. 12-13, 2004.
- HAYAMI, Y., RUTTAN, V.W. **Desenvolvimento agrícola: teoria e experiências internacionais**. Brasília: Embrapa Departamento de Publicações, 1988, p. 47-136.
- HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L.; PRUSKI, F.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J.N. A erosão e seu impacto. *In*: MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIRO, E. PERES, J.R.R. (Ed). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. p. 47-60.
- HILLEL, D. Flow of water in unsaturated soil. *In*: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998. p. 203-241.
- IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p.1493-1500, 2000.
- ISHERWOOD, K.F. **O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente**. International Fertilizer Industry Association, United Nations Environment Programme. Trad. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Paris, 2000. 63p.
- JUCKSCH, I; MENDONÇA, E. de S.; SANTOS, R.H.S. Agricultura alternativa, além de uma opção. *In*: Pesquisa para acompanhar a demanda crescente por agricultura orgânica. **Boletim Informativo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, n. 4, p. 9-13, 2000.
- KERN, J.S. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59: 1134-1141, 1995.
- KITAMURA, A.E.; CARVALHO, M.P.; LIMA, C.G.R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 361-369, 2007.

- LAVORENTI, A. PRATA, F.; REGITANO, J.B. Comportamento de pesticidas em solos – Fundamentos. In: CURI, N.; MARQUES, L.R.G.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H., ed. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 335-400, 2003.
- LEE, J.; HORTON, R. JAYNES, D.B. The feasibility of shallow time domain reflectometry probes to describe solute transport through undisturbed soil cores. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 53-57, 2002.
- LEMOES, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4^a ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 83p.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: Edição do autor, 2000. 509p.
- LIN, H.S.; McINNES, K.J.; WILDING, L.P.; HALLMARK, C.T. Effects of soil morphology on hydraulic properties: II. Hydraulic pedotransfer functions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 955-961, 1999.
- LOBATO, E.J.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Condutividade hidráulica de amostras remoldadas de um latossolo roxo distrófico tratado com água/vinhaça **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 181-188, 1998.
- MANIERI, J.M.; VAZ, C.M.P.; DE MARIA, I.C. Sonda espiral de TDR para a medida da umidade no perfil do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.191-198, 2007.
- MARTIN NETO, L.; VAZ, C.M.P.; MACEDO, A.; NAIME, J.M.; BERNARDI, A.C.C. Avaliação da eficiência do analisador granulométrico com amostras oriundas do controle de qualidade da Embrapa (PAQLF). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto-SP. Resumos expandidos... Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD-ROM.
- MATSON, P.A.; PARTON, W.J. POWER, A.G.; SWIFT, M.J. Agricultural intensification and ecosystem properties. **Science**, v. 277, p. 504-509, 1997.
- MENG, T.P.; TAYLOR, H.M.; FRYREAR, D.W.; GOMEZ, J.F. Models to predict water retention in semiarid sandy soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 1563-1565, 1987.
- MINASNY, B.; McBRATNEY, A.B. The neuro-*m* methods for fitting neural network parametric pedotransfer functions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66: 352-361, 2002.
- MINASNY, B.; McBRATNEY, A.B.; MENDONÇA-SANTOS, M.L.; SANTOS, H.G. **Revisão sobre funções de pedotransferência e novos métodos de predição de classes e atributos do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos - Documentos, nº 45. 2003, 50p.
- MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PINTO, F.A.C.; PRUSKI, F.F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1069-1076, 2006.
- MUALEM, Y. Hydraulic conductivity of unsaturated soil: Predictions and formulas. p. 700-823. In: Klute, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 1986.
- NADLER, A.; GREEN, S.R.; VOGELER, I.; CLOTHIER, B.E. Horizontal and vertical TDR measurement os soils water content and electrical conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 735-743, 2002.

- NAIME, J.M. **Um novo método para estudos dinâmicos, *in situ*, da infiltração da água na região não-saturada do solo**. 2001. 146 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P.; MACEDO, A. Automated soil particle size analyzer based on gamma-ray attenuation. **Computers Electronics in Agriculture**, v. 31, p. 295-304, 2001.
- NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P.; MACEDO, A.; CRESTANA, S. Automação das medidas dos perfis de densidade, umidade e porosidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto, SP. **Resumos expandidos...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. Cd-Rom.
- NISSEN, H.H.; MOLDRUP, P.; KACHANOSKY, R.G. Time domain reflectometry measurements of solute transport across a soil layer boundary. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 62-74, 2000.
- NUNES, T.V.L. **Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso das redes neurais artificiais: trecho de Aquiraz-CE**. 2003. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- OLIVEIRA, J.C.M.; VAZ, C.M.P.; REICHARDT, K.; SWARTZENDRUBER, D. Improved soil particle-size analysis by gamma-ray attenuation. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 61, p. 23-26, 1997.
- OLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; JACOMINE, P.K.T.; RODRIGUES, J.J.V.; MARQUES, F.A. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 315-323, 2002.
- OLIVEIRA, L.F.C.; SARVASI, F.O.C. Determinação da curva de retenção de umidade de um latossolo vermelho-escuro da região de Alfenas por tensiometria. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 21, p. 91-95, 1997.
- PACHEPSKY, Y.A.; RAWLS, W.J.; TIMLIN, D.J. The current status of pedotransfer functions: their accuracy, reliability, and utility in field-and regional-scale modeling. **American Geophysical Union**, p. 223-234, 1999.
- PACHEPSKY, Y.A.; TIMLIN, A D. Neural networks to estimate transport phenomena in soils, **Agronomy Abstract**, p. 239, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1994.
- PACHEPSKY, Y.A.;TIMLIN, AD.; VARALLYAY, G. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60: 727-733, 1996.
- PACHESPY ,Y; RAWLS, W.; GIMENEZ, D.; WATT, J.P.C. Use of abductive networks to predict soil water retention. **Agronomy Abstract**, American Society of Agronomy, Madison, p. 178, 1997.
- PÁDUA, J.A. **Um sopro de destruição: pensamento político e crítica ambiental no Brasil escravista, 1786-1888**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002, 318 p.
- PASCHOAL, A.D. **Produção orgânica de alimentos: agricultura sustentável para os séculos XX e XXI**; guia técnico e normativo para o produtor, o comerciante e o industrial de alimentos orgânicos e insumos naturais. Piracicaba. 279 p. 1994.
- PAULETTI, V.; SEGANFREDO R. **Plantio direto: atualização tecnológica**. São Paulo: Fundação Cargill, Fundação ABC. 1999. 171 p.

- PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 189-195, 1988.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. S. Tomografia computadorizada aplicada a estudos de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 819-826, 2003.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.; CRUVINEL, P.E.; VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A.S.; CRESTANA, S. Utilização da tomografia computadorizada na avaliação da compactação em Terras baixas do RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, MG. **Programação e resumos...** Viçosa: SBCS, 1995. p. 128.
- PEREIRA, G.C. **Mineração de dados para análise e diagnóstico ambiental**. 2005. 194 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- PERRET, J.; PRASHER, S.O; KANTZAS, A.; LANGFORD, C. 3-D visualization of soil macroporosity using x-ray CAT scaninig. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 39, p. 249-261, 1997.
- PERRET, J.; PRASHER, S.O; KANTZAS, A.; LANGFORD, C. A two-domain approach using cat scanning to model solute transport in soil. **Journal Environment Quality**, v.29, p. 995-1010, 2000.
- PERRET, J.; PRASHER, S.O; KANTZAS, A.; LANGFORD, C. Characterization of macropore morphology in a sandy loam soil using x-ray computer assisted tomography and geostatistical analysis. **Canadian Water Resource Journal**, v. 23, p. 143-165, 1998.
- PERRET, J.; PRASHER, S.O; KANTZAS, A.; LANGFORD, C. Three-dimensional quantification of macropore networks in undisturbed soil cores. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1530-1543, 1999.
- PICOLI, M.C.A. **Estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar utilizando agregados de redes neurais artificiais**: estudo de caso Usina Catanduva. 2006. 95 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos: com exercícios resolvidos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos. 2002. 355p.
- PONIZOVSKY, A.A.; CHUDINOVA, S.M.; PACHEPSKY, Y.A. Performance of TDR calibration models as affected by soil texture. **Journal of Hydrology**, v. 218, p. 35-43, 1999.
- PREVEDELLO, C.L.; KOBİYAMA, M.; JACOBS, G.A.; DIVARDIN C.R. Comparação dos métodos do perfil instantâneo e de Van Genuchten na obtenção da condutividade hidráulica de uma areia marinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 1-5, 1995.

- PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C.P.A.; PEDROSO, A.F. CAMARGO, A.C.; RASSINI, J.B.; ROCHA FILHO, J. OLIVEIRA, G.P.; CORREA, L.A.; ARMELIN, M.J.A.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. **Microbacia hidrográfica do Ribeirão Canchim**. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudeste – Boletim de Pesquisa nº 5. 1999.
- PUCKETT, W.E.; DANE, J.H.; HAJEK, B.F. Physical and mineralogical data to determine soil hydraulic properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, 831-836, 1985.
- RAATS, P.A.C. Developments in soil-water physics since the mid 1960s. **Geoderma**, v.100, p.355-87, 2001.
- RAMALHO, J.F.G.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. & VELLOSO, A.C.X., 2000, Contaminação da microbacia de caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. *Pesq. Agrop. Bras.*, 35:1289-1303.
- RAWLS, W.J.; GISH, T.J.; BRAKENSIEK, D.L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. **Advances in Soil Science**, v. 16, p.213-234, 1991.
- RAWLS, W.J.; PACHEPSKY, Y.A. Soil consistence and structure s predictors of water retention. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 1115-1126, 2002.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole. 1990. 171 p.
- REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; VILLAGRA, M.M. Estimativa de fluxos de água em solos não saturados. **Bragantia**, v. 52, p. 83-87, 1993.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole. 2004. 478 p.
- RIGHETTO, A.M. Infiltração e água no solo. In: _____. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: Edusp, 1998, p. 555-654.
- ROQUE, C.G.; CENTURION, J.F.; PEREIRA, G.T.; BEUTLER, A.N. Variabilidade espacial de atributos físicos em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com seringueira. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., Cuiabá, 2002. **Anais...** Cuiabá, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-ROM.
- ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. 2001. 145 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- ROSSI, C.; NIMMO, J.R. Modeling soil water retention from saturation to oven dryness. **Water Research Resource**, v. 30, p. 701-708, 1994.
- SANTOS, E.E.F.; RIBEIRO, M.R. Influência da irrigação e do cultivo nas propriedades de um latossolo e um argilossolo da região do submédio são Francisco: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 875-884, 2000.
- SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S.; PAPENDICK, R.I. Estimating generalized soil-water characteristic from texture. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 1031-1036, 1986.
- SCARDUA, R. Dinâmica da água. In: _____. **Irrigação**. Piracicaba: Centro Acadêmico “Luiz de Queiroz”, 1984. p. 119.

- SCHAAP, M.; BOUTEN, W. Modeling water retention curves of sandy soils using neural networks. **Water Research Resource**, v. 32, p. 3033-3040, 1996.
- SCHAAP, M.G.; LEIJ, F.J.; van GENUCHTEN, M.T. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 847-855, 1998.
- SCHUH, W.M.; CLINE R.L.; SWEENEY, M.D. Comparison of laboratory procedure and a texture model predicting in situ soil water retention. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 1218-1227, 1988.
- SCORZA JÚNIOR, R.P. **Contaminação de recursos hídricos por pesticidas: uma ameaça à agricultura moderna**. Disponível em: <http://www.jornalexpress.com.br/noticias/detalhes.php> (acesso em 10/04/2004).
- SCOTT, D.H. Soil water principles. In: Soil physics: agricultural and environmental applications. Ames: Iowa State University Press, 2000. p. 165-212.
- SERRANA FERTILIZANTES. **O Mercado**. Disponível em: http://www.serrana.com.br/f_mercado.asp (acesso em 02/04/2004).
- SHAW, B.J.; HAISE, H.R.; FARNSWORTH, R.B. Four years experience with a soil penetrometer. **Soil Science Society American Proceedings**, v. 7, p. 48-55, 1942.
- SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, J.F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 833-842, 2005.
- SIMÕES, W.L.; SILVA, E.L.; LIMA, D.M.; OLIVEIRA, M.S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1061-1068, 2006.
- SINDAG-SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA. **Informações do setor: informações**. Disponível em: <http://www.sindag.com.br/new/setor> (acesso em 25/04/2007).
- SOUZA, Z.M.; SILVA, M.L.S. GUIMARÃES, G.L.; CAMPOS, D.T.S.; CARVALHO, M.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 699-707, 2001.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p.229-235, 1991.
- STRINI, E.J. **Previsão da incidência de dengue por meio de redes neurais artificiais**. 2006. 52 p. Monografia (Curso de Informática Biomédica) – Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- TAMARI, S.; WOSTEN, J.H.M.; RUIZ-SUAREZ, J.C. Testing an artificial neural network for predicting soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 1732-1741, 1996.

- TAVARES, FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 725-730, 2001.
- TIMLIN, D.; PACHESPSKY, Y. Infiltration measurement using a vertical time-domain reflectometry probe and a reflection simulation model. **Soil Science**, v. 167, p.1-8, 2002.
- TIMM, L.C.; GOMES, D.T.; BARBOSA, E.P.; REICHARDT, K.; SOUZA, M.D.; DYNIA, J.F. Neural network and state-space models for studying relationships among soil properties. **Scientia Agricola**, v. 63, p. 386-395, 2006.
- TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G.; ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 327-338, 2000.
- TOMASELLA, J.; PACHEPSKY, Y.A.; CRESTANA, S.; RAWLS, W.J. Comparison of two approximation techniques to develop pedotransfer functions for Brazilian soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 1085-1092, 2003.
- TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. **Water Research Resource**, v. 16, p. 574-582, 1980.
- TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDASKI, J; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 211-219, 2007.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 333-339, 1996.
- TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. **Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.2, p. 135-152, 1997.
- TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RIMA, IIE, 2003. 248 p.
- van den BERG.M.; KLAMT, E.; REEUWIJK van, L.P.; SOMBROEK, W.G. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristic of ferralsols and related soils. **Geoderma**, v. 78, p. 161-180, 1997.
- VAZ, C.M.P. Automatic gamma-ray equipment for multiple soil physical properties measurements. In: COLLEGE ON SOIL PHYSICS, Trieste. 2003. **Anais...** Trieste, Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics: UNESCO: International Atomic Energy Agency, 2003. 6 f. Cd-Rom.
- VAZ, C.M.P.; BASSOI, L.H.; HOPMANS, J.W. Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measured by a combined cone penetrometer-TDR probe. **Soil and Tillage Research**, v. 60, p. 35-42, 2001.
- VAZ, C.M.P.; HOPMANS, J.W. Simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer-TDR moisture probe. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 4-12, 2001.
- VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. **Analizador granulométrico de solos**. São Carlos, EMBRAPA/CNPDIA - Comunicado técnico, nº 5. 1996b, 5p.

- VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. Análise da textura de solos por atenuação de raios gama. In: SIMPÓSIO DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA-SIAGRO, 1., São Carlos-SP, 1996a. **Anais...** São Carlos, EMBRAPA-CNPDI, p. 515-518.
- VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. Soil particle size fractions determined by gamma-ray attenuation. **Soil Science**, v. 164, p. 403-410, 1999.
- VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A.; MELLO, S. **Análise granulométrica por raios gama**. São Carlos, EMBRAPA/CNPDI - Boletim de Pesquisa, nº 5. 1997, 13p.
- VAZ, C.M.P.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; BACCHI, O.O.S. Soil mechanical analysis through gamma ray attenuation. **Soil Technology**, v. 5, p. 319-325, 1992.
- VAZ, C.M.P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V.C.; IOSSI, M.F. **Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto**. São Carlos, EMBRAPA/CNPDI - Comunicado técnico, nº 51. 2002, 5p.
- VAZ, C.M.P.; REPEKE, J.F.C.; CRESTANA, S.; NAIME, J.M.; CRUVINEL, P.E. Relações entre resistência à penetração, densidade e umidade do solo. In: SIMPÓSIO DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA-SIAGRO, 1., São Carlos-SP, 1996c. **Anais...** São Carlos, EMBRAPA-CNPDI, p. 519-525.
- VAZQUES, L.; MYHRE, D.L.; HANLON, E.A.; GALLAHER, R.N. Soil penetrometer resistance and bulk density relationships after long-term no tillage. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 22, p. 2101-2117, 1991.
- VERECKEN, H.; MAES, J.; FEYEN, J.; DARIUS, P. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content. **Soil Science**, v.148, p.389-403, 1989.
- VOGELER, I.; DUWING, C.; CLOTHIER, B.E.; GREEN, S.R. A simple approach to determine reactive solute transport using time domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 12-18, 2000.
- WILDENSCHILD, D.; HOPMANS, J.W.; VAZ, C.M.P.; RIVERS, M.L. RIKARD, D.; CHRISTENSEN, B.S.B. Using X-ray computed tomography in hydrology: systems, resolutions, and limitations. **Journal of Hydrology**, v. 267, p. 285-297, 2002.
- WILLIAMS, R.D.; AHUJA, L.R.; NANEY, J.W. Comparison of methods to estimate soil water characteristics from soil texture, bulk density, and limited data. **Soil Science**, v.153, p.172-184, 1992.
- WITTEN, I. H.; EIBE, F.; **"Data Mining: Practical machine learning tools and techniques"**, San Francisco: 2nd Edition, Morgan Kaufmann, 2005. 525 p.
- WOSTEN, J.H.M.; VAN GENUCHTEN, M.T. Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 1762-1770, 1988.
- XU, L.; BALL, J.W.; DIXON, S.L.; JURS, P.C. Quantitative structure-activity relationship for toxicity of phenols using regression analysis and computational neural networks. **Environment Toxicology Chemical**, v. 13, p. 841-851, 1994.

