

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

JOAQUIM JOSÉ HONORIO DE LIMA

USO DE REGRESSÃO MÚLTIPLA NO ESTUDO DA DINÂMICA DE CARBONO,
NITROGÊNIO E FÓSFORO EM UM SISTEMA SOLO-PLANTA IRRIGADO COM ÁGUA
RESIDUÁRIA

PONTA GROSSA

2012

JOAQUIM JOSÉ HONORIO DE LIMA

USO DE REGRESSÃO MÚLTIPLA NO ESTUDO DA DINÂMICA DE CARBONO,
NITROGÊNIO E FÓSFORO EM UM SISTEMA SOLO-PLANTA IRRIGADO COM ÁGUA
RESIDUÁRIA

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Computação Aplicada na Universidade Estadual de
Ponta Grossa - Área de Concentração: Computação para
Tecnologias em Agricultura.

Orientação: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca
Coorientação: Prof. Dr. José Carlos Ferreira da Rocha

PONTA GROSSA

2012

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor Tratamento da Informação Bicen/UEPG

L732u Lima, Joaquim José Honório de
 Uso de regressão múltipla no estudo da dinâmica de carbono, nitrogênio e
 fósforo em um sistema solo-planta irrigado com água residuária / Joaquim
 José Honório de Lima. Ponta Grossa, 2012.
 32 f.

 Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada - área de concentração
 Computação Aplicada a Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa.
 Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira Da Fonseca.
 Coorientador: Prof. Dr. José Carlos Ferreira da Rocha.

 1. Modelo de regressão. 2. Estatística multivariada. 3. Água residuária. 4.
 Reciclagem. I. Da Fonseca, Adriel Ferreira . II. Rocha, José Carlos Ferreira
 da . III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Computação
 Aplicada. IV. T.

CDD: 519.536

TERMO DE APROVAÇÃO

JOAQUIM JOSÉ HONORIO DE LIMA

"USO DE REGRESSÃO MÚLTIPLA NO ESTUDO DA DINÂMICA DE CARBONO, NITROGÊNIO E FÓSFORO EM UM SISTEMA SOLO-PLANTA IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA"

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:


Adriel Ferreira da Fonseca
UEPG


Rafael Marques Pereira Leal
USP/CENA


Maria Salete Marcon Gomes Vaz
UEPG

Ponta Grossa, 24 de setembro de 2012.

Aos meus pais que, apesar das dificuldades,
sempre me incentivaram a seguir nos estudos

DEDICO

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, por possibilitar a realização do curso de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), pelo fornecimento dos dados meteorológicos desta pesquisa.

Ao orientador e amigo Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca, pela orientação e incentivo.

Ao Prof. Dr. José Carlos Ferreira da Rocha e ao Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias, pelo apoio, sugestões e esclarecimentos de dúvidas no decorrer do curso.

Aos amigos da Pós-Graduação: Juscelino, Alisson, Deividson e Rodrigo.

Ao amigo Rodrigo Viecheneski e sua esposa Juliana.

Aos amigos do Laboratório de Nutrição de Plantas: Fabrício, Jéssica, Flávia, Luana, Augusto, Eduardo, Silvano e, em especial a Shively e a Verônica, que nesse período foram às pessoas mais próximas que tive em uma “família”.

Aos professores da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), pelo apoio e orientação nas minhas escolhas acadêmicas e pessoais: Renato, Pio, Nilson Campos, Nilson Modro, Aguinaldo, Dalmolin e Simonetto.

RESUMO

A preocupação com a diminuição na oferta de água potável tem implicado na busca por fontes alternativas, particularmente, para atividades agrícolas. A utilização de efluente de tratamento secundário de esgoto (ETSE) na irrigação das culturas tem sido prática comum em diversas situações de clima e solo. Todavia, as mudanças ocorridas no sistema solo-planta mediante o uso de ETSE não são bem compreendidas em situação de ambiente tropical, particularmente, sob pastagens cultivadas. Objetivou-se neste trabalho, modelar cenários, incluindo sistemas solo-pastagem submetido à irrigação e doses de nitrogênio via fertilizante mineral, mediante uso de regressão linear múltipla (RLM), visando auxiliar no entendimento da dinâmica dos atributos carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e fósforo disponível (P_{disp}) no solo. Na construção dos modelos de RLM foram utilizados os métodos de seleção de variáveis *stepwise*, *forward* e *backward* e comparados com o método padrão, através dos índices de coeficiente de determinação ajustado e do fator de inflação de variância. Os modelos gerados com seleção de variáveis foram os mais indicados. O CT teve a maior parte de sua concentração explicada pelas variáveis bloco, tempo, temperatura e precipitação. As concentrações de NT e P_{disp} não foram explicadas por um mesmo conjunto de variáveis nos diferentes cenários. O aporte de carbono orgânico oriundo do capim-Tifton 85 e do NT oriundo do ETSE parecem não ser suficientes para resultar em reposição das perdas de CT e NT do solo, respectivamente. O capim atuou como um dreno de P_{disp} e, o aporte de P oriundo do ETSE pouco influenciou a concentração deste nutriente no solo.

Palavras-chave: modelo de regressão, estatística multivariada, água residuária, reciclagem.

ABSTRACT

The search for alternative water sources for agriculture activities have been an actual concern due to decreasing of available potable water. The agricultural use of secondary treated sewage effluent (STSE) for crops irrigation has been an attractive practice in several soil and climate conditions. However, the changes in soil-plant system after STSE application is not well comprehended in tropical environment, specially under pasture crops. The aim of this work, to model scenarios, including soil-pasture systems subjected to irrigation and rates of nitrogen by mineral fertilization (NMF), aiming mathematics models to understand of the dynamic attributes of the total carbon (TC), total nitrogen (TN) and available phosphorus (P_{avai}) soil. The linear regression models (LRM) were used to approach. The variable selection methods of stepwise, forward and backward were used to LRM development and compared to standard method, through the adjusted coefficient of determination and variance influence factor. The models developed using variable selection methods were the most indicated. The CT has most of its concentration explained by the variables block, time, temperature and precipitation. The concentration of NT and P were not explained by the same group of variables in the different scenarios. The organic carbon from Tifton 85 grass and TN from STSE inputs appeared not to be enough to mitigate the TC and TN losses of soil, respectively. The grass was, in adequate conditions for growth and above ground dry mass accumulation, an important P_{avai} sink and, moreover, the input of P from STSE few changed the concentration of soil P_{avai} .