APÊNDICE A – Valores de granulometria de cada profundidade nos diferentes sistemas de manejo e solo

Tabela 1. Valores de granulometria nas cinco profundidades (z) e suas respectivas repetições (Rep.) sob diferentes sistemas de manejo do LVAd.

	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
z (m)	0,1			0,2			0,3			0,4			0,6		
Rep.	Coberto														
1	724	39	237	773	21	207	755	16	229	662	56	282	694	36	270
2	747	29	224	746	59	195	745	7	248	701	27	272	717	13	270
3	725	37	238	773	21	207	755	16	229	662	56	282	694	36	270
4	746	31	223	745	60	194	745	7	248	699	31	270	704	23	273
5	736	34	231	759	40	201	750	12	238	681	43	276	699	29	271
	Descoberto														
1	730	31	239	757	24	219	713	10	276	716	42	242	675	36	290
2	728	5	267	746	62	193	707	45	248	733	11	256	649	58	293
3	731	29	240	754	26	220	697	35	268	717	30	252	672	41	287
4	717	27	256	765	14	222	677	45	277	733	11	256	653	60	286
5	724	28	248	754	20	226	691	33	276	725	21	254	662	45	292
	Mata														
1	774	55	171	807	4	189	728	31	242	713	65	223	687	44	270
2	811	20	169	782	18	200	705	58	237	705	27	268	683	41	276
3	774	55	171	807	4	189	728	31	242	711	46	244	689	38	272
4	811	20	169	782	18	200	713	50	237	688	66	246	678	57	265
5	793	37	170	795	11	194	720	40	239	699	56	245	685	42	273

Tabela 2. Valores de granulometria nas cinco profundidades (z) e suas respectivas repetições (Rep.) sob diferentes sistemas de manejo do LVe.

	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
z (m)	0,1			0,2			0,3			0,4			0,6		
Rep.	Coberto														
1	585	86	328	536	92	372	533	39	428	491	70	440	528	29	443
2	590	63	346	574	72	354	492	75	433	505	97	399	531	13	456
3	606	59	335	536	92	372	513	70	418	491	96	413	529	43	427
4	580	93	337	544	104	352	492	75	433	509	69	422	536	50	414
5	593	76	336	540	98	362	502	72	425	500	83	418	533	47	420
	Descoberto														
1	590	69	341	567	63	370	506	85	409	521	79	400	475	120	405
2	564	46	390	539	84	377	485	95	420	538	37	425	547	59	394
3	590	69	341	567	63	370	506	85	409	521	79	400	475	120	405
4	606	46	349	539	84	377	502	95	403	518	68	413	535	80	385
5	598	57	345	553	73	374	504	90	406	520	74	407	505	100	395
	Mata														
1	456	152	392	474	121	405	460	121	419	481	126	394	500	89	411
2	488	99	413	478	95	426	493	92	415	502	63	435	501	80	419
3	456	152	392	474	121	405	462	118	420	446	126	427	501	80	419
4	469	123	408	478	95	426	465	122	413	466	98	436	488	107	405
5	463	137	400	476	108	416	464	120	417	456	112	432	494	94	412

Tabela 3. Valores de granulometria nas cinco profundidades (z) e suas respectivas repetições (Rep.) sob diferentes sistemas de manejo do LVdf.

	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
z (m)	0,1			0,2			0,3			0,4			0,6		
Rep.	Coberto														
1	561	89	350	456	120	424	465	83	451	446	91	463	431	148	422
2	537	118	345	472	120	408	476	91	433	429	124	447	471	122	406
3	569	74	357	456	120	424	467	85	447	446	91	463	429	146	426
4	510	154	336	472	120	408	476	91	433	425	128	447	469	120	410
5	540	114	347	464	120	416	472	88	440	436	109	455	449	133	418
	Descoberto														
1	507	99	394	435	126	439	450	102	448	521	79	400	463	97	440
2	512	74	414	447	115	438	455	103	442	519	66	415	458	101	442
3	507	99	394	435	126	439	450	102	449	521	79	400	463	96	441
4	520	72	408	425	138	437	462	83	455	518	68	413	458	96	446
5	514	85	401	430	132	438	456	92	452	520	74	407	461	96	443
	Mata														
1	470	92	438	461	81	458	425	120	455	426	105	469	458	112	430
2	489	70	441	455	101	444	419	132	449	465	65	470	485	73	442
3	490	72	438	461	82	457	425	120	455	427	102	470	457	111	431
4	484	75	441	435	106	459	421	129	451	437	88	475	466	95	440
5	487	74	440	448	94	458	423	124	453	432	95	473	461	103	436

Tabela 4. Valores de granulometria nas cinco profundidades (z) e suas respectivas repetições (Rep.) sob diferentes sistemas de manejo do NVef.

	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
z (m)	0,1			0,2			0,3			0,4			0,6		
Rep.	Coberto														
1	501	167	333	502	151	347	517	166	318	549	150	301	503	186	311
2	498	240	262	489	216	294	507	199	294	551	125	324	498	215	287
3	490	178	332	502	151	347	517	166	318	545	158	297	503	186	311
4	499	239	262	489	216	294	509	201	290	529	193	279	507	206	288
5	499	204	297	496	184	321	513	184	304	543	156	300	500	196	304
	Descoberto														
1	652	234	114	624	255	121	639	285	76	641	289	70	644	263	93
2	646	232	122	615	297	88	648	261	92	654	199	147	622	278	100
3	619	265	116	624	255	121	639	285	76	641	290	70	651	234	115
4	623	282	95	615	297	88	648	261	92	654	199	147	629	252	119
5	635	253	112	619	276	105	643	273	84	648	244	108	637	257	107

APÊNDICE B – Valores de resistência à penetração para os diferentes sistemas de manejo e solo.

Tabela 1. Valores de resistência à penetração (RP), obtida com o penetrômetro associado a sonda de TDR e convertidos para o índice de cone (IC), com suas respectivas umidades (θ), para os diferentes sistemas de manejo e solo.

Rep.	RP _{TDR}	RP _{IC}	θ	RP _{TDR}	RP _{IC}	θ	RP _{TDR}	RP _{IC}	θ
Coberto			Descoberto				Mata		
LVAd									
1	5,27	3,25	0,1392	4,18	2,62	0,1097	1,64	1,13	0,1588
2	5,42	3,34	0,1581	4,66	2,90	0,0872	1,54	1,07	0,1334
3	5,04	3,11	0,1753	5,04	3,12	0,0849	1,36	0,97	0,1559
4	4,62	2,87	0,1661	5,30	3,27	0,0824	1,76	1,22	0,1789
5	5,87	3,60	0,1472	4,61	2,86	0,0628	1,88	1,27	0,2048
LVe									
1	4,32	2,69	0,2059	6,01	3,69	0,1809	2,92	1,87	0,0934
2	5,33	3,28	0,2918	5,70	3,51	0,2106	2,07	1,38	0,0737
3	5,45	3,36	0,1957	7,66	4,65	0,2482	2,63	1,71	0,0861
4	8,31	5,03	0,3169	7,23	4,39	0,2719	2,12	1,41	0,2315
5	7,61	4,62	0,2824	5,98	3,67	0,2813	2,27	1,50	0,2034
LVdf									
1	4,69	2,91	0,3599	3,94	2,47	0,3627	3,08	1,97	0,1651
2	5,21	3,21	0,3697	4,44	2,76	0,3648	2,04	1,36	0,1534
3	4,97	3,08	0,3645	4,43	2,82	0,3464	3,51	2,22	0,2380
4	5,44	3,35	0,3698	4,66	2,90	0,3773	1,82	1,23	0,1133
5	4,69	2,91	0,3464	4,39	2,74	0,3672	3,45	2,19	0,1130

Tabela 1. Valores de resistência à penetração (RP), obtida com o penetrômetro associado a sonda de TDR e convertidos para o índice de cone (IC), com suas respectivas umidades (θ), para os diferentes sistemas de manejo e solo (continuação).

Rep.	RP _{TDR}	RP _{Stolf}	θ	RP _{TDR}	RP _{Stolf}	θ	RP _{TDR}	RP _{Stolf}	θ
Coberto				Descoberto			Mata		
NVef									
1	9,74	5,87	0,2696	5,60	3,45	0,2425	-	-	-
2	7,01	4,27	0,2219	5,53	3,40	0,3264	-	-	-
3	8,63	5,22	0,2301	6,18	3,78	0,2990	-	-	-
4	7,28	4,43	0,2309	6,23	3,81	0,3210	-	-	-
5	8,90	5,37	0,2269	6,61	4,03	0,3339	-	-	-

APÊNDICE C – Equações regressão das curvas de retenção de água obtidas por meio do método de Richards e da técnica da tomografia computadorizada nos diferentes sistemas de manejo e solo.

Tabela 1. Equações regressão das curvas de retenção de água obtidas por meio do método de Richards¹ e da técnica da tomografia computadorizada, com seus respectivos coeficientes de determinação, nos diferentes sistemas de manejo e solo.

Solo / Manejo	Profundidade (m)	Equações	R ²
Richards			
LVAd / coberto	0,1	$\theta = 0,1357\Psi^{-0,0474}$	0,9255
	0,2	$\theta = 0,1214\Psi^{-0,0600}$	0,8734
LVAd / descoberto	0,1	$\theta = 0,1490\Psi^{-0,0378}$	0,8464
	0,2	$\theta = 0,1453\Psi^{-0,0325}$	0,8964
LVAd / mata	0,1	$\theta = 0,1361\Psi^{-0,0865}$	0,8882
	0,2	$\theta = 0,1384\Psi^{-0,0758}$	0,8743
LVe / coberto	0,1	$\theta = 0,1898\Psi^{-0,0658}$	0,8337
	0,2	$\theta = 0,1772\Psi^{-0,0818}$	0,7883
LVe / descoberto	0,1	$\theta = 0,1792\Psi^{-0,0694}$	0,9393
	0,2	$\theta = 0,1766\Psi^{-0,1050}$	0,9318
LVe / mata	0,1	$\theta = 0,1755\Psi^{-0,0763}$	0,9212
	0,2	$\theta = 0,1834\Psi^{-0,0810}$	0,9487
LVdf / coberto	0,1	$\theta = 0,2011\Psi^{-0,0750}$	0,9911
	0,2	$\theta = 0,1980\Psi^{-0,0695}$	0,9964
LVdf / descoberto	0,1	$\theta = 0,2021\Psi^{-0,1215}$	0,9931
	0,2	$\theta = 0,1987\Psi^{-0,1102}$	0,9658
NVef / coberto	0,1	$\theta = 0,1850\Psi^{-0,0673}$	0,9119
	0,2	$\theta = 0,1844\Psi^{-0,0719}$	0,9455
Tomografia computadorizada			
LVAd / coberto	0,0 - 0,18	$\theta = 0,2522\Psi^{-0,5701}$	0,9663
LVAd / descoberto	0,0 - 0,18	$\theta = 0,2778\Psi^{-0,2206}$	0,9854
LVAd / mata	0,0 - 0,18	$\theta = 0,2675\Psi^{-0,7465}$	0,9352
LVe / coberto	0,0 - 0,18	$\theta = 0,4278\Psi^{-0,1676}$	0,9437
LVe / descoberto	0,0 - 0,18	$\theta = 0,4740\Psi^{-0,1638}$	0,9545
LVe / mata	0,0 - 0,18	$\theta = 0,4857\Psi^{-0,1853}$	0,9482
LVdf / coberto	0,0 - 0,18	$\theta = 0,4791\Psi^{-0,2771}$	0,9737
LVdf / descoberto	0,0 - 0,18	$\theta = 0,4956\Psi^{-0,1899}$	0,9475
NVef / coberto	0,0 - 0,18	$\theta = 0,4424\Psi^{-0,1608}$	0,9251

¹Nas profundidades de 0,1 e 0,2 m.

APÊNDICE D – Resultados provenientes da Rede Neural Artificial simples

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.functions.MultilayerPerceptron -L 0.1 -M 0.26 -N 13000 -V 0 -S 0
-E 20 -H 7

Relation: solo

Instances: 275

Attributes: 8

Profundidade (ID)

Tensao

Densidade

Areia

Silte

Argila

Resistencia

Umidade volumétrica (class)

Test mode: 10-fold cross-validation

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold 0.5513073792053576

Node 1 2.3908853631914098

Node 2 -1.005931247299755

Node 3 -0.7438058958977308

Node 4 -0.4877488658147713

Node 5 -1.0174430825189276

Node 6 0.4813111052787871

Node 7 0.6528237295442443

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -17.79026838478592

Attrib ID 0.062121107585558534

Attrib Tensao -16.32480146893184

Attrib Densidade 0.5091088425131199

Attrib Areia -0.24961807507454475

Attrib Silte 0.20391542217619424

Attrib Argila 0.7245648715907256

Attrib Resistencia 0.050084282383594976

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -3.102839157007753

Attrib ID -0.5317581874478275

Attrib Tensao 2.5828268666016676

Attrib Densidade 0.30084444430138474

Attrib Areia -2.087831359247109

Attrib Silte -2.1521099556074073

Attrib Argila 3.941523424517802

Attrib Resistencia -10.964429157922973

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -0.5584152754839798
 Attrib ID -0.3088585617259389
 Attrib Tensao 1.0529156360004523
 Attrib Densidade -1.3991721450999375
 Attrib Areia -0.324994862980878
 Attrib Silte 2.253164027307029
 Attrib Argila -1.2521348139443875
 Attrib Resistencia 1.2125535403078056
 Sigmoid Node 4
 Inputs Weights
 Threshold -6.988735053690436
 Attrib ID 0.8152777543602417
 Attrib Tensao 0.2879116932255454
 Attrib Densidade 3.4190589957937707
 Attrib Areia 4.217165068369101
 Attrib Silte 0.2563205343719116
 Attrib Argila -6.476351545363201
 Attrib Resistencia -4.786373973747539
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold 1.9046282833900023
 Attrib ID 0.70637003954374
 Attrib Tensao -1.6496698876478213
 Attrib Densidade -1.1890880170204594
 Attrib Areia 1.3024478631557779
 Attrib Silte 0.5896934287841592
 Attrib Argila -2.726026905207663
 Attrib Resistencia 9.480079880962995
 Sigmoid Node 6
 Inputs Weights
 Threshold -3.3677562757969586
 Attrib ID 1.5481609854869811
 Attrib Tensao -0.05217872098188177
 Attrib Densidade 3.886787367178459
 Attrib Areia -2.6564382037342367
 Attrib Silte -0.43926633666159604
 Attrib Argila 4.630998323662319
 Attrib Resistencia 0.8482159348450464
 Sigmoid Node 7
 Inputs Weights
 Threshold -0.9652921152449827
 Attrib ID -0.4140877943832522
 Attrib Tensao 0.8648580892086475
 Attrib Densidade -3.2079934371489722
 Attrib Areia 0.7620396677039826
 Attrib Silte 3.8486113029523574
 Attrib Argila -3.213296794536891
 Attrib Resistencia 1.4240618997410324
 Class
 Input
 Node 0

Time taken to build model: 40.09 seconds

=== Predictions on test data ===

inst#	actual	predicted	error
1	0.24	0.213	-0.027
2	0.137	0.133	-0.004
3	0.222	0.204	-0.017
4	0.143	0.154	0.012
5	0.254	0.246	-0.008
6	0.142	0.134	-0.008
7	0.154	0.142	-0.012
8	0.239	0.238	-0.001
9	0.177	0.16	-0.017
10	0.324	0.287	-0.037
11	0.179	0.186	0.006
12	0.327	0.361	0.034
13	0.218	0.208	-0.011
14	0.214	0.199	-0.015
15	0.26	0.261	0.002
16	0.148	0.13	-0.018
17	0.173	0.174	0.001
18	0.226	0.205	-0.021
19	0.352	0.358	0.006
20	0.284	0.283	-0.001
21	0.187	0.206	0.02
22	0.261	0.239	-0.023
23	0.142	0.125	-0.017
24	0.133	0.135	0.002
25	0.178	0.183	0.005
26	0.168	0.183	0.015
27	0.243	0.225	-0.018
28	0.191	0.189	-0.002
1	0.21	0.208	-0.002
2	0.142	0.146	0.004
3	0.208	0.219	0.011
4	0.253	0.234	-0.019
5	0.202	0.219	0.017
6	0.157	0.172	0.015
7	0.209	0.218	0.009
8	0.232	0.253	0.021
9	0.209	0.2	-0.008
10	0.23	0.238	0.008
11	0.26	0.257	-0.003
12	0.32	0.338	0.018
13	0.18	0.183	0.003
14	0.207	0.215	0.008
15	0.258	0.252	-0.006
16	0.152	0.148	-0.004
17	0.206	0.208	0.002
18	0.194	0.207	0.013