Keywords: model regression, multivariate statistic, wastewater, recycling.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis de solo {carbono total (CT), nitrogênio total (NT), fósforo disponível (P_{disp}), potencial de hidrogênio iônico (pH) em água [$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$] e pH em cloreto de cálcio [$\text{pH}(\text{CaCl}_2)$] e solução no solo [nitrogênio na forma de amônio (N-NH_4^+), nitrito (N-NO_2^-) e nitrato (N-NO_3^-), nitrogênio mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$) e pH] medidas em diferentes camadas e tempos após o início do experimento, utilizadas no modelo de regressão múltipla.	10
Tabela 2 – Variáveis de planta [nitrogênio (N) e fósforo (P) acumulados], efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) [carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e fósforo (P)], meteorológicas [temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar e precipitação] e complementares (cenário, bloco, tempo de experimentação em campo, irrigação com água convencional e irrigação com ETSE) medidas em diferentes tempos após o início do experimento, utilizadas no modelo de regressão múltipla.....	11
Tabela 3 – Valores de coeficiente de determinação ajustado ($R^2\text{-adj}$), dos modelos de regressão linear múltipla, gerados pelos métodos de seleção de variáveis <i>stepwise</i> (a), <i>forward</i> (b) e <i>backward</i> (c), para os atributos carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e fósforo disponível (P_{disp}), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).14	
Tabela 4 – Coeficiente de determinação ajustado ($R^2\text{-adj}$) e fator de inflação de variância (FIV) dos modelos de regressão linear múltipla pelo método padrão e FIV dos modelos pelo método com seleção de variáveis para os atributos carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e fósforo disponível (P_{disp}), em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).....	15
Tabela 5 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para carbono total em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).	17
Tabela 6 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para nitrogênio total em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).	20
Tabela 8 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para fósforo disponível em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	MATERIAL E MÉTODOS	10
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1	ESCOLHA DO MÉTODO PARA MODELAGEM	13
3.2	MODELAGEM DO CARBONO TOTAL DO SOLO	16
3.3	MODELAGEM DO NITROGÊNIO TOTAL DO SOLO	18
3.4	MODELAGEM DO FÓSFORO DISPONÍVEL DO SOLO	23
4	CONCLUSÕES.....	28
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1 INTRODUÇÃO

A constante diminuição da oferta de água potável tem sido um dos problemas emergentes da humanidade (RAZZOLINI e GUNTHER, 2008), decorrente do aumento da demanda (MORAES e JORDAO, 2002), desperdício e uso inadequado deste recurso natural (PAZ et al., 2000), associados à degradação do ambiente (FERREIRA e CUNHA, 2005). Isso implica na necessidade de busca por fontes alternativas de água para as atividades agrícolas [setor que demanda 70% da água de superfície disponível (ONU, 2009)], com destaque à utilização de efluente de tratamento de esgoto (ETE) em sistemas agrícolas nos trópicos (DA FONSECA et al., 2007b; LEAL et al., 2011).

O uso de ETE na irrigação de culturas tem sido alvo de diversos estudos na última década, particularmente, no Brasil (DA FONSECA et al., 2007b; LEAL et al., 2011; RIBEIRO et al., 2012). O ETE se consiste em fonte alternativa de água para irrigação e nutrientes às plantas (DA FONSECA et al., 2007a; SINGH et al., 2012), resulta em diminuição dos riscos de poluição pela liberação direta no ambiente (RIBAS e NETO, 2008), e possibilita que recursos hídricos de melhor qualidade sejam utilizados para fins mais nobres, como exemplo, abastecimento humano (WEBER et al., 2010).

O emprego do ETE na irrigação de culturas consiste-se em uma prática interessante do ponto de vista agrônomo-ambiental, particularmente em pastagem de capim-Tifton 85 (*Cynodon dactylon Pers. X C. niemfuensis Vandyerst*) (DA FONSECA et al., 2007a). Porém, ainda não são bem compreendidos os efeitos da aplicação de ETE nos atributos do solo. Tem sido observado, em solo tropical, que a aplicação de efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) resulta em acúmulo de N na solução do solo, mais não apresenta alterações significativas de carbono total (CT) e nitrogênio total (NT) no solo com relação à irrigação convencional (DA FONSECA et al., 2011). Ainda, aumentos nas concentrações de fósforo disponível (P_{disp}) têm sido observados nos solos submetidos à irrigação com ETSE (DA FONSECA et al., 2007b). No entanto, esses incrementos nas concentrações de CT, NT e P_{disp} devido à irrigação com ETSE não são bem compreendidos, pois tem havido variações sazonais, evidenciando a necessidade de estudos que expliquem melhor a dinâmica destes elementos.

Essas variações sazonais na dinâmica de elementos no solo têm sido estudadas mediante o uso de regressão múltipla (RM) (FANG et al., 1998; KNOPS e TILMAN, 2000). Pesquisas empregando RM têm sido aplicadas em estudos relacionados à (i) estimativa da densidade de C orgânico e inorgânico em regiões áridas e semi-áridas (na Índia) no espaço de

tempo de 1975-2002 (SINGH et al., 2007); (ii) efeitos da vegetação na dinâmica do C e N em uma cronossequência (nos Estados Unidos da América) ao longo de 12 anos (KNOPS e TILMAN, 2000); (iii) escoamento superficial em diferentes classes de solo (no Brasil) submetidas à intensidades de precipitação (CARLESSO et al., 2011). Apesar de relevante, o uso de regressão múltipla não tem sido estudado em solo tropical sob pastagem submetida à irrigação com ETSE.

A análise de regressão linear múltipla (RLM), assim como de todos os tipos de regressão busca encontrar uma equação (chamada de equação de regressão ou modelo de regressão) de previsão de valores de uma ou mais variáveis de resposta (dependentes) através de um conjunto de variáveis explicativas (independentes) (HAIR et al., 2009).

A equação de RLM é expressa por:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

onde Y é a variável dependente, X_1 , X_2 , ..., e X_k são as k variáveis conhecidas, sobre as quais se basearão as previsões, e b_0 , b_1 , b_2 , ..., e b_k são constantes numéricas a serem determinadas com bases nos dados observados (FREUND, 2006).

Entre os métodos para desenvolvimento de modelos de regressão destacam-se o método padrão (LACERDA e ABBAD, 2003) e os métodos com seleção de variáveis: (i) *forward* – onde o modelo começa sem qualquer variável e então acrescenta variáveis com base na sua contribuição na previsão; (ii) *stepwise* – inicia selecionando o melhor predictor da variável dependente, variáveis independentes são acrescentadas desde que seus coeficientes de correlação parcial sejam estatisticamente significativas, e podem ser eliminadas se seu poder de predição cair como o acréscimo de outra variável ao modelo; (iii) *backward* – começa o modelo com todas as variáveis independentes e então elimina as que não oferecem uma contribuição estatística para a previsão (HAIR et al., 2009).

No presente estudo, buscou-se modelar cenários incluindo sistemas solo-pastagem submetidos à irrigação (com água convencional ou ETSE) e doses (0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹) de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM), mediante ao uso de regressão linear múltipla (RLM). Objetivou-se neste trabalho: (i) criar modelos de regressão para auxiliar no entendimento da dinâmica dos elementos CT, NT e P_{disp}, através do uso de RLM, considerando variáveis de solo, solução no solo, planta, ETSE, meteorológicas e variáveis complementares; e (ii) comparar os modelos gerados com método padrão e os modelos gerados com seleção de variáveis, visando evitar super ajuste dos modelos (*overffinting*).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com base nos dados de Da Fonseca (2005) e Da Fonseca et al. (2007a; 2011), em experimento em blocos completos casualizados, com quatro repetições, envolvendo estudo de fontes de água para irrigação e doses de NFM, realizado no município de Lins, Estado de São Paulo (longitude: 49°50'W; latitude: 22°21'S; altitude média: 440 m; declividade média de 0,1 m m⁻¹). O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho distrófico Latossólico, de textura média-argilosa, cultivado com capim-Tifton 85.

Foram considerados cinco cenários de pastagem irrigada com água convencional ou ETSE, submetidos a doses de NFM: *C1* – irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; *C2* – irrigação com ETSE, sem adição de NFM; *C3* – irrigação com ETSE e adição de 171,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; *C4* – irrigação com ETSE e adição de 343,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; *C5* – irrigação com ETSE e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM. Mais detalhes sobre o manejo da cultura, irrigação, tratos culturais e qualidade da água ou ETSE utilizados são apresentados em Da Fonseca et al. (2007a).

A base de dados estudada possuía 480 instâncias para cada atributo apresentado nas Tabelas 1 e 2. Os modelos foram desenvolvidos para cada camada (0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) do solo, em cada cenário (*C1*–*C5*) estudado.

Tabela 1 – Variáveis de solo {carbono total (CT), nitrogênio total (NT), fósforo disponível (P_{disp}), potencial de hidrogênio iônico (pH) em água [pH(H₂O)] e pH em cloreto de cálcio [pH(CaCl₂)]} e solução no solo [nitrogênio na forma de amônio (N-NH₄⁺), nitrito (N-NO₂⁻) e nitrato (N-NO₃⁻), nitrogênio mineral (N-NH₄⁺ + N-NO₂⁻ + N-NO₃⁻) e pH] medidas em diferentes camadas e tempos após o início do experimento, utilizadas no modelo de regressão múltipla.

Atributo	Unidade	Representação no modelo	Intervalo de valores
<i>Solo</i>			
CT	g kg ⁻¹	CT	0,40 – 15,39
NT	g kg ⁻¹	NT	0,20 – 0,64
P disponível	g kg ⁻¹	P _{disp}	0,08 – 29,45
pH(H ₂ O)	-	pH ₁	4,40 – 6,95
pH(CaCl ₂)	-	pH ₂	3,79 – 5,81
<i>Solução no solo</i>			
N mineral	mg L ⁻¹	N _m	<LD – 24,56
N-NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹	N _{m1}	<LD – 5,05
N-NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	N _{m2}	<LD – 50,76
N-NO ₂ ⁻	mg L ⁻¹	N _{m3}	<LD – 11,68
pH	-	pH ₃	3,89 – 7,98

As camadas estudadas foram de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

Os tempos 1, 2, 3 e 4 correspondem às avaliações realizadas aos 6, 12, 18 e 24 meses, respectivamente.

pH (H₂O): pH do extrato solo:solução (1:2,5) em água.

pH (CaCl₂): pH do extrato solo:solução (1:2,5) em solução de cloreto de cálcio.

P disponível em solução de Mehlich-1.

LD: Limite de detecção.

Tabela 2 – Variáveis de planta [nitrogênio (N) e fósforo (P) acumulados], efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) [carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e fósforo (P)], meteorológicas [temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar e precipitação] e complementares (cenário, bloco, tempo de experimentação em campo, irrigação com água convencional e irrigação com ETSE) medidas em diferentes tempos após o início do experimento, utilizadas no modelo de regressão múltipla.

Atributo	Unidade	Representação no modelo	Intervalo de valores
<i>Planta</i>			
N	kg ha ⁻¹	N _{pl}	87,15 – 478,04
P	kg ha ⁻¹	P _{pl}	13,78 – 61,97
<i>ETSE</i>			
CT	mg L ⁻¹	CT _{ETSE}	<LD – 44,12
NT	mg L ⁻¹	NT _{ETSE}	0,05 – 28,43
P	mg L ⁻¹	P _{ETSE}	0,08 – 29,45
<i>Meteorológico</i>			
Temperatura mínima	°C	T _{min}	16,4 – 18,30
Temperatura máxima	°C	T _{max}	27,43 – 28,71
Precipitação	mm	P _p	422,4 – 788,3
<i>Complementar</i>			
Cenário	-	C	
Bloco	-	B	
Tempo de experimentação em campo	semestre	t	
Dose de nitrogênio via fertilizante mineral	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	dNFM	0,00 – 520,00
Irrigação com água convencional	-	iH ₂ O	
Irrigação com ETSE	-	iETSE	

Para os atributos de planta, os tempos 1, 2, 3 e 4 correspondem aos acúmulos de nutrientes durante o 1º, 2º, 3º e 4º semestre, respectivamente. Para os atributos de ETSE, os tempos 1, 2, 3 e 4 correspondem aos aportes durante o 1º, 2º, 3º e 4º semestre, respectivamente. Para os atributos meteorológicos, os tempos 1, 2, 3 e 4 correspondem às médias durante o 1º, 2º, 3º e 4º semestre, respectivamente. LD: Limite de detecção.

Os atributos complementares foram considerados como classificatórios. Nesse caso, iH₂O e iETSE foram instanciados por valores 0 (ausência) ou 1 (presença), conforme cada cenário.