19	0.34	0.318	-0.021
20	0.139	0.138	0
21	0.231	0.216	-0.015
22	0.189	0.208	0.019
23	0.187	0.191	0.003
24	0.215	0.202	-0.013
25	0.232	0.242	0.01
26	0.186	0.209	0.023
27	0.37	0.373	0.003
28	0.298	0.258	-0.04
1	0.283	0.296	0.013
2	0.224	0.244	0.02
3	0.127	0.145	0.018
4	0.18	0.197	0.017
5	0.209	0.218	0.01
6	0.276	0.274	-0.002
7	0.292	0.292	0
8	0.299	0.29	-0.01
9	0.242	0.232	-0.01
10	0.179	0.193	0.014
11	0.192	0.203	0.011
12	0.205	0.212	0.007
13	0.158	0.159	0.002
14	0.284	0.259	-0.025
15	0.382	0.398	0.016
16	0.218	0.207	-0.011
17	0.283	0.256	-0.028
18	0.181	0.195	0.014
19	0.258	0.267	0.009
20	0.145	0.152	0.007
21	0.169	0.168	-0.001
22	0.231	0.236	0.005
23	0.153	0.175	0.023
24	0.156	0.145	-0.01
25	0.177	0.181	0.004
26	0.153	0.181	0.028
27	0.185	0.193	0.009
28	0.189	0.203	0.013
1	0.162	0.168	0.006
2	0.246	0.232	-0.014
3	0.283	0.311	0.029
4	0.18	0.185	0.005
5	0.222	0.217	-0.005
6	0.159	0.149	-0.009
7	0.189	0.196	0.007
8	0.15	0.142	-0.008
9	0.144	0.148	0.004
10	0.254	0.245	-0.01
11	0.213	0.206	-0.007
12	0.218	0.22	0.003
13	0.159	0.162	0.003
14	0.221	0.214	-0.007

15	0.144	0.131	-0.013
16	0.184	0.194	0.009
17	0.143	0.136	-0.007
18	0.196	0.204	0.008
19	0.197	0.21	0.013
20	0.16	0.151	-0.009
21	0.242	0.24	-0.002
22	0.244	0.24	-0.003
23	0.151	0.147	-0.004
24	0.181	0.191	0.011
25	0.27	0.313	0.042
26	0.187	0.167	-0.02
27	0.164	0.183	0.019
28	0.261	0.256	-0.005
1	0.189	0.182	-0.007
2	0.22	0.232	0.012
3	0.323	0.338	0.015
4	0.154	0.155	0.001
5	0.148	0.14	-0.008
6	0.154	0.165	0.011
7	0.177	0.187	0.01
8	0.272	0.266	-0.006
9	0.149	0.136	-0.012
10	0.204	0.196	-0.008
11	0.238	0.233	-0.005
12	0.149	0.151	0.002
13	0.195	0.172	-0.023
14	0.241	0.235	-0.006
15	0.148	0.141	-0.007
16	0.15	0.152	0.003
17	0.182	0.183	0.001
18	0.19	0.171	-0.019
19	0.227	0.23	0.003
20	0.194	0.216	0.022
21	0.18	0.186	0.006
22	0.147	0.149	0.001
23	0.36	0.31	-0.051
24	0.143	0.147	0.004
25	0.271	0.27	0
26	0.123	0.151	0.028
27	0.217	0.227	0.01
28	0.173	0.181	0.007
1	0.274	0.265	-0.009
2	0.241	0.258	0.016
3	0.136	0.154	0.018
4	0.236	0.228	-0.008
5	0.258	0.247	-0.011
6	0.196	0.19	-0.007
7	0.296	0.3	0.004
8	0.191	0.187	-0.004
9	0.129	0.133	0.004
10	0.161	0.181	0.02

11	0.289	0.275	-0.014
12	0.236	0.224	-0.012
13	0.269	0.266	-0.003
14	0.215	0.204	-0.011
15	0.144	0.14	-0.003
16	0.185	0.194	0.009
17	0.236	0.238	0.002
18	0.242	0.249	0.007
19	0.191	0.179	-0.013
20	0.259	0.263	0.004
21	0.279	0.266	-0.013
22	0.228	0.229	0.001
23	0.265	0.261	-0.004
24	0.193	0.178	-0.015
25	0.203	0.206	0.003
26	0.311	0.314	0.004
27	0.245	0.24	-0.005
1	0.237	0.243	0.006
2	0.245	0.234	-0.011
3	0.178	0.189	0.01
4	0.144	0.133	-0.011
5	0.16	0.132	-0.027
6	0.192	0.191	-0.001
7	0.218	0.217	-0.001
8	0.229	0.214	-0.015
9	0.195	0.164	-0.031
10	0.147	0.145	-0.002
11	0.168	0.159	-0.009
12	0.411	0.416	0.005
13	0.253	0.304	0.051
14	0.386	0.369	-0.017
15	0.285	0.283	-0.002
16	0.227	0.231	0.004
17	0.273	0.255	-0.018
18	0.264	0.28	0.016
19	0.33	0.327	-0.003
20	0.157	0.142	-0.016
21	0.173	0.161	-0.012
22	0.24	0.24	0
23	0.151	0.138	-0.013
24	0.16	0.135	-0.025
25	0.295	0.306	0.011
26	0.2	0.192	-0.007
27	0.198	0.217	0.019
1	0.241	0.229	-0.012
2	0.232	0.236	0.004
3	0.267	0.261	-0.005
4	0.251	0.255	0.004
5	0.183	0.185	0.001
6	0.196	0.209	0.013
7	0.233	0.238	0.005
8	0.197	0.189	-0.008

9	0.155	0.134	-0.021
10	0.246	0.247	0.001
11	0.184	0.187	0.003
12	0.204	0.202	-0.002
13	0.221	0.239	0.018
14	0.218	0.172	-0.047
15	0.173	0.178	0.005
16	0.201	0.201	0
17	0.162	0.161	-0.001
18	0.184	0.175	-0.008
19	0.209	0.191	-0.018
20	0.176	0.185	0.009
21	0.258	0.254	-0.004
22	0.195	0.19	-0.005
23	0.142	0.133	-0.009
24	0.19	0.203	0.012
25	0.146	0.133	-0.013
26	0.28	0.259	-0.021
27	0.298	0.296	-0.002
1	0.228	0.215	-0.013
2	0.212	0.194	-0.018
3	0.173	0.18	0.007
4	0.217	0.192	-0.025
5	0.196	0.193	-0.002
6	0.201	0.207	0.005
7	0.291	0.296	0.005
8	0.219	0.219	0
9	0.221	0.253	0.032
10	0.224	0.227	0.003
11	0.254	0.262	0.008
12	0.159	0.179	0.02
13	0.321	0.247	-0.073
14	0.25	0.26	0.01
15	0.194	0.158	-0.036
16	0.253	0.284	0.031
17	0.198	0.193	-0.005
18	0.221	0.235	0.014
19	0.302	0.295	-0.007
20	0.25	0.265	0.015
21	0.137	0.136	-0.001
22	0.237	0.242	0.005
23	0.144	0.158	0.014
24	0.254	0.26	0.006
25	0.244	0.235	-0.009
26	0.221	0.215	-0.006
27	0.151	0.14	-0.011
1	0.287	0.276	-0.011
2	0.195	0.192	-0.002
3	0.16	0.142	-0.017
4	0.192	0.191	-0.001
5	0.173	0.178	0.005
6	0.207	0.206	0

7	0.219	0.23	0.011
8	0.182	0.171	-0.011
9	0.238	0.234	-0.004
10	0.184	0.18	-0.004
11	0.238	0.226	-0.012
12	0.204	0.195	-0.009
13	0.218	0.222	0.004
14	0.264	0.243	-0.021
15	0.273	0.28	0.006
16	0.233	0.232	-0.001
17	0.208	0.175	-0.033
18	0.224	0.21	-0.014
19	0.182	0.185	0.003
20	0.185	0.181	-0.004
21	0.185	0.178	-0.007
22	0.171	0.164	-0.007
23	0.258	0.234	-0.024
24	0.184	0.176	-0.007
25	0.296	0.279	-0.017
26	0.174	0.179	0.005
27	0.276	0.267	-0.009

==== Cross-validation ====

==== Summary ====

Correlation coefficient	0.9621
Mean absolute error	0.011
Root mean squared error	0.0147
Relative absolute error	25.7474 %
Root relative squared error	27.5889 %
Total Number of Instances	275

**APÊNDICE E – Resultados originários da Rede Neural Artificial tipo
*Bagging***

==== Run information ====

Scheme: weka.classifiers.meta.Bagging -P 100 -S 1 -I 30 -W
weka.classifiers.functions.MultilayerPerceptron -- -L 0.12 -M 0.17 -N 12000 -V 0 -S 0 -E 20 -H
7

Relation: solo

Instances: 275

Attributes: 8

Profundidade (ID)

Tensao

Densidade

Areia

Silte

Argila

Resistencia

Umidade volumétrica (class)

Test mode: 10-fold cross-validation

==== Classifier model (full training set) ====

All the base classifiers:

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold -0.23190639195372803

Node 1 2.015149885393023

Node 2 -1.3174872203926438

Node 3 1.3833929351848824

Node 4 -0.6313431101635566

Node 5 -0.28470656027720953

Node 6 1.6959192470253086

Node 7 -1.733871262950867

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -16.936212163057746

Attrib ID -0.15242027972180083

Attrib Tensao -16.104437587604046

Attrib Densidade 0.5792880349039147

Attrib Areia -0.2319687404948277

Attrib Silte 0.8148743984388332

Attrib Argila 1.1608310274141755

Attrib Resistencia -0.5098190805655097

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -8.784418799532611

Attrib ID -0.585188710643231

Attrib Tensao -6.059361855337934

Attrib Densidade -0.2574521879421849

Attrib Areia -2.669956821046925

Attrib Silte 1.5533778225441162

Attrib Argila 1.5373316719972376

Attrib Resistencia -3.231049953971499

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -5.222015596186288

Attrib ID 0.056212041138204064

Attrib Tensao 3.176356120463872

Attrib Densidade -0.9539621353181247

Attrib Areia 0.30944251771675885

Attrib Silte -0.721942975351992

Attrib Argila 0.04996486498337417

Attrib Resistencia 2.2673088422417442

Sigmoid Node 4

Inputs Weights

Threshold -6.571720906467119

Attrib ID 0.509490847911696

Attrib Tensao 0.6389137475791102

Attrib Densidade 1.1037429704513364

Attrib Areia 5.076843217178342

Attrib Silte -0.24487122436042394

Attrib Argila -8.024709051762738

Attrib Resistencia -6.717858110731752

Sigmoid Node 5

Inputs Weights

Threshold -1.032752615717586

Attrib ID 0.39534334937327337

Attrib Tensao -3.374295722798633

Attrib Densidade -6.724254514486934

Attrib Areia -0.6568267753425748

Attrib Silte 1.323822278444248

Attrib Argila -0.25787961161688533

Attrib Resistencia 8.795815566170113

Sigmoid Node 6

Inputs Weights

Threshold -2.172187571700813

Attrib ID 0.21478987328175547

Attrib Tensao 0.8404194139939263

Attrib Densidade 0.6883019488459089

Attrib Areia -1.0969709213842416

Attrib Silte 2.266710331184894

Attrib Argila 1.1920304191459026

Attrib Resistencia 0.42614999540507403

Sigmoid Node 7

Inputs Weights

Threshold -2.3089163610070855

Attrib ID 0.09277030655263685

Attrib Tensao 2.4440127698415677

Attrib Densidade -0.16728824113149446

Attrib Areia -1.1624355556292887

Attrib Silte 0.8636380553334526

Attrib Argila 0.4498651536045693

Attrib Resistencia 1.5408578546875378

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs	Weights
Threshold	0.6535593496853829
Node 1	1.933571404144657
Node 2	-1.2134952235011685
Node 3	-1.0267454200060042
Node 4	-1.4476994516996036
Node 5	0.3241055400856744
Node 6	0.9806666883266663
Node 7	2.7770239405409427

Sigmoid Node 1

Inputs	Weights
Threshold	-19.03555307980407
Attrib ID	-0.03286607864082129
Attrib Tensao	-18.023711160410873
Attrib Densidade	0.860266294716177
Attrib Areia	-0.7196563241873375
Attrib Silte	0.6484900744738117
Attrib Argila	0.06906289654087676
Attrib Resistencia	0.38368347037250583

Sigmoid Node 2

Inputs	Weights
Threshold	-0.1778840577298926
Attrib ID	-0.14472082029614658
Attrib Tensao	2.9144757361414992
Attrib Densidade	1.2465808125056805
Attrib Areia	-1.9055923393811371
Attrib Silte	-0.13458949581947122
Attrib Argila	3.3531917892539567
Attrib Resistencia	-7.349788243561974

Sigmoid Node 3

Inputs	Weights
Threshold	-0.43414478489517516
Attrib ID	0.242334562638635
Attrib Tensao	-3.0824836020891584
Attrib Densidade	-2.7642668379438904
Attrib Areia	2.9380260220516496
Attrib Silte	-1.5576519958210628
Attrib Argila	-2.737102305891096
Attrib Resistencia	11.801453592718683

Sigmoid Node 4

Inputs	Weights
Threshold	-4.784918303085262
Attrib ID	1.5470851163062236
Attrib Tensao	1.0281801819793854
Attrib Densidade	0.21394995820041934
Attrib Areia	3.304505687820984
Attrib Silte	-3.197583275893928
Attrib Argila	-2.779420402410657

Attrib Resistencia 0.077847339561359
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold -5.151254125951504
 Attrib ID -0.5530842605609738
 Attrib Tensao -1.212946752653399
 Attrib Densidade -2.112175408468111
 Attrib Areia 2.00661702115376
 Attrib Silte -1.9407579037087557
 Attrib Argila -2.01435814125163
 Attrib Resistencia -2.78607930206252
 Sigmoid Node 6
 Inputs Weights
 Threshold -5.692035074280606
 Attrib ID 1.8642137795525413
 Attrib Tensao 1.6851592881760886
 Attrib Densidade -0.14449406242169752
 Attrib Areia 3.122770863107821
 Attrib Silte -4.193806501451028
 Attrib Argila -2.5746112456458197
 Attrib Resistencia 0.9404505635804344
 Sigmoid Node 7
 Inputs Weights
 Threshold -5.009909710083278
 Attrib ID 0.4928282342024491
 Attrib Tensao -0.169835609038265
 Attrib Densidade 1.8009134497005808
 Attrib Areia -1.3594838145583077
 Attrib Silte -1.9066874237026077
 Attrib Argila 3.553984835555806
 Attrib Resistencia -0.5679282322861766
 Class
 Input
 Node 0

Linear Node 0
 Inputs Weights
 Threshold 1.1786232987043412
 Node 1 0.5444230371456955
 Node 2 -0.6492728077212438
 Node 3 -1.1151047996691552
 Node 4 -1.6415975351450904
 Node 5 0.7891356927117955
 Node 6 0.7966500774320557
 Node 7 -1.3636828432701917
 Sigmoid Node 1
 Inputs Weights
 Threshold -0.3428584497812148
 Attrib ID 6.603893566905692
 Attrib Tensao 0.9851090521776374
 Attrib Densidade 3.839087541882913
 Attrib Areia -2.042105244008111

Attrib Silte 3.633835535919247
Attrib Argila 0.9447544962176172
Attrib Resistencia -0.10919583107761494

Sigmoid Node 2

Inputs Weights
Threshold -1.0073822003546333
Attrib ID 3.951583912871129
Attrib Tensao 1.3846574557032063
Attrib Densidade -0.7529069819413775
Attrib Areia -0.3786131700229736
Attrib Silte 1.2495782028906133
Attrib Argila -0.3796252111685569
Attrib Resistencia 0.05151582390122906

Sigmoid Node 3

Inputs Weights
Threshold -5.297533953195221
Attrib ID 0.7313142862979503
Attrib Tensao 1.5682561753184256
Attrib Densidade 6.337878980700292
Attrib Areia 3.856840923336284
Attrib Silte 0.8009780830469452
Attrib Argila -6.541256813264164
Attrib Resistencia -3.8421016306803137

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold 19.2053700617172
Attrib ID 0.11040787463917985
Attrib Tensao 18.38676307410256
Attrib Densidade -0.3890595348605591
Attrib Areia 0.040548651674108274
Attrib Silte -0.3413288780694402
Attrib Argila -0.9960014403005972
Attrib Resistencia 0.11183602332055016

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold -5.816862543465885
Attrib ID 1.9639419704072856
Attrib Tensao -0.2583620787352107
Attrib Densidade -2.2264571076016098
Attrib Areia -0.40010316675800595
Attrib Silte 1.5446058415585937
Attrib Argila -0.2485371356118024
Attrib Resistencia 1.303872237537645

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -4.1172702282016616
Attrib ID -0.7635387834110131
Attrib Tensao 0.6877573423917639
Attrib Densidade 7.972838662620651
Attrib Areia 1.8920046747222548
Attrib Silte 1.395689100897698
Attrib Argila -3.749002945239421

Attrib Resistencia 0.16283453888253216
Sigmoid Node 7
Inputs Weights
Threshold -5.161334967315385
Attrib ID -1.3769930193760387
Attrib Tensao -0.210761737649233
Attrib Densidade 3.4600010531786256
Attrib Areia -0.18231480136370729
Attrib Silte 1.3212897101387076
Attrib Argila -0.2858754711094701
Attrib Resistencia 5.023170899997287
Class
Input
Node 0

Linear Node 0
Inputs Weights
Threshold 0.5525967255132984
Node 1 2.9134115625149057
Node 2 -1.0131386927729553
Node 3 -2.9040491971816333
Node 4 -1.5184401056395527
Node 5 -0.46720465469345746
Node 6 0.706305036007164
Node 7 0.5793219232587222

Sigmoid Node 1
Inputs Weights
Threshold -17.50431909540375
Attrib ID 0.1895962890629072
Attrib Tensao -15.947179769670036
Attrib Densidade -0.04000677835979839
Attrib Areia 0.17548787523570972
Attrib Silte 0.40127341760407376
Attrib Argila 0.9554771303048464
Attrib Resistencia -0.25697708991015467