Na modelagem de CT foram utilizadas como variáveis independentes: cenário (C), bloco (B), tempo de experimentação em campo (t), temperatura mínima do ar (T_{min}), temperatura máxima do ar (T_{max}), precipitação (P_p), doses aplicadas de NFM (dNFM), irrigação com água convencional (iH₂O), irrigação com ETSE (iETSE), potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solução:solo em água (pH₁), pH do extrato do solo:solução em solução de cloreto de cálcio (pH₂), pH da solução no solo (pH₃), CT presente no ETSE (CT_{ETSE}). Para NT, sua modelagem foi realizada mediante uso das variáveis: C, B, t, T_{min}, T_{max}, P_p, dNFM, iH₂O, iETSE, pH₁, pH₂, pH₃, N extraído pela planta (N_{pl}), N mineral (amônio + nitrato + nitrito) presente na solução (N_m), N na forma de amônio presente na solução (N_{m1}), N na forma de nitrato presente na solução (N_{m2}), N na forma de nitrito presente na solução (N_{m3}), NT presente no ETSE (NT_{ETSE}). As variáveis C, B, t, T_{min}, T_{max}, P_p, dNFM, iH₂O, iETSE, pH₁, pH₂, pH₃, P extraído pela planta (P_{pl}), P presente no ETSE (P_{ETSE}) foram utilizadas para modelar P_{disp}.

Os dados foram submetidos à análise de RLM pelo método de regressão padrão e pelos métodos de seleção de variáveis *stepwise*, *forward* e *backward* para o desenvolvimento dos modelos. Todavia, para evitar impactos na estimativa dos modelos tornou-se necessário

selecionar os modelos gerados com os métodos de seleção de variáveis e compará-los aos modelos desenvolvidos com o método de regressão padrão.

A qualidade dos modelos foi verificada pelos índices de coeficiente de determinação (R^2) e o pelo grau de liberdade de resíduos (GLR) (ABBAD e TORRES, 2002). Esses fatores foram analisados através do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) – parâmetro indicado na escolha de modelos (MYNBAEV e LEMOS, 2004). Mediante análise dos valores de R^2_{adj} foi feita a escolha dos modelos desenvolvidos com os métodos de seleção de variáveis. A comparação entre os modelos gerados com o método padrão e os com seleção de variáveis foi realizada pela análise dos parâmetros R^2_{adj} e da multicolinearidade entre as variáveis (HAIR et al., 2009).

A multicolinearidade foi medida pelo fator de inflação de variância (FIV) (LAM, 2010) e calculada a média para cada modelo, conforme Sallum et al. (2012). Quanto maior o valor FIV, maior tem sido a multicolinearidade entre as variáveis (HAIR et al., 2009). Valores de FIV menores que 10 e 4 foram considerados como aceitável e ideal, respectivamente (O'BRIEN, 2007).

Ao longo desse trabalho os valores de R^2 foram considerados como ótimo ($> 0,85$), muito bom ($0,76-0,85$), bom ($0,66-0,75$), mediano ($0,61-0,65$), sofrível ($0,51-0,60$), ruim ($0,41-0,50$) e péssimo ($\leq 0,40$) com base em estudo (no Brasil) realizado em pastagem tropical, com uso de RLM (DA CRUZ et al., 2011).

A variância explicada pelos modelos foi analisada pela estatística-F e sua razão comparado sua significância pela tabela de Distribuição F de Fisher (HAIR et al., 2009), considerando $P < 0,05$ e $P < 0,01$. Todas as análises estatísticas foram realizadas através do programa SAS[®] versão 9.1.3 (SAS Institute, 2006).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ESCOLHA DO MÉTODO PARA MODELAGEM

Após análise nos valores de R^2_{adj} para os modelos de CT no solo (Tabela 3), o método de seleção de variáveis *stepwise* foi indicado no *C1*, para as camadas de 10-20, 40-60 e 80-100 cm; no *C2*, para as camadas de 10-20 e 40-60 cm; no *C3*, para as camadas de 0-10 e 60-80 cm; no *C4*, para a camada de 20-40 cm; e, no *C5*, para as camadas de 0-10 e 80-100 cm. O método *forward* foi indicado no *C1*, para as camadas de 0-10, 20-40, 40-60 e 80-100 cm; no *C2*, para as camadas de 20-40, 60-80 e 80-100 cm; no *C3*, para as camadas de 0-10, 20-40 e 80-100 cm; no *C4*, para todas as camadas, com exceção de 20-40 cm; e no *C5*, para todas as camadas, com exceção de 0-10 e 40-60 cm. O método *backward* foi indicado no *C1*, para as camadas de 40-60, 60-80 e 80-100 cm; no *C2*, para as camadas de 0-10, 10-20 e 40-60 cm; no *C3*, para todas as camadas, exceto de 60-80 e 80-100 cm; no *C4*, para a camada de 20-40 cm; e no *C5*, para as camadas de 40-60 e 80-100 cm. Foram gerados modelos iguais no *C1*, para as camadas de 40-60 e 80-100 cm pelos métodos *stepwise*, *forward* e *backward*; no *C2*, para a camada de 40-60 cm com o uso dos métodos *stepwise* e *backward*; no *C3*, para a camada de 0-10 cm com o uso dos métodos *stepwise*, *forward* e *backward* e para a camada de 20-40 cm com o uso dos métodos *forward* e *backward*; no *C4*, para a camada de 20-40 cm com utilização dos métodos *stepwise* e *backward*; e no *C5*, para a camada de 80-100 cm com a utilização dos métodos de seleção de variáveis *stepwise*, *forward* e *backward*.

Para os modelos para NT no solo, mediante análise dos valores de R^2_{adj} (Tabela 3) o método de seleção de variáveis *stepwise* foi indicado apenas no *C5*, para a camada de 20-40 cm. O método *forward* foi indicado no *C1*, para todas as camadas, exceto de 20-40 e 40-60 cm; no *C2*, para as camadas de 10-20 e 60-80 cm; no *C3* e *C4* para as camadas de 10-20 e 40-60 cm; e no *C5*, para as camadas de 10-20, 40-60 e 80-100 cm. O método *backward* foi indicado no *C1*, para as camadas de 20-40 e 40-60 cm; no *C2*, para todas as camadas, exceto de 10-20 e 60-80 cm; no *C3* e *C4*, para todas as camadas, exceto de 10-20 e 40-60 cm; no *C5*, para as camadas de 0-10, 20-40 e 60-80 cm. Foram gerados modelos iguais pelo método *stepwise* e método *backward* no *C5*, para a camada de 20-40 cm.