Sigmoid Node 2
Inputs Weights
Threshold -0.31971704381590776
Attrib ID -0.786647399864859
Attrib Tensao -0.3867238174248112
Attrib Densidade -0.17466878267742036
Attrib Areia -3.5868204184610972
Attrib Silte 0.5790837859921636
Attrib Argila 3.487625536724993
Attrib Resistencia -0.9742408191088733

Sigmoid Node 3
Inputs Weights
Threshold -4.1748558842340975
Attrib ID 0.8683322318590354
Attrib Tensao -0.6360924498908664
Attrib Densidade -0.16021694170839626
Attrib Areia -0.69738538256468

Attrib Silte 0.26636403150348115
Attrib Argila 0.1169340674963666
Attrib Resistencia -1.2616528232983528

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -0.7678106695174387
Attrib ID 0.889818296956424
Attrib Tensao 0.6203776903983486
Attrib Densidade -1.0121177348970263
Attrib Areia 1.1479942940889212
Attrib Silte -1.6004872064261018
Attrib Argila -3.7051719109093524
Attrib Resistencia 1.5139920500952906

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold -1.1118758136232603
Attrib ID 0.630510220110025
Attrib Tensao 3.7016131547447437
Attrib Densidade -0.502207132007311
Attrib Areia -0.10603260620503875
Attrib Silte 3.7716272267916704
Attrib Argila -3.189885136547329
Attrib Resistencia -3.0728643201447428

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -1.7216109613570405
Attrib ID 1.51076699803987
Attrib Tensao 0.16791304893902834
Attrib Densidade 2.489950043415722
Attrib Areia -1.433052336058046
Attrib Silte 0.6746070449971271
Attrib Argila 2.362538263069648
Attrib Resistencia 0.40970543835073053

Sigmoid Node 7

Inputs Weights
Threshold -1.9011392418045177
Attrib ID 0.5388883464788842
Attrib Tensao 2.4746146517645986
Attrib Densidade -5.571795399319435
Attrib Areia 3.5459367389857213
Attrib Silte -0.6430188993605198
Attrib Argila -3.5257502928307947
Attrib Resistencia 1.164347190185153

Class

Input
Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights
Threshold -0.19002196758967407
Node 1 4.678642138617544
Node 2 0.3862792120626721

Node 3 0.7423402822073253
Node 4 -0.9051937248485056
Node 5 -0.9097693326568339
Node 6 0.5184757285445741
Node 7 -0.6418685936369093

Sigmoid Node 1

Inputs Weights
Threshold -19.261843606136736
Attrib ID 0.146355149627864
Attrib Tensao -17.117374935131878
Attrib Densidade 0.3848384501541631
Attrib Areia -0.17364605732579777
Attrib Silte 0.49127173795247925
Attrib Argila 0.21011852303774875
Attrib Resistencia 0.032421324101662846

Sigmoid Node 2

Inputs Weights
Threshold -2.502347245371887
Attrib ID -0.713233932772252
Attrib Tensao -2.0252832233957467
Attrib Densidade -3.672311954276319
Attrib Areia -0.6200704203424291
Attrib Silte 4.934292891431305
Attrib Argila -0.5601915341677075
Attrib Resistencia 5.126321145828621

Sigmoid Node 3

Inputs Weights
Threshold -3.806728684824805
Attrib ID 0.09100557704498717
Attrib Tensao 0.8216081914812415
Attrib Densidade -2.3002645639834336
Attrib Areia 2.9294931747256165
Attrib Silte -0.5363820039539865
Attrib Argila -3.2836189366535673
Attrib Resistencia -1.497019610009796

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -7.2634230426076405
Attrib ID 0.6535761235383029
Attrib Tensao 0.36240413511414643
Attrib Densidade 3.955371187838244
Attrib Areia 3.7701055764981266
Attrib Silte -0.7653119574087546
Attrib Argila -5.494964934434245
Attrib Resistencia -4.212019634662863

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold -1.5241719743894944
Attrib ID -0.1206679548280402
Attrib Tensao 1.6687043731578972
Attrib Densidade 0.752318972323937
Attrib Areia -0.790271946684246

Attrib Silte -1.5841638311038442
Attrib Argila 1.3139797249145444
Attrib Resistencia -2.112374592972182

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -1.610052332762956
Attrib ID -0.22209691155592787
Attrib Tensao 1.5422479678296064
Attrib Densidade 3.9141128280535473
Attrib Areia -1.0013266738158542
Attrib Silte -3.6551083099424053
Attrib Argila 4.670238079622449
Attrib Resistencia 0.6083367308585367

Sigmoid Node 7

Inputs Weights
Threshold -0.3793420660621928
Attrib ID -0.09825146165910599
Attrib Tensao -0.1481359818505314
Attrib Densidade -1.6835540642147686
Attrib Areia 0.20854000203459394
Attrib Silte -0.19626969336943864
Attrib Argila -0.4001984785122616
Attrib Resistencia 5.93907044558112

Class

Input
Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights
Threshold 3.5196387255214074
Node 1 0.494693705060663
Node 2 0.7503730724718313
Node 3 -1.9500691386263618
Node 4 -4.114614322745818
Node 5 -0.5261056185825446
Node 6 1.6361056683768613
Node 7 -1.4611274040355655

Sigmoid Node 1

Inputs Weights
Threshold -1.3886057167487282
Attrib ID 1.3815650296637336
Attrib Tensao -0.14104403316954142
Attrib Densidade 4.60870741622628
Attrib Areia -0.535320899697066
Attrib Silte 1.1996406617928141
Attrib Argila 0.19970291032065177
Attrib Resistencia 1.85302339841466

Sigmoid Node 2

Inputs Weights
Threshold -0.737353245008054
Attrib ID -0.302567694868648
Attrib Tensao -0.8410925979567813

Attrib Densidade -2.3274579270252054
 Attrib Areia -0.1843385290399983
 Attrib Silte -0.2184630243163513
 Attrib Argila 0.5542744821530421
 Attrib Resistencia 2.3862302391067285
 Sigmoid Node 3
 Inputs Weights
 Threshold -5.794731655622141
 Attrib ID 0.027550034313585155
 Attrib Tensao 0.9765050605863753
 Attrib Densidade 6.570922715244516
 Attrib Areia 4.562396260743876
 Attrib Silte 2.4072136915721383
 Attrib Argila -8.939687000168819
 Attrib Resistencia -2.4268299358244474
 Sigmoid Node 4
 Inputs Weights
 Threshold 15.532307031456856
 Attrib ID -0.03090681563285778
 Attrib Tensao 13.472395905806971
 Attrib Densidade -0.36135891205642895
 Attrib Areia 0.6588049758453368
 Attrib Silte 0.024253084105087117
 Attrib Argila -0.48978803400861426
 Attrib Resistencia -2.547009501931464E-5
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold -0.7684927143835207
 Attrib ID 0.2767192127138302
 Attrib Tensao -0.7456057157323223
 Attrib Densidade -4.033760260990585
 Attrib Areia 0.6643814759088409
 Attrib Silte -0.8978986993516594
 Attrib Argila -0.6504384639464561
 Attrib Resistencia 7.36503772364027
 Sigmoid Node 6
 Inputs Weights
 Threshold -4.720613825273685
 Attrib ID -0.6742125795164419
 Attrib Tensao 0.28432948795103263
 Attrib Densidade 5.811730382999836
 Attrib Areia 3.3206407435832186
 Attrib Silte 1.4853566524818667
 Attrib Argila -5.714866373220049
 Attrib Resistencia -0.546753157121922
 Sigmoid Node 7
 Inputs Weights
 Threshold -4.589715603866188
 Attrib ID 0.4198919092786429
 Attrib Tensao -0.3901504516439566
 Attrib Densidade 5.523645003690471
 Attrib Areia -0.5443266167730372

Attrib Silte 2.256513821596662
Attrib Argila -0.6064187159057097
Attrib Resistencia 5.009623019753823

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold -0.2653876631119316

Node 1 5.304456870130175

Node 2 1.4349834342774106

Node 3 -1.4876471319234716

Node 4 -0.23754143985012122

Node 5 -0.9055011825204757

Node 6 1.106107204619452

Node 7 0.6929389678585981

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -20.79687892227449

Attrib ID 0.1137585607685716

Attrib Tensao -18.398604809239856

Attrib Densidade 0.37769993646974626

Attrib Areia -0.4991779205451014

Attrib Silte 0.10476761206687152

Attrib Argila 0.4516095354632279

Attrib Resistencia 0.20928038554817763

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -6.410352629052739

Attrib ID -1.3642994182561419

Attrib Tensao 0.3665195102684316

Attrib Densidade -4.216495670012367

Attrib Areia 2.4675431405528903

Attrib Silte 1.6750186049089184

Attrib Argila -4.470816013565302

Attrib Resistencia -1.676301692043189

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -7.9208060688971464

Attrib ID 0.6286367548779515

Attrib Tensao -1.2346381812252094

Attrib Densidade 3.742118138444159

Attrib Areia 5.341321356173104

Attrib Silte 0.2923210449013572

Attrib Argila -8.941007905948995

Attrib Resistencia -6.808656347259684

Sigmoid Node 4

Inputs Weights

Threshold -2.1979711887979847

Attrib ID 2.1046870110510665

Attrib Tensao 0.14484852364028747
Attrib Densidade 0.7636937559411873
Attrib Areia 6.493665477069617
Attrib Silte -4.056658163546748
Attrib Argila -7.3490040129730865
Attrib Resistencia 7.5127349653675015

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold -1.6523981495170084
Attrib ID -0.27854341453648773
Attrib Tensao 0.9000989915236255
Attrib Densidade -1.6870774029036923
Attrib Areia -0.943811147823418
Attrib Silte 0.5298130327663052
Attrib Argila 1.0536017545346112
Attrib Resistencia -0.5807892113228488

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -7.92256993729446
Attrib ID 0.5790267781368915
Attrib Tensao -2.5041319915438884
Attrib Densidade 4.858782211046896
Attrib Areia 5.694404143628561
Attrib Silte -0.8595232050383893
Attrib Argila -7.609579326096701
Attrib Resistencia -4.658797551598089

Sigmoid Node 7

Inputs Weights
Threshold -4.87902925433865
Attrib ID 0.6234950717839892
Attrib Tensao 0.8181544800312629
Attrib Densidade -2.3674127763964212
Attrib Areia -3.0092192138612126
Attrib Silte 1.695814704455771
Attrib Argila 3.5053313737990566
Attrib Resistencia -0.6160045595241409

Class

Input
Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights
Threshold -0.4055021203906643
Node 1 3.6154169690306057
Node 2 -0.8411621848051415
Node 3 1.2935293760562392
Node 4 -0.8480040985765662
Node 5 -0.522949181772462
Node 6 0.9007134153991202
Node 7 -0.20691057717978006

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -16.88469451080597
Attrib ID 0.1361677089984198
Attrib Tensao -15.245744335996848
Attrib Densidade 0.6355354923819799
Attrib Areia 0.05605173664729386
Attrib Silte 0.6103095449561371
Attrib Argila 0.6595402695429258
Attrib Resistencia 0.2961789068621256

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -5.393843453119177
Attrib ID -0.3524520267351941
Attrib Tensao 2.1291015832187115
Attrib Densidade 3.075741163504773
Attrib Areia -3.1850961521269667
Attrib Silte -0.4439505354112176
Attrib Argila 4.327547855293504
Attrib Resistencia -12.470413127466786

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -2.8078176039592924
Attrib ID 0.2586819849940802
Attrib Tensao 0.7457635045371621
Attrib Densidade -1.2151140182648246
Attrib Areia 2.4550292400402243
Attrib Silte -0.2619980617528953
Attrib Argila -2.2291298619990902
Attrib Resistencia -0.27359455512872305

Sigmoid Node 4

Inputs Weights

Threshold -7.109637245722893
Attrib ID 1.2311976203946813
Attrib Tensao 0.4153089863181963
Attrib Densidade 2.3119684519276644
Attrib Areia 4.225722119713903
Attrib Silte -1.4269796094804095
Attrib Argila -5.811335187493137
Attrib Resistencia -1.7178531452002725

Sigmoid Node 5

Inputs Weights

Threshold -3.415317271010777
Attrib ID -0.3981657902914476
Attrib Tensao 3.1383469644945197
Attrib Densidade -2.119829469208392
Attrib Areia 1.9763324123946746
Attrib Silte -1.4349328351752941
Attrib Argila -2.6722339010904896
Attrib Resistencia -1.1504792843075469

Sigmoid Node 6

Inputs Weights

Threshold -2.467135889520947

Attrib ID -0.08187201169616504
 Attrib Tensao 0.5359085274589169
 Attrib Densidade 3.4591681714610556
 Attrib Areia -1.318734504951774
 Attrib Silte -1.2800653483388436
 Attrib Argila 3.8561589222303527
 Attrib Resistencia -5.15640778659223
 Sigmoid Node 7
 Inputs Weights
 Threshold -3.5580604041620916
 Attrib ID 2.8445946572303598
 Attrib Tensao -0.9847027900355011
 Attrib Densidade 2.787499797166227
 Attrib Areia 2.607467159043131
 Attrib Silte -9.205439752881157
 Attrib Argila 0.6967855934556364
 Attrib Resistencia 4.804875156344727
 Class
 Input
 Node 0

Linear Node 0
 Inputs Weights
 Threshold 0.03590690410933375
 Node 1 5.071846888740124
 Node 2 -0.4370245279275069
 Node 3 1.0871401884228682
 Node 4 -1.2448003347960566
 Node 5 -0.6313906470195054
 Node 6 1.1189368171565126
 Node 7 -2.3846644834305177
 Sigmoid Node 1
 Inputs Weights
 Threshold -19.850400306194494
 Attrib ID -0.06374133494494778
 Attrib Tensao -17.561998623809654
 Attrib Densidade 0.48936735780149176
 Attrib Areia 0.6259865010640324
 Attrib Silte 0.37237216544801943
 Attrib Argila 1.3320528717491884
 Attrib Resistencia 0.18046350647632536
 Sigmoid Node 2
 Inputs Weights
 Threshold -2.9482587111101326
 Attrib ID -0.2743556370146083
 Attrib Tensao 2.599998960910398
 Attrib Densidade 1.276239255849908
 Attrib Areia -3.8749171375976763
 Attrib Silte -2.2617773843221913
 Attrib Argila 6.492335903083375
 Attrib Resistencia -8.40231139659776

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -3.6508679338149443

Attrib ID 0.34434924190481486

Attrib Tensao 0.4003915793674474

Attrib Densidade -2.020368461994431

Attrib Areia 2.840968997342557

Attrib Silte -0.9829719836442737

Attrib Argila -2.536208709515027

Attrib Resistencia 0.1427575291357561

Sigmoid Node 4

Inputs Weights

Threshold -3.9411530649661235

Attrib ID 0.15339214534393533

Attrib Tensao 0.527195811187838

Attrib Densidade -0.4171377568038873

Attrib Areia 2.6427185315971675

Attrib Silte 0.1639621687702225

Attrib Argila -5.335922209013142

Attrib Resistencia -2.970605205697291

Sigmoid Node 5

Inputs Weights

Threshold 0.7172133233987081

Attrib ID 0.8927404983891382

Attrib Tensao -0.1708037648993769

Attrib Densidade -2.4854455544078866

Attrib Areia 0.3820019428060559

Attrib Silte -1.1399575971886142

Attrib Argila -0.747633369393593

Attrib Resistencia 6.587393979215089

Sigmoid Node 6

Inputs Weights

Threshold -2.4913216612116518

Attrib ID 0.7142044603818029

Attrib Tensao 0.07945888026033757

Attrib Densidade -0.008890061737012019

Attrib Areia -0.8462148215539813

Attrib Silte -0.5496104105732638

Attrib Argila 2.437082953103335

Attrib Resistencia 0.706554737671166

Sigmoid Node 7

Inputs Weights

Threshold -5.480576134046492

Attrib ID 0.7639160861183162

Attrib Tensao 0.5235072930122302

Attrib Densidade -0.3465830082380374

Attrib Areia -0.8830522059921027

Attrib Silte -3.3214294708113115

Attrib Argila 3.018896975480421

Attrib Resistencia 2.0635217444647127

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights
Threshold 0.12352072701271952
Node 1 4.871154116671862
Node 2 -0.9039720444969703
Node 3 1.5178084606340212
Node 4 -0.5585298617009892
Node 5 1.1772476532568972
Node 6 2.1940138017604416
Node 7 -0.6712535219294545

Sigmoid Node 1

Inputs Weights
Threshold -16.47105037157478
Attrib ID 0.03887463654537063
Attrib Tensao -14.128098064704185
Attrib Densidade 0.33045891952622813
Attrib Areia -0.5608748430534434
Attrib Silte -0.056958811157853645
Attrib Argila 0.26156781817162567
Attrib Resistencia 0.22317642389705347

Sigmoid Node 2

Inputs Weights
Threshold -2.710375565551661
Attrib ID -0.2290993118413342
Attrib Tensao 1.8438648565167413
Attrib Densidade 0.3133824078311831
Attrib Areia -1.2690884295942566
Attrib Silte -1.9506019549870117
Attrib Argila 3.1859138852515403
Attrib Resistencia -7.228818934290479

Sigmoid Node 3

Inputs Weights
Threshold -4.936792184848223
Attrib ID -0.2824024885734578
Attrib Tensao 0.5469466667538442
Attrib Densidade -2.1157952545826064
Attrib Areia 1.5277514094382216
Attrib Silte -2.3141203129258643
Attrib Argila -1.2511720192693918
Attrib Resistencia -0.5168793022196023

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -7.47359574544031
Attrib ID 1.5890292322154804
Attrib Tensao 0.869251275889614
Attrib Densidade -0.9343932199197827
Attrib Areia 5.994360402488537
Attrib Silte -5.446161391386707
Attrib Argila -5.730138566423809