Depois de analisado os valores de R^2_{adj} dos modelos para P_{disp} no solo (Tabela 3), o método de seleção de variáveis *stepwise* foi indicado no *C1*, para a camada de 40-60 cm; no *C2*-*C4* para a cada de 10-20 cm; no *C5*, para as camadas de 20-40 e 40-60 cm. O método *forward* foi indicado no *C1*, para todas as camadas, exceto de 10-20 e 80-100 cm; no *C2*, para as

camadas de 0-10 e 20-40 cm; no C3, para as camadas de 60-80 e 80-100 cm; no C4, para as camadas de 20-40 e 60-80 cm; e no C5, para todas as camadas, exceto de 60-80 e 80-100 cm. O método *backward* foi indicado no C1, para as camadas de 10-20, 40-60 e 80-100 cm; no C2, para as camadas de 40-60, 60-80 e 80-100 cm; no C3, para as camadas de 0-10, 10-20 e 40-60 cm; no C4, para todas as camadas, exceto de 20-40 e 60-80 cm; e, no C5, para as camadas de 20-40, 60-80 e 80-100 cm. Foram gerados modelos iguais no C1, para a camada de 40-60 pelos métodos *stepwise*, *forward* e *backward*; no C3, para a camada de 10-20 cm pelos métodos *stepwise* e *backward*; e, no C5, para a camada de 20-40 cm pelos métodos *stepwise*, *forward* e *backward* e para a camada de 40-60 cm pelo método *stepwise* e método *forward*.

Tabela 3 – Valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) dos modelos de regressão linear múltipla, gerados pelos métodos de seleção de variáveis *stepwise* (a), *forward* (b) e *backward* (c), para os atributos carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e fósforo disponível (P_{disp}) em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	CT			NT			P_{disp}		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
	cm									
C1	0-10	0,9488	0,9495 ^e	0,9409	0,1536	0,3747 ^e	0,2047	0,2511	0,5326 ^e	0,2957
	10-20	0,9652 ^e	0,9648	0,9598	0,6268	0,6461 ^e	0,5735	0,2835	0,3548	0,4197 ^e
	20-40	0,9477	0,9514 ^e	0,9439	0,3280	0,4469	0,4949 ^e	0,1745	0,1748 ^e	0,1745
	40-60	0,9665 ^e	0,9665 ^e	0,9665 ^e	0,4084	0,4594	0,5114 ^e	0,4181 ^e	0,4181 ^e	0,4181 ^e
	60-80	0,9409	0,9400	0,9462 ^e	0,2556	0,4391 ^e	0,1507	0,6558	0,6608 ^e	0,6558
	80-100	0,9761 ^e	0,9761 ^e	0,9761 ^e	0,6292	0,8192 ^e	0,5861	0,3935	0,7245	0,7421 ^e
C2	0-10	0,9814	0,9861	0,9870 ^e	0,1035	0,6132	0,6393 ^e	0,0922	0,2447 ^e	0,1727
	10-20	0,9736 ^e	0,9721	0,9736 ^e	0,2213	0,2874 ^e	-	0,6717 ^e	0,6486	0,6243
	20-40	0,9741	0,9750 ^e	0,9741	0,6685	0,7184	0,7372 ^e	0,6593	0,6773 ^e	0,6336
	40-60	0,9686 ^e	0,9650	0,9686 ^e	0,3314	0,6550	0,7519 ^e	0,3675	0,5335	0,5575 ^e
	60-80	0,9541	0,9544 ^e	0,9541	0,3266	0,5453 ^e	0,4587	0,8299	0,8314	0,8419 ^e
	80-100	0,9382	0,9406 ^e	0,9346	0,3094	0,3784	0,5940 ^e	0,6822	0,7450	0,7703 ^e
C3	0-10	0,9871 ^e	0,9871 ^e	0,9871 ^e	-	0,0651	0,1693 ^e	0,5092	0,5186	0,5857 ^e
	10-20	0,9690	0,9728	0,9749 ^e	0,6092	0,6652 ^e	0,6092	0,5823 ^e	0,5708	0,5772
	20-40	0,9745	0,9751 ^e	0,9751 ^e	0,5653	0,6890	0,6892 ^e	0,2877	0,4206	0,4385 ^e
	40-60	0,9465	0,9770	0,9801 ^e	0,8455	0,9317 ^e	0,9248	0,7169	0,7441	0,7632 ^e
	60-80	0,9582 ^e	0,9575	0,9536	0,9710	0,9760	0,9766 ^e	0,8230	0,8578 ^e	0,8006
	80-100	0,9740	0,9791 ^e	0,9740	0,8346	0,9352	0,9405 ^e	0,3753	0,7576 ^e	0,7417
C4	0-10	0,9710	0,9727 ^e	0,9710	0,4804	0,6758	0,8073 ^e	0,2940	0,3545	0,5884 ^e
	10-20	0,9705	0,9724 ^e	0,9712	0,3271	0,4140 ^e	0,3271	0,6859 ^e	0,6848	0,6859 ^e
	20-40	0,9766 ^e	0,9760	0,9766 ^e	0,4698	0,5220	0,6760 ^e	0,8626	0,8639 ^e	0,8626
	40-60	0,9736	0,9806 ^e	0,9736	0,3301	0,4198 ^e	0,2533	0,2775	0,4596	0,4958 ^e
	60-80	0,9735	0,9746 ^e	0,9735	0,4683	0,6460	0,6790 ^e	0,4440	0,5366 ^e	0,5190
	80-100	0,9650	0,9663 ^e	0,9632	0,7133	0,7495	0,8313 ^e	0,8241	0,8347	0,8774 ^e
C5	0-10	0,9127 ^e	0,9105	0,9070	0,2219	0,3197	0,4836 ^e	0,6831	0,6964 ^e	0,6394
	10-20	0,9904	0,9908 ^e	0,9904	0,5297	0,7683 ^e	0,6980	0,9193	0,9225 ^e	0,9193
	20-40	0,9124	0,9160 ^e	0,9124	0,6327 ^e	0,6196	0,6327 ^e	0,6441 ^e	0,6441 ^e	0,6441 ^e
	40-60	0,9928	0,9928	0,9935 ^e	0,3810	0,5711 ^e	0,4312	0,4388 ^e	0,4388 ^e	0,1595
	60-80	0,9880	0,9883 ^e	0,9880	0,1358	0,5316	0,5820 ^e	0,8700	0,8786	0,8835 ^e
	80-100	0,9439 ^e	0,9439 ^e	0,9439 ^e	0,6803	0,7663 ^e	0,7653	0,7632	0,7641	0,8021 ^e

C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

€: modelo selecionado com base no maior valor de R^2_{adj} . Valor igual de R^2_{adj} na mesma camada e cenário indica que, o modelo escolhido foi gerado igualmente pelo uso de diferentes métodos de seleção de variáveis.

Os valores de R^2_{adj} para os modelos gerados com o método de seleção de variáveis foram superiores aos dos modelos desenvolvidos pelo método padrão (Tabela 4). Isso possibilitou gerar modelos confiáveis de RLM para os atributos CT, NT e P_{disp} no solo a partir de um menor número de variáveis.