Attrib Resistencia 0.17617952781942858

Sigmoid Node 5

Inputs Weights

Threshold -3.0848254330346463

Attrib ID 0.9849445923704799

Attrib Tensao -0.33014999921208327

Attrib Densidade 0.8895291493746965

Attrib Areia -0.2627579999502364

Attrib Silte 1.3895698422036387

Attrib Argila -0.6037346898796275

Attrib Resistencia 0.2802683981073592

Sigmoid Node 6

Inputs Weights

Threshold -5.963681775708019

Attrib ID 0.19833264250819294

Attrib Tensao 0.06889982378941327

Attrib Densidade 1.3384075734470173

Attrib Areia -1.4575421597132687

Attrib Silte -2.0225054922114793

Attrib Argila 3.57269951582671

Attrib Resistencia -2.9019093079249068

Sigmoid Node 7

Inputs Weights

Threshold 1.8797340261016482

Attrib ID 0.6035238300653981

Attrib Tensao -1.3483067571984129

Attrib Densidade -2.527339883763264

Attrib Areia 2.2784109263138013

Attrib Silte 0.3660600920246086

Attrib Argila -3.588974992545672

Attrib Resistencia 11.273899191771692

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold -0.3226735440355627

Node 1 3.766021344961875

Node 2 -1.0775468106066575

Node 3 1.014363464797631

Node 4 -0.5037025096863049

Node 5 -0.6709140678946566

Node 6 1.0809678387163761

Node 7 -0.5289497509894807

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -18.393095515618043

Attrib ID -0.009319231084627936

Attrib Tensao -16.424863263481832

Attrib Densidade 0.38086219586653003

Attrib Areia 0.012772762762840159
 Attrib Silte 0.16242579288113781
 Attrib Argila 0.667600687790094
 Attrib Resistencia 0.0995298330866838
 Sigmoid Node 2
 Inputs Weights
 Threshold -4.37734043044855
 Attrib ID -0.2831905671343181
 Attrib Tensao 2.878358541884142
 Attrib Densidade 1.8768871216483354
 Attrib Areia -2.4298329600381408
 Attrib Silte -1.672966520448849
 Attrib Argila 4.453840632780397
 Attrib Resistencia -12.766337681592237
 Sigmoid Node 3
 Inputs Weights
 Threshold -3.1956903056783257
 Attrib ID -1.5821928972614798
 Attrib Tensao 0.9577937696368448
 Attrib Densidade -3.194997788960607
 Attrib Areia 2.52714068224849
 Attrib Silte -1.4691100475806318
 Attrib Argila -2.302189775388544
 Attrib Resistencia 1.086086772957915
 Sigmoid Node 4
 Inputs Weights
 Threshold -4.576150594401741
 Attrib ID 2.482047337124727
 Attrib Tensao 0.23728507812991328
 Attrib Densidade 0.3325105551157876
 Attrib Areia 4.063838496191653
 Attrib Silte -1.4088908343564022
 Attrib Argila -5.711033906833052
 Attrib Resistencia 0.4065797625564566
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold -1.282231659225211
 Attrib ID -0.883761729650832
 Attrib Tensao 0.6430459920006146
 Attrib Densidade -2.089946893724861
 Attrib Areia 0.5733403544114041
 Attrib Silte -1.0509185768643416
 Attrib Argila -0.8825808147636257
 Attrib Resistencia -0.4655033454451352
 Sigmoid Node 6
 Inputs Weights
 Threshold -2.329425289444748
 Attrib ID -0.16373884611605627
 Attrib Tensao 1.514542780778808
 Attrib Densidade 2.158867834724546
 Attrib Areia -1.583027826265646
 Attrib Silte 0.5559957282195251

Attrib Argila 2.3464935100269027
Attrib Resistencia -10.351509506556905
Sigmoid Node 7
Inputs Weights
Threshold -4.413701013842133
Attrib ID -2.401747317928835
Attrib Tensao 1.2700442508187417
Attrib Densidade -1.9000253457289622
Attrib Areia 2.5515128586848235
Attrib Silte -2.1642855954368616
Attrib Argila -3.4093980695098587
Attrib Resistencia 4.862752470751749
Class
Input
Node 0

Linear Node 0
Inputs Weights
Threshold 0.32162730861253586
Node 1 3.1932261054848756
Node 2 -0.7681019757796096
Node 3 0.37474784487870194
Node 4 -0.719934825275494
Node 5 1.7892530403634017
Node 6 0.2937334960515025
Node 7 -0.8661345921183883

Sigmoid Node 1
Inputs Weights
Threshold -18.12140643872238
Attrib ID 0.11334538259885199
Attrib Tensao -16.196313524542308
Attrib Densidade 0.8961113432401194
Attrib Areia 0.021640033408210947
Attrib Silte -0.12579836711740106
Attrib Argila 1.4850081025126696
Attrib Resistencia 0.2613322107071126

Sigmoid Node 2
Inputs Weights
Threshold -4.097314215232166
Attrib ID -0.4469468595245581
Attrib Tensao 2.060634950602854
Attrib Densidade 0.5413090693892514
Attrib Areia -2.3260023025780145
Attrib Silte -0.9550774042976065
Attrib Argila 3.336738737154403
Attrib Resistencia -11.052823879786283

Sigmoid Node 3
Inputs Weights
Threshold -5.5121725798857275
Attrib ID 1.034644043132505
Attrib Tensao 1.1547889495203083

Attrib Densidade -1.1608112086004758
Attrib Areia 3.2878842996153907
Attrib Silte -3.4316835446119187
Attrib Argila -2.4861298171014883
Attrib Resistencia 1.1003143585118071

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -8.194160889802252
Attrib ID 1.9453244072970963
Attrib Tensao 1.0877556031769302
Attrib Densidade -0.1439735572493757
Attrib Areia 5.859079669360875
Attrib Silte -5.881741897811623
Attrib Argila -5.408352796845186
Attrib Resistencia -0.4386597019881633

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold -3.740295552217576
Attrib ID 0.05271403525862915
Attrib Tensao -1.256479199311265
Attrib Densidade -1.401328976380216
Attrib Areia 1.004719374253059
Attrib Silte 1.0900919838522607
Attrib Argila -1.9572812726100972
Attrib Resistencia 0.44095322476548465

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -5.3273814640223724
Attrib ID 3.1308907405514477
Attrib Tensao 0.9790882480054194
Attrib Densidade -3.101990197081454
Attrib Areia -2.470025882525123
Attrib Silte 1.3484092680568622
Attrib Argila 3.2886766603012743
Attrib Resistencia -1.1130658464769803

Sigmoid Node 7

Inputs Weights
Threshold 1.669372490192802
Attrib ID 0.5107767203199396
Attrib Tensao -0.3417059384385063
Attrib Densidade -1.8966464111122585
Attrib Areia 0.8023364209177072
Attrib Silte -0.30212887483649264
Attrib Argila -2.1354271927642827
Attrib Resistencia 6.585006544199911

Class

Input
Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold 1.4394305787985113
 Node 1 2.1019897601841597
 Node 2 1.6681019223023301
 Node 3 -0.5581871853709013
 Node 4 -2.2555340962153774
 Node 5 -1.488972425122847
 Node 6 1.4653945563616428
 Node 7 0.2800076774301985
 Sigmoid Node 1
 Inputs Weights
 Threshold -2.6424277650132617
 Attrib ID 0.026154729955053524
 Attrib Tensao -0.15896847298128786
 Attrib Densidade 0.7376635752421061
 Attrib Areia 0.4559805931016834
 Attrib Silte -0.1048802476042406
 Attrib Argila 1.141253153761216
 Attrib Resistencia -0.9207748939835049
 Sigmoid Node 2
 Inputs Weights
 Threshold 1.5911954588665254
 Attrib ID 0.355863328172744
 Attrib Tensao -2.4986829230326295
 Attrib Densidade -0.023988115217948767
 Attrib Areia 2.329508611237139
 Attrib Silte 2.531522063243224
 Attrib Argila -2.8515520294446848
 Attrib Resistencia 8.639248712291986
 Sigmoid Node 3
 Inputs Weights
 Threshold -7.128087717174267
 Attrib ID -0.22169843845343012
 Attrib Tensao 0.08216175707130309
 Attrib Densidade 2.7431086626711285
 Attrib Areia 4.152048908484663
 Attrib Silte -0.2938419581948694
 Attrib Argila -6.700355643741681
 Attrib Resistencia -5.433467367744489
 Sigmoid Node 4
 Inputs Weights
 Threshold 17.46551903986057
 Attrib ID -0.004009430234002091
 Attrib Tensao 16.069315243758655
 Attrib Densidade -0.2312773111486805
 Attrib Areia -0.10347128224036722
 Attrib Silte -0.2971755913520165
 Attrib Argila -0.8517281738078848
 Attrib Resistencia -0.10379808638882665
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold 1.2593994145175937
 Attrib ID 0.554489369131973

Attrib Tensao -2.6302868463522247
Attrib Densidade -0.6457944750322632
Attrib Areia 1.0971314124985145
Attrib Silte 1.3270819371703617
Attrib Argila -3.6820113901275637
Attrib Resistencia 11.435837643570895

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -5.728262142756657
Attrib ID -0.2875714473224191
Attrib Tensao 0.5596023675568434
Attrib Densidade -3.4153280103178836
Attrib Areia 2.5049291641756635
Attrib Silte 0.2527482972452419
Attrib Argila -3.5284086995992388
Attrib Resistencia -0.9348554369800106

Sigmoid Node 7

Inputs Weights
Threshold -3.9549543445294995
Attrib ID 1.6698183218994465
Attrib Tensao 0.46679327972397705
Attrib Densidade 0.4954370107796557
Attrib Areia -2.1069726850927757
Attrib Silte 2.9674926027483006
Attrib Argila 1.545328642244003
Attrib Resistencia 1.4608633988112558

Class

Input
Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights
Threshold -0.411453519237664
Node 1 2.8060727739826326
Node 2 -0.42005324112994563
Node 3 0.873509382344244
Node 4 -1.3929996681835668
Node 5 -1.5886933245412815
Node 6 1.2925795127881794
Node 7 -0.9388537069418131

Sigmoid Node 1

Inputs Weights
Threshold -19.589615652717445
Attrib ID 0.06306285420459967
Attrib Tensao -18.14344561450833
Attrib Densidade 0.8112373301875423
Attrib Areia 0.01355497071869642
Attrib Silte 0.6287658570210239
Attrib Argila 0.7231360852548354
Attrib Resistencia 0.35045789457514587

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -3.3326338042423402
Attrib ID -0.5273328492660547
Attrib Tensao 3.2727486636097027
Attrib Densidade 4.7074568242845105
Attrib Areia -2.8665010972991833
Attrib Silte 0.23994103289017144
Attrib Argila 3.6672154178635883
Attrib Resistencia -7.226197124032356

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -2.431123156371415
Attrib ID -0.09928909301705605
Attrib Tensao 0.7489717457059412
Attrib Densidade 1.64454297782064
Attrib Areia -0.946127261124108
Attrib Silte -1.6025143454450759
Attrib Argila 3.403822226752929
Attrib Resistencia -1.2213903455437805

Sigmoid Node 4

Inputs Weights

Threshold -6.694169566670282
Attrib ID 0.9216531322448518
Attrib Tensao -1.1918882304899319
Attrib Densidade 4.5436784417753096
Attrib Areia 4.420826532594933
Attrib Silte 0.7381598164052905
Attrib Argila -7.241442894463368
Attrib Resistencia 1.759907818619582

Sigmoid Node 5

Inputs Weights

Threshold -3.114219171978976
Attrib ID -0.22999047714164197
Attrib Tensao 0.6630877136045694
Attrib Densidade 0.7253310542164416
Attrib Areia -0.8321843200209658
Attrib Silte -2.579042998466873
Attrib Argila 1.701143597740292
Attrib Resistencia 0.48735979639653826

Sigmoid Node 6

Inputs Weights

Threshold -3.7456188203316256
Attrib ID 0.06715158612518911
Attrib Tensao -0.35170351374376974
Attrib Densidade 5.0746213985036945
Attrib Areia 2.1131867578294647
Attrib Silte 1.2023797396994804
Attrib Argila -3.0997725193683867
Attrib Resistencia 1.0692412980504835

Sigmoid Node 7

Inputs Weights

Threshold -4.593050550578109

Attrib ID 0.0600675385447363
Attrib Tensao -1.0661346177320419
Attrib Densidade 1.3976151732099145
Attrib Areia 1.1845135838262149
Attrib Silte 1.7968156490889764
Attrib Argila -3.3588708902156537
Attrib Resistencia 2.904734074143882

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold 0.8013290713222712

Node 1 2.7996450146789686

Node 2 -1.0124744433601485

Node 3 -1.3388942982243044

Node 4 -0.5191779524515414

Node 5 0.7711552320708612

Node 6 0.8019563891143359

Node 7 -1.1362282831616337

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -20.28665132130234

Attrib ID 0.06524400027608022

Attrib Tensao -18.64637661806508

Attrib Densidade 0.5304152618902254

Attrib Areia -0.03899410703568407

Attrib Silte 0.3961475571524775

Attrib Argila 0.7679262283271886

Attrib Resistencia 0.12571123372714313

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -1.4410077836397583

Attrib ID -0.22657808412826175

Attrib Tensao 0.22275753107289406

Attrib Densidade -1.921826680716966

Attrib Areia -0.7595112969423833

Attrib Silte -0.7698210711642782

Attrib Argila 0.4170507470885033

Attrib Resistencia 1.454701300721707

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -1.7673439412812655

Attrib ID -0.4145484314616663

Attrib Tensao 1.1922052681757842

Attrib Densidade 2.704765524281428

Attrib Areia -5.523399075151366

Attrib Silte 2.4603156891571047

Attrib Argila 5.97915493656733

Attrib Resistencia -7.5389585302788955

Sigmoid Node 4

Inputs Weights

Threshold -5.033957843613782

Attrib ID 0.506921504566073

Attrib Tensao 1.5375841381471012

Attrib Densidade 3.6392662011333594

Attrib Areia 4.182385974471713

Attrib Silte 0.5537339654635958

Attrib Argila -7.173605436193872

Attrib Resistencia -1.3200720210895482

Sigmoid Node 5

Inputs Weights

Threshold -2.8357583627560943

Attrib ID -0.668065650315903

Attrib Tensao 0.17116628423514407

Attrib Densidade -4.502122370305606

Attrib Areia 1.7144254591496964

Attrib Silte 0.06256183784961838

Attrib Argila -1.6806044735926622

Attrib Resistencia 0.8216712983599838

Sigmoid Node 6

Inputs Weights

Threshold -2.032747564622512

Attrib ID 0.7757909701077853

Attrib Tensao -0.09792517884162698

Attrib Densidade 1.8330653560829706

Attrib Areia -2.6137081511823212

Attrib Silte 0.5705506087060862

Attrib Argila 4.215615341501192

Attrib Resistencia 0.4277867371809689

Sigmoid Node 7

Inputs Weights

Threshold 2.1989171634327813

Attrib ID 1.1904758135518496

Attrib Tensao -0.8483956751424293

Attrib Densidade -3.8322884590755426

Attrib Areia 5.296170760965219

Attrib Silte -1.611254570191051

Attrib Argila -7.662384310981697

Attrib Resistencia 8.608030876250425

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold 0.6588493150848168

Node 1 4.259939084483986

Node 2 -1.1426136398117892

Node 3 -1.2200024896423467

Node 4 -0.38243196905418464

Node 5 0.5055879616779493
 Node 6 0.8026883700545178
 Node 7 -2.6039601462919597
 Sigmoid Node 1
 Inputs Weights
 Threshold -16.85050937882955
 Attrib ID 0.05620031990978299
 Attrib Tensao -14.82162473501915
 Attrib Densidade 0.6420014786902638
 Attrib Areia -0.44108813189347357
 Attrib Silte 0.06128714773562584
 Attrib Argila 0.7537782787611157
 Attrib Resistencia 0.271763816558408
 Sigmoid Node 2
 Inputs Weights
 Threshold -3.1929902085445114
 Attrib ID 0.31505399745694557
 Attrib Tensao 1.2835402524380637
 Attrib Densidade 0.747359972249986
 Attrib Areia -2.539961041198868
 Attrib Silte 0.09047019398981253
 Attrib Argila 3.2188285653702433
 Attrib Resistencia -11.486542428491314
 Sigmoid Node 3
 Inputs Weights
 Threshold 2.3040978445579903
 Attrib ID 0.058369938000745476
 Attrib Tensao -0.6524730381341309
 Attrib Densidade -1.3068583284142226
 Attrib Areia 1.6076545375984843
 Attrib Silte -0.9363929990902127
 Attrib Argila -2.246743669918719
 Attrib Resistencia 10.983255288345916
 Sigmoid Node 4
 Inputs Weights
 Threshold -5.788624091203258
 Attrib ID 0.9927487786465141
 Attrib Tensao 1.8110801175770217
 Attrib Densidade 2.705069526011829
 Attrib Areia 5.362252960629503
 Attrib Silte 1.288297376371273
 Attrib Argila -8.969942721249119
 Attrib Resistencia -4.595560854276262
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold -3.5108754356863976
 Attrib ID -1.6883557745720086
 Attrib Tensao -1.5165873853308283
 Attrib Densidade -0.9146214938896255
 Attrib Areia -0.9789515374556889
 Attrib Silte 1.1007634161799154
 Attrib Argila 0.7191988127703196

Attrib Resistencia 1.07853229788107
Sigmoid Node 6
Inputs Weights
Threshold -2.8171362962062916
Attrib ID 1.2035072437143712
Attrib Tensao -0.13543194726834695
Attrib Densidade 1.9266099217733208
Attrib Areia -2.182675763089393
Attrib Silte 1.3016615536802574
Attrib Argila 2.8206544900287356
Attrib Resistencia -0.42090645368420954

Sigmoid Node 7
Inputs Weights
Threshold -4.2214616665906854
Attrib ID -0.4051228167989879
Attrib Tensao -0.6379277880524495
Attrib Densidade 0.15455976356475548
Attrib Areia -1.178128120562098
Attrib Silte 0.886008749700179
Attrib Argila 1.0693068916148423
Attrib Resistencia 1.130123879017669

Class
Input
Node 0

Linear Node 0
Inputs Weights
Threshold -0.08593249956273986
Node 1 3.988848013161487
Node 2 -0.7336025400710648
Node 3 -0.25845607034387497
Node 4 -0.6604569548306695
Node 5 -0.8966909145555626
Node 6 0.7383525848886846
Node 7 0.9471325384062074

Sigmoid Node 1
Inputs Weights
Threshold -16.922138751009065
Attrib ID 0.043548089626616646
Attrib Tensao -15.034991644036676
Attrib Densidade 0.547254954009381
Attrib Areia 0.09403040315021724
Attrib Silte 0.5977262704395258
Attrib Argila 0.6405399951366125
Attrib Resistencia 0.03640459051634759

Sigmoid Node 2
Inputs Weights
Threshold -5.269615319425925
Attrib ID -1.303512208779194
Attrib Tensao 0.9337508919255729
Attrib Densidade 4.154273217483622

Attrib Areia -3.0378342388642516
 Attrib Silte -2.071204708900621
 Attrib Argila 5.484743235916413
 Attrib Resistencia -7.453917086430794
 Sigmoid Node 3
 Inputs Weights
 Threshold -1.859769287224456
 Attrib ID 2.1599380192391413
 Attrib Tensao 1.134690586927749
 Attrib Densidade -1.4914090359806376
 Attrib Areia 3.92497696712767
 Attrib Silte -7.307534969906434
 Attrib Argila -1.7541450798916407
 Attrib Resistencia 2.956594727478939
 Sigmoid Node 4
 Inputs Weights
 Threshold -5.058471939742972
 Attrib ID 0.06459686062786835
 Attrib Tensao 0.17065761449774708
 Attrib Densidade 6.526234124644122
 Attrib Areia 1.7328493042370297
 Attrib Silte 0.6839615182396261
 Attrib Argila -3.4096630584885586
 Attrib Resistencia -2.5165015905713304
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold -1.3789781310318918
 Attrib ID -0.16304211786825207
 Attrib Tensao 0.40972907476203846
 Attrib Densidade -0.6198406838452185
 Attrib Areia -0.38921851922930695
 Attrib Silte -0.044571929146920625
 Attrib Argila 0.15687694587110088
 Attrib Resistencia 0.024096155705175152
 Sigmoid Node 6
 Inputs Weights
 Threshold -3.6143338063507304
 Attrib ID -0.3969520503582471
 Attrib Tensao 0.14295414544674193
 Attrib Densidade 6.473934646101872
 Attrib Areia -3.021231013350795
 Attrib Silte -2.5873261173505706
 Attrib Argila 6.38902424710773
 Attrib Resistencia -2.78042252211925
 Sigmoid Node 7
 Inputs Weights
 Threshold -4.296240566481643
 Attrib ID -0.5683705978056671
 Attrib Tensao 0.5544357585463264
 Attrib Densidade -1.2804650065388947
 Attrib Areia 1.2103767993505874
 Attrib Silte -0.7986688965140724

Attrib Argila -1.102425661182782
Attrib Resistencia -2.328729865188406
Class
Input
Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights
Threshold -0.2539003390913872
Node 1 1.6977373545532828
Node 2 -2.5007538030683745
Node 3 0.32300194730586734
Node 4 -0.600643444467459
Node 5 -0.22845796031570934
Node 6 0.6637858265546246
Node 7 -0.8682916016467218

Sigmoid Node 1

Inputs Weights
Threshold -17.588729540731485
Attrib ID -0.024742195593555016
Attrib Tensao -16.654603554461495
Attrib Densidade 0.8414836179833488
Attrib Areia -0.6576213077780221
Attrib Silte 0.18031340447549096
Attrib Argila 0.8629559773944776
Attrib Resistencia 0.03945843133836546

Sigmoid Node 2

Inputs Weights
Threshold -4.759584460573321
Attrib ID -0.9388244079417457
Attrib Tensao -0.20248079340436148
Attrib Densidade -0.7255538377651662
Attrib Areia -0.9055888427135955
Attrib Silte 0.19322279224585265
Attrib Argila 0.3351360782410483
Attrib Resistencia -3.0285387258070875

Sigmoid Node 3

Inputs Weights
Threshold -5.910395361800389
Attrib ID -6.977360428576667
Attrib Tensao -2.720419028766105
Attrib Densidade -4.85525460334368
Attrib Areia 0.39696577659855853
Attrib Silte 6.2331154860587175
Attrib Argila -3.773189533164914
Attrib Resistencia -2.690275903912213

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -8.734602185178517
Attrib ID 1.1730279717653653
Attrib Tensao -0.037621798999678255

Attrib Densidade -1.792000047680433
Attrib Areia 6.8849132642297475
Attrib Silte -6.0424165758281445
Attrib Argila -6.884779945403258
Attrib Resistencia -2.4592073574172546

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold -5.395263359453314
Attrib ID -1.3968393696588588
Attrib Tensao -6.875498513803925
Attrib Densidade -2.4847916212092542
Attrib Areia 0.9344138791873458
Attrib Silte 2.608771459496487
Attrib Argila -3.264276824206852
Attrib Resistencia 9.233021828831431

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -3.446961066780424
Attrib ID 1.873892568450164
Attrib Tensao 0.10647349487567807
Attrib Densidade -0.8854707984262621
Attrib Areia -1.9732821384847303
Attrib Silte 1.9595366430975363
Attrib Argila 2.3888536397698092
Attrib Resistencia 1.854092037365222

Sigmoid Node 7

Inputs Weights
Threshold -0.9535333167092815
Attrib ID 0.369227331174757
Attrib Tensao 1.0336158421878008
Attrib Densidade -0.8691985513186862
Attrib Areia -0.9700882205179067
Attrib Silte 0.8690225520377826
Attrib Argila 0.07529758803988368
Attrib Resistencia 0.8268323933323913

Class

Input
Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights
Threshold 0.04055986561652615
Node 1 4.854911583545252
Node 2 -0.45363649734151584
Node 3 1.110262936568724
Node 4 -0.849182396213918
Node 5 -1.733180184858681
Node 6 0.8923835759435149
Node 7 -0.7885897752893593

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -19.905309106784497
Attrib ID 0.027225369530122903
Attrib Tensao -17.54607941349072
Attrib Densidade 0.5525285559190332
Attrib Areia -0.712900028231375
Attrib Silte -0.14943256188708734
Attrib Argila 0.5808908900035697
Attrib Resistencia 0.19693156791797822

Sigmoid Node 2

Inputs Weights
Threshold -3.6834626016555827
Attrib ID -0.35072055160587046
Attrib Tensao 1.6191001421818632
Attrib Densidade 0.8391748689913675
Attrib Areia -3.2415255332226303
Attrib Silte 1.0362347921037365
Attrib Argila 4.35058870967787
Attrib Resistencia -10.574308156261791

Sigmoid Node 3

Inputs Weights
Threshold -2.3608646161807108
Attrib ID 0.6847582668867709
Attrib Tensao 0.38815901783897416
Attrib Densidade -2.7227441649306856
Attrib Areia 1.578430369696139
Attrib Silte -0.3761903267031821
Attrib Argila -2.816588623065676
Attrib Resistencia 1.1200484414430067

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -4.089059402005731
Attrib ID 0.8755037442171237
Attrib Tensao 1.1356822758959961
Attrib Densidade 1.1951617401866395
Attrib Areia 3.733076879665504
Attrib Silte 0.6140685763892362
Attrib Argila -5.966089845502187
Attrib Resistencia -2.5471157179221757

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold -3.4798020601357385
Attrib ID 0.7448460109267738
Attrib Tensao 0.5309992353516138
Attrib Densidade -2.290370951875819
Attrib Areia 0.44100157461622497
Attrib Silte -1.3640584252651489
Attrib Argila 0.46530990101787323
Attrib Resistencia 0.8183880721067743

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -2.696665811072849
Attrib ID 0.9170387085362355

Attrib Tensao 0.21246726882332903
 Attrib Densidade -1.1669322857153894
 Attrib Areia -1.4633438326372632
 Attrib Silte -0.35769309105571695
 Attrib Argila 2.396954015976724
 Attrib Resistencia 0.1672645347319771
 Sigmoid Node 7
 Inputs Weights
 Threshold 0.7594684104574229
 Attrib ID 0.49273247979652274
 Attrib Tensao 0.09457694233131325
 Attrib Densidade -2.568150526532186
 Attrib Areia 0.9873812803288115
 Attrib Silte -0.07429015242459747
 Attrib Argila -1.0966910852988778
 Attrib Resistencia 4.097549673813348
 Class
 Input
 Node 0

Linear Node 0
 Inputs Weights
 Threshold 5.39313551711182
 Node 1 0.6048545254144528
 Node 2 0.2604222871108481
 Node 3 -1.1135046943189773
 Node 4 -4.625614759622147
 Node 5 -1.1733068375910756
 Node 6 0.5868278278268594
 Node 7 -1.3407060032137426

Sigmoid Node 1
 Inputs Weights
 Threshold -5.920992776898376
 Attrib ID 1.0324051454469931
 Attrib Tensao -0.3268360653398476
 Attrib Densidade 3.4085009132470274
 Attrib Areia 0.31568983948313806
 Attrib Silte -3.372638516593036
 Attrib Argila 1.4776382935780814
 Attrib Resistencia 2.0342955060960866

Sigmoid Node 2
 Inputs Weights
 Threshold -4.544082664453918
 Attrib ID 2.1742907976439945
 Attrib Tensao -1.9195819001517544
 Attrib Densidade -1.2484692718765829
 Attrib Areia -0.6879076126623888
 Attrib Silte 3.047099556688194
 Attrib Argila -0.5346992671998197
 Attrib Resistencia 3.192340352805441

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -3.6449949472626817

Attrib ID 0.073338005090782

Attrib Tensao 0.9870524160355323

Attrib Densidade 0.12293865962578028

Attrib Areia 2.761781517845009

Attrib Silte -0.14264383489594132

Attrib Argila -4.90602941890947

Attrib Resistencia -1.5964558553046904

Sigmoid Node 4

Inputs Weights

Threshold 16.34922869034262

Attrib ID -0.09697200369251932

Attrib Tensao 14.032090057717351

Attrib Densidade -0.4073790050018137

Attrib Areia 0.06872964094612885

Attrib Silte -0.13672648524332956

Attrib Argila -0.8353450796885453

Attrib Resistencia -0.011636493813654633

Sigmoid Node 5

Inputs Weights

Threshold -3.8686772577707775

Attrib ID -0.8532487892748707

Attrib Tensao 1.3695820218580619

Attrib Densidade -1.1138476424613366

Attrib Areia -2.060092787461018

Attrib Silte -2.6276411769773005

Attrib Argila 3.2449049417451

Attrib Resistencia -10.241757280025933

Sigmoid Node 6

Inputs Weights

Threshold -4.429350702962375

Attrib ID -0.4901956795371042

Attrib Tensao 1.1172890994722735

Attrib Densidade -3.3504890190287937

Attrib Areia 5.059379181165255

Attrib Silte 0.8571945474858887

Attrib Argila -7.5253614893342275

Attrib Resistencia -0.19214714759559623

Sigmoid Node 7

Inputs Weights

Threshold 1.9071805609321304

Attrib ID 0.5578596658965487

Attrib Tensao -0.5557877570209065

Attrib Densidade -0.4441335252532253

Attrib Areia 0.6378123407267546

Attrib Silte 0.3501880414054387

Attrib Argila -2.0643935829957214

Attrib Resistencia 7.231550147600996

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold 0.6948567833664926

Node 1 4.797184001767487

Node 2 -1.373016577992093

Node 3 0.8844998441980585

Node 4 -1.1889598008493047

Node 5 -1.1772910251694952

Node 6 1.2720194117981098

Node 7 -1.0971559746144937

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -16.02057466633919

Attrib ID 0.08692597481971165

Attrib Tensao -13.80753669726894

Attrib Densidade 0.31365857674291103

Attrib Areia -0.5571498634254042

Attrib Silte 0.2453831180168298

Attrib Argila 0.052995019889588414

Attrib Resistencia 0.23943770397674904

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -1.3053677719030936

Attrib ID -0.2890670183566317

Attrib Tensao 2.638426943885603

Attrib Densidade -0.31839054265698336

Attrib Areia -1.4453183231260394

Attrib Silte -2.2301188075017233

Attrib Argila 2.9834223176079657

Attrib Resistencia -7.41274649582351

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -7.288363538515623

Attrib ID 1.0907617349077414

Attrib Tensao -0.18993670597570242

Attrib Densidade -3.03273014711491

Attrib Areia 4.699626163322048

Attrib Silte -5.412627236942758

Attrib Argila -3.685922310907565

Attrib Resistencia 0.950189100453284

Sigmoid Node 4

Inputs Weights

Threshold -9.62313571555318

Attrib ID 1.6851726960011022

Attrib Tensao -0.5183567659974233

Attrib Densidade -2.4839855167519187

Attrib Areia 6.317974410028661

Attrib Silte -6.347682416182607

Attrib Argila -6.0065624355590455

Attrib Resistencia 1.7649013969482608

Sigmoid Node 5

Inputs Weights

Threshold 0.45077396301357187

Attrib ID 0.5055609228603244

Attrib Tensao -2.922104239421991

Attrib Densidade -0.6837819238411748

Attrib Areia 1.4482059788239998

Attrib Silte 0.4986002281794502

Attrib Argila -2.5301009054159276

Attrib Resistencia 11.030811949884399

Sigmoid Node 6

Inputs Weights

Threshold -4.28863376425173

Attrib ID -0.3047777397083621

Attrib Tensao 0.04548578475084637

Attrib Densidade 0.2817853285855828

Attrib Areia -1.3022660718425314

Attrib Silte -1.371744372304229

Attrib Argila 3.3190789900683675

Attrib Resistencia -2.4421001258242376

Sigmoid Node 7

Inputs Weights

Threshold -7.377055907161132

Attrib ID -3.1353402646636446

Attrib Tensao -0.6460166548713986

Attrib Densidade 0.12373021845874228

Attrib Areia -1.1318772198802562

Attrib Silte 2.124390794127938

Attrib Argila 0.3368269417652825

Attrib Resistencia -3.0090130561515243

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold 0.18060086211456855

Node 1 4.620068256013655

Node 2 -0.5590988000835282

Node 3 1.1553649661051975

Node 4 -0.8154543756832419

Node 5 -1.3119028320334125

Node 6 0.6078667932824482

Node 7 -0.8048716109347339

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -17.39345153414324

Attrib ID -0.055486297224747856

Attrib Tensao -15.239693934192854

Attrib Densidade 0.7839408164162487

Attrib Areia -0.7691524411445009

Attrib Silte -0.17284389995805557
 Attrib Argila 0.5343372293045995
 Attrib Resistencia 0.4317998542657026
 Sigmoid Node 2
 Inputs Weights
 Threshold -3.424245257850987
 Attrib ID -0.5105267904485048
 Attrib Tensao 1.6621366533270254
 Attrib Densidade 0.6518931341297368
 Attrib Areia -3.3482353751031315
 Attrib Silte 0.18700050993261372
 Attrib Argila 4.6551832568409015
 Attrib Resistencia -10.18929158653102
 Sigmoid Node 3
 Inputs Weights
 Threshold -5.383537397480689
 Attrib ID 1.3702960081288462
 Attrib Tensao 0.03924356557050512
 Attrib Densidade -2.5517253632100423
 Attrib Areia 2.7937354916083375
 Attrib Silte -4.698552916138551
 Attrib Argila -1.368391837708742
 Attrib Resistencia 3.983739067089216
 Sigmoid Node 4
 Inputs Weights
 Threshold -5.201060946265604
 Attrib ID 0.1733769694859769
 Attrib Tensao 0.936147110450617
 Attrib Densidade 1.9372778615271422
 Attrib Areia 4.0389884341925315
 Attrib Silte 0.4878448472472405
 Attrib Argila -6.446851833405329
 Attrib Resistencia -3.4704603671092324
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold -5.795936102792695
 Attrib ID 1.697903421918511
 Attrib Tensao 0.25835354642410424
 Attrib Densidade -2.2996136411884254
 Attrib Areia 1.8234822694900303
 Attrib Silte -4.94853552148009
 Attrib Argila 0.02480583693841801
 Attrib Resistencia 4.101541910950424
 Sigmoid Node 6
 Inputs Weights
 Threshold -3.634973225464237
 Attrib ID 1.6258714967916705
 Attrib Tensao 0.01853216965346859
 Attrib Densidade -2.2295495698456937
 Attrib Areia -1.7777706948819993
 Attrib Silte 0.052402558180734415
 Attrib Argila 2.4840551333877534

Attrib Resistencia -0.7256201943114566
Sigmoid Node 7
Inputs Weights
Threshold 0.7529909551948464
Attrib ID 0.7083758381836422
Attrib Tensao -0.16460760791951148
Attrib Densidade -1.8718465243209268
Attrib Areia 1.1085213577851754
Attrib Silte -1.3330317502415863
Attrib Argila -0.5080578024147089
Attrib Resistencia 5.685681371406888
Class
Input
Node 0