Tabela 4 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e fator de inflação de variância (FIV) dos modelos de regressão linear múltipla pelo método padrão (MP) e pelo método com seleção de variáveis (MS) para os atributos carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e fósforo disponível (P_{disp}) em diferentes camadas do solo, em um sistema solo-pastagem submetido à irrigação com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

tratamento secundário de esgoto (ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (FV M).													
Cenário	Camada	CT				NT				P _{disp}			
		MP		MS		MP		MS		MP		MS	
		R ² adj	FIV	R ² adj	FIV	R ² adj	FIV	R ² adj	FIV	R ² adj	FIV	R ² adj	FIV
	cm												
C1	0-10	0,94	7,25	0,95	4,47	-0,14	21,66	0,37	6,44	0,44	7,22	0,53	2,69
	10-20	0,96	5,53	0,97	3,20	0,24	43,80	0,65	8,35	0,13	5,94	0,42	2,58
	20-40	0,95	12,74	0,95	1,11	0,42	47,09	0,49	1,24	-0,39	13,14	0,17	1,88
	40-60	0,96	10,74	0,97	1,20	-0,26	14,87	0,51	1,00	0,09	11,39	0,42	1,04
	60-80	0,93	7,07	0,95	1,89	-0,46	27,17	0,44	5,62	0,53	6,99	0,66	72,15
	80-100	0,97	8,55	0,98	1,27	0,74	19,12	0,82	13,83	0,69	8,78	0,74	2,36
C2	0-10	0,99	6,30	0,99	5,31	0,23	46,40	0,64	5,69	0,15	8,13	0,24	39,79
	10-20	0,97	11,76	0,97	1,27	-0,33	47,83	0,25	3,61	0,58	13,97	0,67	3,35
	20-40	0,97	12,28	0,98	1,36	0,20	435,11	0,74	15,40	0,59	40,52	0,68	6,64
	40-60	0,96	4,66	0,97	1,12	0,57	128,36	0,75	56,59	0,36	8,59	0,56	2,23
	60-80	0,94	5,17	0,95	3,08	-0,06	25,64	0,55	3,33	0,77	7,38	0,84	28,89
	80-100	0,93	4,45	0,94	2,85	-0,24	38,26	0,59	5,80	0,69	7,15	0,77	2,99
C3	0-10	0,98	26,33	0,99	4,36	-0,98	93,44	0,17	15,90	0,51	27,94	0,59	6,19
	10-20	0,97	14,35	0,97	1,20	0,30	63,57	0,67	15,55	0,41	17,20	0,57	5,40
	20-40	0,97	8,42	0,98	7,38	0,19	53,76	0,69	1,24	0,30	13,75	0,42	11,74
	40-60	0,97	7,64	0,98	1,28	0,87	41,39	0,93	11,05	0,68	13,02	0,76	6,25
	60-80	0,94	4,86	0,96	1,92	0,97	85,80	0,98	20,29	0,84	11,37	0,82	12,79
	80-100	0,98	3,17	0,98	2,09	0,87	115,08	0,94	40,77	0,72	9,06	0,74	3,91
C4	0-10	0,97	20,37	0,97	13,47	0,61	10779,05	0,81	332,80	0,45	25,56	0,59	6,10
	10-20	0,97	16,76	0,97	16,18	0,39	147,04	0,41	1,00	0,56	25,96	0,69	1,03
	20-40	0,97	21,33	0,98	47,25	0,45	110,32	0,68	35,00	0,82	26,00	0,86	7,93
	40-60	0,98	6,87	0,98	4,81	-0,41	140,84	0,42	8,69	0,31	16,99	0,46	5,39
	60-80	0,97	4,49	0,97	1,87	0,32	23,68	0,68	13,61	0,41	14,42	0,54	4,58
	80-100	0,96	8,10	0,97	2,51	0,66	120,11	0,83	8,57	0,86	17,25	0,88	3,12
C5	0-10	0,89	7,43	0,91	2,12	0,26	57,47	0,48	17,17	0,55	8,48	0,70	2,08
	10-20	0,99	7,57	0,99	7,63	0,61	65,81	0,77	17,84	0,90	8,42	0,92	2,78
	20-40	0,90	14,09	0,92	1,84	0,30	28,97	0,63	1,07	0,39	22,00	0,64	1,00
	40-60	0,99	15,50	0,99	5,05	0,30	22,74	0,57	9,30	0,39	18,81	0,44	1,08
	60-80	0,99	4,97	0,99	4,68	0,26	38,64	0,58	2,40	0,86	6,82	0,88	2,02
	80-100	0,93	3,01	0,94	1,20	0,50	10,75	0,77	2,13	0,71	4,81	0,80	2,21

C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

Os índices FIV, para os 30 modelos de CT no solo, foram ideais e aceitáveis para 6,67% e 56,67%, respectivamente, quando utilizado o método padrão (Tabela 4). Com a utilização do método de seleção de variáveis, os valores FIV diminuíram para os modelos de CT

no solo (Tabela 4). Essa diminuição resultou em valores FIV ideais e aceitáveis para 63,34 e 26,67% dos 30 modelos, respectivamente.

Os índices FIV, para os modelos de NT no solo, não foram classificados como ideais ou aceitáveis quando utilizado o método padrão (Tabela 4). Porém, com a utilização do método de seleção de variáveis, os valores FIV diminuíram para os modelos de NT no solo (Tabela 4), sendo considerados ideais e aceitáveis para 30,00 e 26,67% dos 30 modelos, respectivamente.

Para os modelos de P_{disp} no solo, os índices FIV foram ideais e aceitáveis para 0,00 e 43,34% dos 30 modelos, respectivamente, quando utilizado o método padrão (Tabela 4). Com a utilização do método de seleção de variáveis, os valores FIV diminuíram para os modelos de P_{disp} no solo (Tabela 4), sendo considerados como ideais e aceitáveis para 26,67 e 56,67% dos 30 modelos, respectivamente.

Portanto, o método com seleção de variáveis foi o mais adequado para modelar a dinâmica de CT, NT e P_{disp} no sistema solo-planta empregando RLM, pois: (i) apresentou menor multicolinearidade entre as variáveis independentes (devido aos menores valores FIV); (ii) teve maior índice de R^2_{adj} mesmo com menor número de variáveis empregadas.

3.2 MODELAGEM DO CARBONO TOTAL NO SOLO

Os modelos de RLM para CT no solo implicaram em $P < 0,01$ e $R^2 \geq 0,91$, para todos os cenários e camadas estudadas (Tabela 5). No *C1*, as variáveis B, t, T_{min} , T_{max} , pH₂ e pH₃ explicaram as concentrações de CT na camada de 0-10 cm; as variáveis B, t, T_{min} e P_p na camada de 10-20 cm; as variáveis B, t, T_{max} , P_p e pH₂ na camada de 20-40 cm; as variáveis B, t, T_{min} e T_{max} na camada de 40-60 cm; as variáveis B, t, T_{max} e pH₃ na camada de 60-80 cm; e as variáveis t, T_{min} e T_{max} na camada de 80-100 cm (Tabela 5). No *C2*, na camada de 0-10 cm, as concentrações de CT foram explicadas pelas variáveis B, t, T_{min} , T_{max} , pH₁ e pH₃; na camada de 10-20 cm pelas variáveis t, T_{min} e T_{max} ; na camada de 20-40 pelas variáveis t, T_{max} , P_p e pH₂; na camada de 40-60 cm pelas variáveis t, T_{max} e P_p ; na camada de 60-80 cm pelas variáveis t, T_{max} , P_p e pH₁; na camada de 80-100 cm pelas variáveis B, t, T_{max} , P_p e pH₃ (Tabela 5). No *C3*, as variáveis B, t, T_{max} , P_p e pH₁ explicaram as concentrações de CT na camada de 0-10 cm; as variáveis B, t, T_{min} e T_{max} na camada de 10-20 cm; as variáveis T_{max} , P_p , pH₃ e CT_{ETSE} na camada de 20-40 cm; as variáveis t, T_{min} e T_{max} na camada de 40-60 cm; as variáveis t, T_{max} e pH₃ na camada de 60-80 cm; as variáveis B, t, T_{max} , P_p , pH₂ e pH₃ na camada de 80-100 cm (Tabela 5). No *C4*, na camada de 0-10 cm, as concentrações de CT foram explicadas pelas

Tabela 5 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para carbono total em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	Modelo	valor F	R ²	Método
C1	cm				
	0-10	$-15,44967 + (0,31848*B) - (3,11792*t) - (0,34101*T_{min}) + (1,34514*T_{max}) - (1,43542*pH_2) + (0,91107*pH_3)$	48,01**	0,97	b
	10-20	$-1,61191 + (0,23450*B) - (1,88335*t) + (1,40930*T_{min}) - (0,01456*P_p)$	105,22**	0,97	a
	20-40	$-12,60545 + (0,32036*B) - (2,17902*t) + (1,08524*T_{max}) - (0,00408*P_p) - (0,77970*pH_2)$	59,65**	0,97	b
	40-60	$-14,38990 + (0,21325*B) - (1,92557*t) - (0,48774*T_{min}) + (1,16477*T_{max})$	109,64**	0,98	a, b, c
	60-80	$-4,69048 + (0,26471*B) - (1,15475*t) + (0,56748*T_{max}) - (0,74773*pH_3)$	67,03**	0,96	c
	80-100	$-10,04574 - (1,24939*t) - (0,41650*T_{min}) + (0,85124*T_{max})$	204,90**	0,98	a, b, c
C2	0-10	$-12,10276 + (0,23050*B) - (2,42252*t) - (1,12247*T_{min}) + (1,67314*T_{max}) - (1,82917*pH_1) + (1,35703*pH_3)$	190,21**	0,99	c
	10-20	$-21,528 - (2,68125*t) - (1,12562*T_{min}) + (1,95050*T_{max})$	185,41**	0,98	c
	20-40	$-13,48718 - (2,12819*t) + (1,09358*T_{max}) - (0,00476*P_p) - (0,53187*pH_2)$	147,40**	0,98	b
	40-60	$-12,19819 - (1,90552*t) + (0,89795*T_{max}) - (0,00335*P_p)$	155,46**	0,97	a, c
	60-80	$-4,10849 - (1,37536*t) + (0,65040*T_{max}) - (0,00303*P_p) - (0,73198*pH_1)$	79,63**	0,97	b
	80-100	$-9,37801 + (0,12315*B) - (1,10714*t) + (0,69565*T_{max}) - (0,00113*P_p) - (0,57477*pH_3)$	48,54**	0,96	b
C3	0-10	$-4,63309 + (0,35351*B) - (2,22823*t) + (1,03700*T_{max}) - (0,00625*P_p) - (1,03017*pH_1)$	230,43**	0,99	a, b, c
	10-20	$-24,88869 + (0,35250*B) - (2,82985*t) - (1,05090*T_{min}) + (2,01300*T_{max})$	146,70**	0,98	c
	20-40	$-22,99769 + (1,42078*T_{max}) - (0,00120*P_p) - (1,02499*pH_3) - (0,15969*CT_{ETSE})$	148,55**	0,91	b, c
	40-60	$-19,96827 - (1,95232*t) - (0,41703*T_{min}) + (1,32982*T_{max})$	248,23**	0,97	c
	60-80	$-13,80607 - (1,40946*t) + (0,84148*T_{max}) - (0,35115*pH_3)$	115,62**	0,97	a
	80-100	$-4,64539 + (0,09637*B) - (1,20259*t) + (0,61043*T_{max}) - (0,00105*P_p) - (1,00988*pH_2) - (0,20545*pH_3)$	118,27**	0,99	b
C4	0-10	$19,08209 + (0,13949*B) - (6,99347*t) - (0,01257*P_p) + (1,22944*pH_2) + (0,44986*CT_{ETSE})$	107,95**	0,98	b
	10-20	$-23,90639 + (0,24186*B) - (3,29486*t) + (1,99529*T_{min}) - (0,01199*P_p) + (2,31948*pH_1)$	106,53**	0,98	b
	20-40	$105,98722 + (16,33827*T_{min}) - (11,12832*T_{max}) - (0,09777*P_p) + (2,08239*pH_2)$	158,07**	0,98	a, c
	40-60	$-19,79840 - (0,25835*B) - (1,56213*t) + (0,80151*T_{max}) - (0,00495*P_p) + (3,75477*pH_2) - (0,84062*pH_1)$	128,22**	0,99	b
	60-80	$-10,38955 - (0,09674*B) - (1,74963*t) + (0,68218*T_{max}) - (0,00243*P_p) + (0,39640*pH_3)$	116,26**	0,98	b
	80-100	$-4,55799 - (1,04449*t) + (0,49736*T_{max}) - (0,00091815*P_p) - (0,40872*pH_3)$	108,71**	0,98	b
C5	0-10	$-35,47768 - (3,00847*t) + (1,44007*T_{max}) + (1,75564*pH_1)$	53,34**	0,93	a
	10-20	$-10,20723 - (0,11821*B) - (2,44999*t) + (1,63399*T_{min}) - (0,01269*P_p) + (1,08740*pH_1) - (0,23572*pH_3)$	272,91**	0,99	b
	20-40	$-38,57279 + (0,72496*B) - (2,60138*t) + (1,48999*T_{max}) - (0,00454*P_p) + (2,43905*pH_2)$	33,72**	0,99	b
	40-60	$-19,40301 + (0,27605*B) - (1,42833*t) - (0,65682*T_{min}) + (1,53797*T_{max}) - (0,76222*pH_3)$	459,45**	1,00	c
	60-80	$-14,80023 + (0,08208*B) - (1,62025*t) - (0,58269*T_{min}) + (1,07315*T_{max}) - (0,36717*pH_1) - (0,15501*pH_3)$	212,87**	0,99	b
	80-100	$-8,56985 + (0,17675*B) - (1,28722*t) - (0,48669*T_{min}) + (0,83260*T_{max})$	64,15**	0,96	a, b, c