Linear Node 0
Inputs Weights
Threshold 0.6485531857793715
Node 1 5.317912629056006
Node 2 -1.0905674834485204
Node 3 -0.30442960849706563
Node 4 -1.5257904031433447
Node 5 -0.7016836287158752
Node 6 0.8046414357367183
Node 7 -1.1402790908924962

Sigmoid Node 1
Inputs Weights
Threshold -17.568285392719048
Attrib ID 0.14064686290392514
Attrib Tensao -15.336220979584844
Attrib Densidade 0.24533970683031844
Attrib Areia -0.20078539145164695
Attrib Silte 0.1859191692484428
Attrib Argila 0.650402238377874
Attrib Resistencia -0.11198305803809502

Sigmoid Node 2
Inputs Weights
Threshold 7.090388529260638
Attrib ID -0.005535683352667445
Attrib Tensao 1.9965283056852232
Attrib Densidade -2.8068079106815387
Attrib Areia -7.443911433687925
Attrib Silte 4.415688688823984
Attrib Argila 8.49732932578008
Attrib Resistencia -0.17700236380870762

Sigmoid Node 3
Inputs Weights
Threshold -3.6545754754235125
Attrib ID 2.5706462967640133
Attrib Tensao -1.6969592324829759
Attrib Densidade 2.5809218272264443

Attrib Areia -0.5347503681330654
Attrib Silte 3.6611140999566816
Attrib Argila -1.4422295919986452
Attrib Resistencia -0.2872699083141164

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -4.946379582291588
Attrib ID 0.24006716644289522
Attrib Tensao -0.8479125523497854
Attrib Densidade 0.46435274406662463
Attrib Areia 4.784657248559194
Attrib Silte -2.9798991249511304
Attrib Argila -4.852370001969682
Attrib Resistencia 0.0642539721305839

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold -2.398280544794345
Attrib ID 2.2633203625058993
Attrib Tensao 3.4014054150219337
Attrib Densidade 2.244686412518153
Attrib Areia -1.9169124340607628
Attrib Silte 0.3691855381662435
Attrib Argila 2.585257732125417
Attrib Resistencia 0.1639898050659262

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -1.6269305804912624
Attrib ID 1.7070660922112484
Attrib Tensao 1.326936464201631
Attrib Densidade 2.8790973619374474
Attrib Areia -1.6309326131617334
Attrib Silte 0.8625804273371096
Attrib Argila 1.9117418008531328
Attrib Resistencia 0.39335960524525376

Sigmoid Node 7

Inputs Weights
Threshold -5.748208804237167
Attrib ID -0.33752212240541113
Attrib Tensao -0.6272397098112329
Attrib Densidade 2.1368864787938087
Attrib Areia 0.7142952762881252
Attrib Silte 1.098242482285976
Attrib Argila -1.3620253138601823
Attrib Resistencia 5.127139840800982

Class

Input
Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights
Threshold -0.08514832970307468

Node 1 3.0061403553117136
Node 2 -0.6240286296345312
Node 3 1.8542717308462413
Node 4 -0.8622469853002301
Node 5 -0.45753549031254354
Node 6 0.9423087820613745
Node 7 0.8028157899527979

Sigmoid Node 1

Inputs Weights
Threshold -17.527478500500695
Attrib ID 0.016573435211707448
Attrib Tensao -15.843992038343513
Attrib Densidade 0.7240097974877693
Attrib Areia -0.9345369271290069
Attrib Silte 0.15755908642743605
Attrib Argila 0.3273278192196848
Attrib Resistencia 0.186848407086285

Sigmoid Node 2

Inputs Weights
Threshold -1.5636591673054816
Attrib ID -0.03128101290031436
Attrib Tensao 1.8118592993544747
Attrib Densidade 0.5774823377079971
Attrib Areia -2.2854134050119317
Attrib Silte 0.4514779798606381
Attrib Argila 3.4153424156651253
Attrib Resistencia -5.9142242656180395

Sigmoid Node 3

Inputs Weights
Threshold -6.217726233142907
Attrib ID 0.4285415594622626
Attrib Tensao 0.6852184106699394
Attrib Densidade -2.632529977784235
Attrib Areia 2.3173865064364367
Attrib Silte -0.18264068167249237
Attrib Argila -3.381893228691646
Attrib Resistencia -1.866023024966635

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -4.892517397719078
Attrib ID 0.5771794713989089
Attrib Tensao 0.43908691113992165
Attrib Densidade 0.9478196443672247
Attrib Areia 4.876256084625483
Attrib Silte 2.661454360826621
Attrib Argila -9.218164330644571
Attrib Resistencia -3.055507227539749

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold 0.09852003401662167
Attrib ID 0.06772307456389184
Attrib Tensao -0.6441833915413645

Attrib Densidade -2.675339427587005
Attrib Areia -1.4175874808849815
Attrib Silte -4.497313658022951
Attrib Argila 5.015578676012058
Attrib Resistencia 11.304203826550399

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -2.5956344799982083
Attrib ID 0.3914834463034672
Attrib Tensao -0.014029318030051344
Attrib Densidade 2.071001934851569
Attrib Areia -2.1502894787154356
Attrib Silte 0.6995564828974509
Attrib Argila 2.7923784174545494
Attrib Resistencia -0.5638282643193299

Sigmoid Node 7

Inputs Weights
Threshold -5.641843528523035
Attrib ID -0.0248900567923795
Attrib Tensao 0.19567192455732288
Attrib Densidade -4.687670403891884
Attrib Areia -0.23777509474130246
Attrib Silte -0.8916990082550165
Attrib Argila 1.031690261029461
Attrib Resistencia -3.2822435080111108

Class

Input
Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights
Threshold 0.6087347503224566
Node 1 2.2965978824825384
Node 2 -1.0379451804087068
Node 3 0.5987591904991069
Node 4 -0.6094742407833599
Node 5 -1.1093035965491254
Node 6 0.3037846297789125
Node 7 -2.5169444752905656

Sigmoid Node 1

Inputs Weights
Threshold -16.750150461515
Attrib ID 0.01088874168605838
Attrib Tensao -15.419298013883697
Attrib Densidade 0.8356798259901366
Attrib Areia -0.04648909693771732
Attrib Silte 0.02863226499089449
Attrib Argila 1.2293357205828872
Attrib Resistencia 0.40484051120106873

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -2.0203414603950445
Attrib ID -0.36727737544474603
Attrib Tensao 3.0648679853884
Attrib Densidade -0.14195373759094684
Attrib Areia -2.386163025615229
Attrib Silte -0.7992098666318065
Attrib Argila 3.04827777716492
Attrib Resistencia -10.833393958562613

Sigmoid Node 3

Inputs Weights
Threshold -3.747455398386059
Attrib ID 0.2462830330152756
Attrib Tensao 1.063028332256562
Attrib Densidade -4.654768037464244
Attrib Areia 3.120956933515422
Attrib Silte -0.6302495721535981
Attrib Argila -5.195708215373475
Attrib Resistencia 1.017368695340605

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -5.207484379383181
Attrib ID 0.22205738814799883
Attrib Tensao 0.7187503749685381
Attrib Densidade 2.120481044595522
Attrib Areia 3.654942752558062
Attrib Silte 0.9444168629664185
Attrib Argila -6.405028946373317
Attrib Resistencia -4.146749790542127

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold 1.195005469156104
Attrib ID 0.42793297544441494
Attrib Tensao -1.954938169958313
Attrib Densidade -0.764580645358335
Attrib Areia 1.0390817036873838
Attrib Silte -0.3829977901443495
Attrib Argila -1.953952395160271
Attrib Resistencia 9.850807823660475

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -5.7658585854599345
Attrib ID 2.687385899429462
Attrib Tensao 0.3490666577065706
Attrib Densidade -3.341709428826369
Attrib Areia -2.5138673194524745
Attrib Silte 1.7000003082979724
Attrib Argila 3.0063070035098245
Attrib Resistencia -1.162842956227069

Sigmoid Node 7

Inputs Weights
Threshold -4.401834644540199
Attrib ID 0.13479841901815942

Attrib Tensao 0.8516925691528568
Attrib Densidade -2.8107082724282195
Attrib Areia 1.8391344809358012
Attrib Silte -1.485921184442714
Attrib Argila -1.302387270239185
Attrib Resistencia 0.521932542523625

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold -0.025869875200542534

Node 1 2.312506751400064

Node 2 -2.485683840955839

Node 3 0.6396484035027397

Node 4 -0.9088830363435536

Node 5 -1.4897627691999928

Node 6 0.6452404326904007

Node 7 -0.3136747594440077

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -16.453529215286906

Attrib ID -0.14923467896949016

Attrib Tensao -15.364416022729264

Attrib Densidade 0.8722709569821578

Attrib Areia -0.6933056968407588

Attrib Silte 0.3208889680370377

Attrib Argila 0.40666991473177055

Attrib Resistencia -0.08337677171634748

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -8.606561472654242

Attrib ID -0.7550123077509361

Attrib Tensao -4.045214854843551

Attrib Densidade 0.5288349344088245

Attrib Areia -1.4048685759208634

Attrib Silte -0.5551146655551298

Attrib Argila 1.4357454641812946

Attrib Resistencia -2.6976148857420807

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -4.021892451308955

Attrib ID -1.1799466063912945

Attrib Tensao 0.38019809434501634

Attrib Densidade -4.064616604809628

Attrib Areia 2.1558453473591377

Attrib Silte 0.08191470645775868

Attrib Argila -3.0264379871621845

Attrib Resistencia -1.051870529065999

Sigmoid Node 4

Inputs Weights

Threshold -4.061453093579969
Attrib ID 0.08347096510308308
Attrib Tensao -0.04732142827654571
Attrib Densidade 0.003625339196865486
Attrib Areia 3.030903159656492
Attrib Silte 1.0720326659687178
Attrib Argila -6.0348767628862845
Attrib Resistencia -3.254564888279771

Sigmoid Node 5

Inputs Weights

Threshold -0.9437211059091906
Attrib ID -0.06467327312717837
Attrib Tensao 0.6608527521664487
Attrib Densidade -0.8605357465539065
Attrib Areia -0.8716731194333895
Attrib Silte -0.3895339892228511
Attrib Argila 0.24053479138757652
Attrib Resistencia 0.21202670588636607

Sigmoid Node 6

Inputs Weights

Threshold -4.722363293395885
Attrib ID 1.1037052290283853
Attrib Tensao 0.26113984772501253
Attrib Densidade -2.912189789291169
Attrib Areia -2.702778839563002
Attrib Silte -0.19038440495210535
Attrib Argila 4.378941542380906
Attrib Resistencia 0.8782084589380099

Sigmoid Node 7

Inputs Weights

Threshold -4.810532319332876
Attrib ID 0.3103195892825485
Attrib Tensao -6.464899899585646
Attrib Densidade -1.9356498521354741
Attrib Areia 0.7697088532418555
Attrib Silte -0.15070379746091858
Attrib Argila -1.262111541170933
Attrib Resistencia 11.252084841080608

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold 0.44223271166387856
Node 1 3.5252871317242804
Node 2 0.3539755423721932
Node 3 0.4823477695829627
Node 4 -0.47921253549685205
Node 5 -1.1035461470409176

Node 6 0.46264083953842355
 Node 7 -1.163749003650667
 Sigmoid Node 1
 Inputs Weights
 Threshold -18.31896044099237
 Attrib ID 0.0672070088805613
 Attrib Tensao -16.340850281924997
 Attrib Densidade 0.3167863475085924
 Attrib Areia -0.42241640755349963
 Attrib Silte 0.046962335206489604
 Attrib Argila 0.5113850111191505
 Attrib Resistencia 0.05551579631563913
 Sigmoid Node 2
 Inputs Weights
 Threshold -2.657793806563834
 Attrib ID -0.5107574740990819
 Attrib Tensao 0.17665717584401433
 Attrib Densidade -2.895592867528342
 Attrib Areia 2.108405550280105
 Attrib Silte -0.6531945882454225
 Attrib Argila -2.0100908081349695
 Attrib Resistencia -0.34481756771566474
 Sigmoid Node 3
 Inputs Weights
 Threshold -3.270588243578899
 Attrib ID 1.6467447132431123
 Attrib Tensao 0.0752118419917723
 Attrib Densidade -2.07776946770761
 Attrib Areia 0.36241920372395503
 Attrib Silte 2.015970895962104
 Attrib Argila -1.5996291859809546
 Attrib Resistencia 1.0951000597529952
 Sigmoid Node 4
 Inputs Weights
 Threshold -7.276665915219753
 Attrib ID 0.20680541356645485
 Attrib Tensao -0.10405886791078105
 Attrib Densidade 4.386460172954067
 Attrib Areia 3.423869419857185
 Attrib Silte -1.2519906070872955
 Attrib Argila -4.583615611875028
 Attrib Resistencia -4.8552206553828166
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold 0.006333366360402325
 Attrib ID 0.2364626875072029
 Attrib Tensao -3.4762635107214583
 Attrib Densidade 0.4194380816318988
 Attrib Areia 1.5669446365850437
 Attrib Silte 0.4261422028598229
 Attrib Argila -3.2970472846277765
 Attrib Resistencia 13.433756770621253

Sigmoid Node 6

Inputs Weights

Threshold -2.0496963817458766

Attrib ID 0.0010791187861932344

Attrib Tensao -0.9323252792755926

Attrib Densidade 3.3584515660873873

Attrib Areia -1.610602023398028

Attrib Silte -0.36662391086107177

Attrib Argila 3.138876258536278

Attrib Resistencia -0.6156217963926015

Sigmoid Node 7

Inputs Weights

Threshold -0.24860694845556996

Attrib ID -0.07306150628846766

Attrib Tensao 3.9114492752551344

Attrib Densidade -1.453247183005469

Attrib Areia -2.1330088850432807

Attrib Silte -1.5247996635378274

Attrib Argila 3.495004024351877

Attrib Resistencia -11.782640347035601

Class

Input

Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold 0.36301667911669816

Node 1 2.9894533089324486

Node 2 -0.8456681739026435

Node 3 0.9035632084875689

Node 4 -1.448093152422629

Node 5 0.4757064675615971

Node 6 0.30711701764708205

Node 7 -0.9292036556164344

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold -18.340783489641513

Attrib ID 0.0663503022983829

Attrib Tensao -16.62653081024835

Attrib Densidade 0.5969600421776393

Attrib Areia -0.08867795791276172

Attrib Silte 0.07930682183123848

Attrib Argila 1.0354453614078392

Attrib Resistencia 0.14288847115429623

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -3.5864945904828467

Attrib ID -0.20727536499719149

Attrib Tensao 1.0767777192390866

Attrib Densidade 0.572376943756457

Attrib Areia -2.325391647037696

Attrib Silte -0.10404922971979128
 Attrib Argila 2.6271895371000746
 Attrib Resistencia -10.340555410187408
 Sigmoid Node 3
 Inputs Weights
 Threshold -7.7694043188382045
 Attrib ID 1.3363799363770148
 Attrib Tensao 2.2652416648874505
 Attrib Densidade 1.3671754135935856
 Attrib Areia 4.585676625649173
 Attrib Silte -1.1556870116194708
 Attrib Argila -6.500465893514611
 Attrib Resistencia -2.190303920956501
 Sigmoid Node 4
 Inputs Weights
 Threshold -5.073319796294137
 Attrib ID 0.7258912214651132
 Attrib Tensao 1.1183760858351266
 Attrib Densidade 1.295983634259033
 Attrib Areia 3.1165344639606247
 Attrib Silte -0.3428818421060524
 Attrib Argila -4.495655913478165
 Attrib Resistencia -3.0655402437858688
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold -3.810788684321406
 Attrib ID -0.29388770545223875
 Attrib Tensao -0.8381663971214774
 Attrib Densidade -3.0550621887992975
 Attrib Areia 1.9429892574811956
 Attrib Silte 1.1821967680847105
 Attrib Argila -3.194762786125847
 Attrib Resistencia -0.3511654752684622
 Sigmoid Node 6
 Inputs Weights
 Threshold -2.378573616887851
 Attrib ID 2.5741466027334465
 Attrib Tensao 0.5996606979594318
 Attrib Densidade 3.444118441965726
 Attrib Areia -2.616493799359647
 Attrib Silte 2.39455945871352
 Attrib Argila 3.033494486764037
 Attrib Resistencia -0.5902323225792018
 Sigmoid Node 7
 Inputs Weights
 Threshold 2.1818898629148276
 Attrib ID 0.3829746776195428
 Attrib Tensao -0.09799229325914639
 Attrib Densidade -1.8753385942670078
 Attrib Areia 1.02276590971411
 Attrib Silte -0.7256174130902444
 Attrib Argila -1.3056374876291077

Attrib Resistencia 7.732514445039269
Class
Input
Node 0

Linear Node 0

Inputs Weights
Threshold 0.8231431685272145
Node 1 6.217282684761814
Node 2 -1.5079221013829618
Node 3 -0.6598683242119581
Node 4 -0.3681116139108827
Node 5 -1.3421746255676426
Node 6 0.6241600112852838
Node 7 0.5579422181904408

Sigmoid Node 1

Inputs Weights
Threshold -19.41576682424108
Attrib ID 0.014128831567275107
Attrib Tensao -16.81616510150464
Attrib Densidade 0.19575415489010375
Attrib Areia -0.06497538257228434
Attrib Silte 0.48400096921735847
Attrib Argila 0.47260745153564515
Attrib Resistencia 0.0800233875600814

Sigmoid Node 2

Inputs Weights
Threshold -4.168310038108277
Attrib ID -0.08798391641515556
Attrib Tensao 0.8492940824102915
Attrib Densidade 0.6662427123875926
Attrib Areia -2.868470720131846
Attrib Silte -0.20716662309020661
Attrib Argila 3.239597790493323
Attrib Resistencia -11.75573280928772

Sigmoid Node 3

Inputs Weights
Threshold -0.4516070254380569
Attrib ID -1.2737525430102556
Attrib Tensao 0.06405414084121287
Attrib Densidade 1.1376188134182434
Attrib Areia -1.3264217332855732
Attrib Silte 3.177646596262513
Attrib Argila -0.5332242649258422
Attrib Resistencia 2.487909703782636

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -4.998131007480906
Attrib ID 0.8946303830616704
Attrib Tensao 1.594287559105706
Attrib Densidade 4.36859976272232

Attrib Areia 3.9048093583640338
 Attrib Silte 1.0382617240358754
 Attrib Argila -6.707568010991878
 Attrib Resistencia -3.8692129599316827
 Sigmoid Node 5
 Inputs Weights
 Threshold 3.6543620253724645
 Attrib ID 0.4468299765382412
 Attrib Tensao -0.2024936641869589
 Attrib Densidade -1.6059422367125888
 Attrib Areia 1.4759611922333786
 Attrib Silte -0.6964215441453488
 Attrib Argila -3.0808524389433867
 Attrib Resistencia 11.867158932022868
 Sigmoid Node 6
 Inputs Weights
 Threshold -2.0064929053620038
 Attrib ID 0.27842055793351816
 Attrib Tensao 0.1145894901492924
 Attrib Densidade 2.3612513776247877
 Attrib Areia -1.6010960467416493
 Attrib Silte -0.7162035617340317
 Attrib Argila 3.3579225455960215
 Attrib Resistencia -1.4026030617910579
 Sigmoid Node 7
 Inputs Weights
 Threshold -0.1608080326193562
 Attrib ID -1.810606383504228
 Attrib Tensao -0.6087164870059635
 Attrib Densidade -1.16812591104776
 Attrib Areia -0.4397742543756627
 Attrib Silte 5.903070228740166
 Attrib Argila -2.3158033052512117
 Attrib Resistencia 3.2560390097156433
 Class
 Input
 Node 0

Linear Node 0
 Inputs Weights
 Threshold 0.07746838507166395
 Node 1 5.232693309757157
 Node 2 -0.9010399689736358
 Node 3 1.2032024146530225
 Node 4 -1.0748170976436149
 Node 5 -0.4532103951784855
 Node 6 0.9426104996815229
 Node 7 -0.5443451729472998
 Sigmoid Node 1
 Inputs Weights
 Threshold -16.949738498466573

Attrib ID 0.13391157587401128
Attrib Tensao -14.582366591465906
Attrib Densidade 0.4372957398000714
Attrib Areia 0.12744969650314542
Attrib Silte 0.4137474082168627
Attrib Argila 0.5497316303837491
Attrib Resistencia 0.179978218651786

Sigmoid Node 2

Inputs Weights
Threshold -1.733281479361231
Attrib ID 0.2755770481965802
Attrib Tensao 0.9268555630306865
Attrib Densidade 1.5367427395806807
Attrib Areia -3.5070544187511534
Attrib Silte 1.2213716470929232
Attrib Argila 4.330292535034547
Attrib Resistencia -5.3801323596330395

Sigmoid Node 3

Inputs Weights
Threshold -6.846351294160827
Attrib ID 0.826137037427412
Attrib Tensao -0.16681742834133978
Attrib Densidade -0.07264306745816097
Attrib Areia 3.2335029850598422
Attrib Silte -2.73713331018608
Attrib Argila -2.5984850079655306
Attrib Resistencia 2.390852296648819

Sigmoid Node 4

Inputs Weights
Threshold -6.363275837732235
Attrib ID 1.06533738074087
Attrib Tensao -0.44487338254442094
Attrib Densidade 1.3835905570850704
Attrib Areia 3.224524744957389
Attrib Silte -1.62428523327639
Attrib Argila -4.187465890260973
Attrib Resistencia -1.015164955338219

Sigmoid Node 5

Inputs Weights
Threshold -2.9845281884425248
Attrib ID 0.306902309320546
Attrib Tensao 0.6678948537187475
Attrib Densidade 0.20903003746904167
Attrib Areia 0.21069155792944064
Attrib Silte -3.2660188674507684
Attrib Argila 1.3468367901473803
Attrib Resistencia 1.4820806060347969

Sigmoid Node 6

Inputs Weights
Threshold -2.7533114657141318
Attrib ID 0.4951594321602986
Attrib Tensao 0.06495776486698239

Attrib Densidade 1.707467313719327
 Attrib Areia -2.7422599141744493
 Attrib Silte 0.05993640278836607
 Attrib Argila 4.089571945271423
 Attrib Resistencia -1.4211264728117436
 Sigmoid Node 7
 Inputs Weights
 Threshold 1.8053169022186724
 Attrib ID 0.17231195446797276
 Attrib Tensao -0.04832034045641167
 Attrib Densidade -3.3644527760520826
 Attrib Areia 1.7352337941850062
 Attrib Silte -0.8475442775067428
 Attrib Argila -2.2730861102880358
 Attrib Resistencia 9.974141109304298
 Class
 Input
 Node 0

Time taken to build model: 1159.45 seconds

=== Predictions on test data ===

inst#	actual	predicted	error
1	0.24	0.227	-0.013
2	0.137	0.136	0
3	0.222	0.198	-0.024
4	0.143	0.142	-0.001
5	0.254	0.248	-0.007
6	0.142	0.148	0.006
7	0.154	0.147	-0.007
8	0.239	0.236	-0.002
9	0.177	0.174	-0.003
10	0.324	0.3	-0.024
11	0.179	0.187	0.007
12	0.327	0.353	0.027
13	0.218	0.212	-0.007
14	0.214	0.209	-0.004
15	0.26	0.271	0.011
16	0.148	0.147	0
17	0.173	0.182	0.009
18	0.226	0.2	-0.026
19	0.352	0.353	0.001
20	0.284	0.28	-0.004
21	0.187	0.197	0.01
22	0.261	0.244	-0.017
23	0.142	0.13	-0.012
24	0.133	0.146	0.013
25	0.178	0.19	0.012
26	0.168	0.17	0.002
27	0.243	0.235	-0.008

28	0.191	0.19	0
1	0.21	0.194	-0.016
2	0.142	0.137	-0.005
3	0.208	0.211	0.003
4	0.253	0.213	-0.04
5	0.202	0.206	0.003
6	0.157	0.16	0.003
7	0.209	0.207	-0.003
8	0.232	0.247	0.016
9	0.209	0.186	-0.022
10	0.23	0.232	0.002
11	0.26	0.249	-0.012
12	0.32	0.307	-0.013
13	0.18	0.195	0.014
14	0.207	0.206	-0.001
15	0.258	0.243	-0.015
16	0.152	0.145	-0.007
17	0.206	0.203	-0.003
18	0.194	0.184	-0.01
19	0.34	0.308	-0.032
20	0.139	0.136	-0.003
21	0.231	0.211	-0.019
22	0.189	0.195	0.006
23	0.187	0.187	-0.001
24	0.215	0.199	-0.016
25	0.232	0.233	0.001
26	0.186	0.21	0.024
27	0.37	0.358	-0.012
28	0.298	0.269	-0.029
1	0.283	0.29	0.007
2	0.224	0.24	0.016
3	0.127	0.137	0.01
4	0.18	0.197	0.017
5	0.209	0.225	0.016
6	0.276	0.28	0.004
7	0.292	0.288	-0.005
8	0.299	0.287	-0.012
9	0.242	0.228	-0.013
10	0.179	0.191	0.012
11	0.192	0.196	0.004
12	0.205	0.214	0.009
13	0.158	0.163	0.006
14	0.284	0.257	-0.026
15	0.382	0.381	0
16	0.218	0.212	-0.006
17	0.283	0.27	-0.013
18	0.181	0.189	0.008
19	0.258	0.261	0.003
20	0.145	0.147	0.002
21	0.169	0.175	0.006
22	0.231	0.233	0.001
23	0.153	0.17	0.017

24	0.156	0.145	-0.01
25	0.177	0.182	0.005
26	0.153	0.176	0.022
27	0.185	0.188	0.004
28	0.189	0.197	0.008
1	0.162	0.166	0.004
2	0.246	0.24	-0.006
3	0.283	0.305	0.022
4	0.18	0.203	0.023
5	0.222	0.221	-0.001
6	0.159	0.15	-0.009
7	0.189	0.189	0
8	0.15	0.128	-0.022
9	0.144	0.143	-0.001
10	0.254	0.235	-0.019
11	0.213	0.216	0.003
12	0.218	0.218	0
13	0.159	0.162	0.003
14	0.221	0.223	0.002
15	0.144	0.14	-0.004
16	0.184	0.196	0.011
17	0.143	0.145	0.002
18	0.196	0.199	0.003
19	0.197	0.198	0.001
20	0.16	0.144	-0.016
21	0.242	0.24	-0.002
22	0.244	0.248	0.004
23	0.151	0.14	-0.011
24	0.181	0.205	0.024
25	0.27	0.303	0.032
26	0.187	0.164	-0.023
27	0.164	0.18	0.016
28	0.261	0.265	0.005
1	0.189	0.182	-0.007
2	0.22	0.218	-0.002
3	0.323	0.332	0.009
4	0.154	0.157	0.003
5	0.148	0.15	0.002
6	0.154	0.168	0.014
7	0.177	0.181	0.004
8	0.272	0.254	-0.018
9	0.149	0.141	-0.007
10	0.204	0.202	-0.003
11	0.238	0.242	0.004
12	0.149	0.156	0.007
13	0.195	0.175	-0.02
14	0.241	0.231	-0.01
15	0.148	0.149	0.001
16	0.15	0.145	-0.004
17	0.182	0.19	0.008
18	0.19	0.179	-0.011
19	0.227	0.223	-0.005

20	0.194	0.218	0.024
21	0.18	0.191	0.011
22	0.147	0.151	0.004
23	0.36	0.301	-0.059
24	0.143	0.139	-0.004
25	0.271	0.272	0.001
26	0.123	0.136	0.013
27	0.217	0.216	-0.001
28	0.173	0.181	0.007
1	0.274	0.262	-0.012
2	0.241	0.253	0.012
3	0.136	0.138	0.002
4	0.236	0.228	-0.007
5	0.258	0.231	-0.027
6	0.196	0.183	-0.013
7	0.296	0.278	-0.018
8	0.191	0.191	-0.001
9	0.129	0.144	0.016
10	0.161	0.18	0.019
11	0.289	0.29	0.002
12	0.236	0.235	-0.001
13	0.269	0.247	-0.022
14	0.215	0.201	-0.015
15	0.144	0.152	0.008
16	0.185	0.188	0.003
17	0.236	0.245	0.009
18	0.242	0.251	0.008
19	0.191	0.185	-0.006
20	0.259	0.257	-0.002
21	0.279	0.276	-0.003
22	0.228	0.232	0.003
23	0.265	0.27	0.005
24	0.193	0.183	-0.011
25	0.203	0.203	0
26	0.311	0.302	-0.009
27	0.245	0.243	-0.002
1	0.237	0.247	0.011
2	0.245	0.252	0.007
3	0.178	0.185	0.007
4	0.144	0.149	0.005
5	0.16	0.146	-0.014
6	0.192	0.194	0.002
7	0.218	0.213	-0.004
8	0.229	0.216	-0.013
9	0.195	0.203	0.008
10	0.147	0.162	0.015
11	0.168	0.166	-0.002
12	0.411	0.414	0.003
13	0.253	0.291	0.038
14	0.386	0.373	-0.014
15	0.285	0.293	0.008
16	0.227	0.209	-0.018

17	0.273	0.254	-0.019
18	0.264	0.28	0.015
19	0.33	0.32	-0.01
20	0.157	0.146	-0.012
21	0.173	0.177	0.004
22	0.24	0.242	0.002
23	0.151	0.154	0.004
24	0.16	0.144	-0.016
25	0.295	0.316	0.02
26	0.2	0.194	-0.006
27	0.198	0.221	0.023
1	0.241	0.246	0.004
2	0.232	0.235	0.003
3	0.267	0.271	0.005
4	0.251	0.274	0.024
5	0.183	0.198	0.015
6	0.196	0.218	0.023
7	0.233	0.246	0.013
8	0.197	0.182	-0.015
9	0.155	0.148	-0.006
10	0.246	0.259	0.013
11	0.184	0.183	-0.001
12	0.204	0.205	0.001
13	0.221	0.252	0.031
14	0.218	0.188	-0.03
15	0.173	0.187	0.014
16	0.201	0.211	0.01
17	0.162	0.169	0.007
18	0.184	0.191	0.007
19	0.209	0.201	-0.008
20	0.176	0.178	0.002
21	0.258	0.271	0.013
22	0.195	0.201	0.006
23	0.142	0.146	0.005
24	0.19	0.205	0.014
25	0.146	0.148	0.003
26	0.28	0.275	-0.005
27	0.298	0.301	0.003
1	0.228	0.224	-0.005
2	0.212	0.19	-0.022
3	0.173	0.177	0.004
4	0.217	0.208	-0.009
5	0.196	0.18	-0.016
6	0.201	0.202	0.001
7	0.291	0.3	0.009
8	0.219	0.218	-0.001
9	0.221	0.231	0.01
10	0.224	0.236	0.012
11	0.254	0.266	0.011
12	0.159	0.164	0.005
13	0.321	0.269	-0.052
14	0.25	0.248	-0.002

15	0.194	0.185	-0.008
16	0.253	0.284	0.031
17	0.198	0.189	-0.009
18	0.221	0.236	0.015
19	0.302	0.293	-0.009
20	0.25	0.254	0.003
21	0.137	0.134	-0.002
22	0.237	0.243	0.006
23	0.144	0.159	0.015
24	0.254	0.261	0.007
25	0.244	0.222	-0.023
26	0.221	0.209	-0.012
27	0.151	0.136	-0.014
1	0.287	0.271	-0.017
2	0.195	0.192	-0.003
3	0.16	0.154	-0.006
4	0.192	0.202	0.01
5	0.173	0.18	0.006
6	0.207	0.204	-0.003
7	0.219	0.234	0.015
8	0.182	0.18	-0.002
9	0.238	0.23	-0.008
10	0.184	0.181	-0.003
11	0.238	0.23	-0.008
12	0.204	0.2	-0.004
13	0.218	0.22	0.002
14	0.264	0.255	-0.009
15	0.273	0.29	0.017
16	0.233	0.225	-0.008
17	0.208	0.19	-0.018
18	0.224	0.217	-0.006
19	0.182	0.19	0.008
20	0.185	0.183	-0.002
21	0.185	0.18	-0.005
22	0.171	0.178	0.008
23	0.258	0.248	-0.01
24	0.184	0.182	-0.001
25	0.296	0.261	-0.035
26	0.174	0.186	0.012
27	0.276	0.266	-0.01

==== Cross-validation ====

==== Summary ====

Correlation coefficient	0.9682
Mean absolute error	0.01
Root mean squared error	0.0133
Relative absolute error	23.3834 %
Root relative squared error	24.9312 %
Total Number of Instances	275

ANEXO A – Descrição dos solos estudados até o terceiro nível categórico

A seguir são caracterizados os solos estudados até o terceiro nível categórico, de acordo com Embrapa (2006).

LATOSSOLO

Solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm. Se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura.

Classes do 2º nível categórico

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

Solos de cores vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas, que não se enquadram nas outras classes.

Classes do 3º nível categórico

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distróficos

Solos com saturação por bases baixa ($V < 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusiva BA).

Classes do 2º nível categórico

LATOSSOLO VERMELHO

Solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

Classes do 3º nível categórico

LATOSSOLO VERMELHO Eutróficos

Outra solos com saturação por bases alta ($V \geq 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

Classes do 2º nível categórico

LATOSSOLO VERMELHO

Solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

Classes do 3º nível categórico

LATOSSOLO VERMELHO Distroféricos

Solos com saturação por bases baixa ($V < 50\%$) e teores de Fe_2O_3 (pelo H_2SO_4) de 180g/kg a <360 g/kg na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

NITOSSOLO

Solos com 350 g/kg ou mais de argila, inclusive no horizonte A, constituídos por material mineral que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A, com argila de atividade baixa ou caráter alítico na maior parte do horizonte B, dentro de 150 cm da superfície do solo.

Os Nitossolos praticamente não apresentam policromia acentuada no perfil e devem satisfazer os seguintes critérios de cores:

- a) para solos com todas as cores dos horizontes A e B, exceto BC, dentro de uma mesma página de matiz, admitem-se variações de no máximo 2 unidades para valor e 3 (*) unidades para croma;
- b) para solos apresentando cores dos horizontes A e B, exceto BC, em duas páginas de matiz, admite-se variação de ≤ 1 unidade de valor e ≤ 2 (*) unidades de croma;
- c) para solos apresentando cores dos horizontes A e B, exceto BC, em mais de duas páginas de matiz, não se admite variação para valor e admite-se variação de ≤ 1 (*) unidade de croma.

(*) admite-se variação de uma unidade a mais que a indicada, para solos intermediários (latossólicos, rubricos, etc), ou quando a diferença ocorrer entre o horizonte A mais superficial e horizonte (s) da parte inferior do perfil, situado (s) a mais de 100 cm da superfície do solo.

Classes do 2º nível categórico

NITOSSOLO VERMELHO

Solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (exclusive BA).

Classes do 3º nível categórico

NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico

Solos com saturação por bases alta ($V \geq 50\%$) e teores de Fe_2O_3 (pelo H_2SO_4) de 150g/kg a <360 g/kg na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).