B: bloco. t: tempo (semestre) de experimentação em campo. T_{min}: temperatura mínima do ar (°C). T_{max}: temperatura máxima do ar (°C). P_p: precipitação (mm). pH₁: potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solo:solução (1:2,5), em água. pH₂: pH do extrato solo:solução (1:2,5), em solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹). pH₃: pH da solução no solo. CT_{ETSE}: carbono total (mg L⁻¹) presente no ETSE. C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

** : P < 0,01. a: método de seleção de variáveis *stepwise*. b: método de seleção de variáveis *forward*. c: método de seleção de variáveis *backward*.

variáveis B, t, P_p, pH₂ e CT_{ETSE}; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B, t, T_{min}, P_p e pH₁; na camada de 20-40 cm pelas variáveis T_{min}, T_{max}, P_p e pH₂; na camada de 40-60 cm pelas variáveis B, t, T_{max}, P_p, pH₂ e pH₁; na camada de 60-80 cm pelas variáveis B, t, T_{max}, P_p e pH₃; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis t, T_{max}, P_p e pH₃ (Tabela 5). No C5, as variáveis t, T_{max} e pH₁ explicaram as concentrações de CT na camada de 0-10 cm; as variáveis B, t, T_{min}, P_p, pH₁ e pH₃ na camada de 10-20 cm; as variáveis B, t, T_{max}, P_p e pH₂ na de camada 20-40 cm; as variáveis B, t, T_{min}, T_{max} e pH₃ na camada de 40-60 cm; as variáveis B, t, T_{min}, T_{max}, pH₁ e pH₂ na camada de 60-80 cm; e as variáveis B, t, T_{min} e T_{max} na camada de 80-100 cm (Tabela 5).

As variáveis T_{max}, t, B e P_p foram consideradas como as mais importantes na explicação das concentrações de CT. Isso porque, dos 30 modelos de explicação das concentrações de CT no solo (Tabela 5), as variáveis T_{max}, t, B e P_p estavam presentes em 93,3; 83,3, 66,3 e 56,7%, respectivamente.

A variável B foi importante no modelo, pois o estudo foi realizado em uma toposequência de Argissolo Vermelho distrófico latossólico. Esse tipo de variação no solo é comum e, em se tratando de área experimental, recomenda-se proceder à casualização dos tratamentos em blocos para diminuição do erro. Tais premissas foram levadas em consideração e são apresentadas em Da Fonseca et al. (2007a).

Foi observada relação positiva entre as concentrações de CT no solo e T_{max} (Tabela 5). Isso pode ser atribuído ao fato de, em condições de temperaturas mais elevadas [porém, dentro da faixa adequada de crescimento às plantas C₄, até aproximadamente 35° C, conforme Souza et al. (2005)], o capim-Tifton 85 ter apresentado maiores taxas de crescimento, resultando em incremento na produção de biomassa e aporte de carbono orgânico no solo. Lopes et al. (2003) observaram que o incremento da temperatura contribuiu para o crescimento da pastagem [de capim-Ellefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) irrigado com água], aumentou a biomassa aérea e radicular, e resultou no incremento das concentrações de CT no solo.

Houve relação negativa entre as concentrações de CT no solo e t (Tabela 5). No decorrer do tempo de experimentação, as condições adequadas de umidade (proporcionadas pela irrigação com água ou ETSE) proporcionaram aumento da atividade microbiana no solo, resultando em diminuição das concentrações de CT no solo (NOGUEIRA et al., 2011). Esses últimos autores afirmaram que, ao longo de 24 meses de experimentação, as concentrações de CT no solo, sobretudo, nas camadas superficiais (de 0-10 e 10-20 cm) foram diminuídas e voltaram a ter seus valores aumentados, porém, inferiores àqueles observados antes do início do experimento.

Foi observada relação negativa entre as concentrações de CT no solo e P_p (Tabela 5). Em situação de menor P_p, houve maior aporte de irrigação para manter adequada a umidade do

solo ao crescimento do capim (DA FONSECA et al., 2007a). Maior quantidade de irrigação, sobretudo com ETSE, implicou em maior aporte de NT_{ETSE} (DA FONSECA et al., 2007a), que pode ter aumentado a atividade microbiana no solo e diminuído as concentrações de CT (DA FONSECA et al., 2011). A variação na temperatura, juntamente com a umidade, podem ser responsáveis por maior parte da variação de efluxo de dióxido de carbono (CO_2) no solo (DAVIDSON et al., 1998). Portanto, o aporte de carbono orgânico oriundo do capim parece não ter sido o suficiente, dentro de 24 meses de estudo, para resultar em reposição das perdas de CT no sistema ocasionado pela combinação água de irrigação e NFM.

3.3 MODELAGEM DO NITROGÊNIO TOTAL NO SOLO

Os valores de R^2 foram considerados ótimo, muito bom, bom, mediano, sofrível, ruim e péssimo em 30,00; 26,67; 23,33; 6,67; 3,33; 6,67 e 3,33%, respectivamente, para os 30 modelos de NT no solo (Tabela 6). No *C1*, as variáveis B, t, T_{min} , pH_3 , N_{pl} , N_{m1} , N_{m2} e N_{m3} explicam as concentrações de NT na camada de 0-10 cm; as variáveis B, t, pH_2 , pH_1 , N_{pl} , N_{m1} e N_{m2} na camada de 10-20 cm; as variáveis B, pH_2 , N_{pl} e N_{m3} na camada de 20-40 cm; as variáveis T_{max} e N_{m1} na camada de 40-60 cm; as variáveis B, t, pH_2 , pH_1 , pH_3 , N_{pl} e N_{m1} na camada de 60-80 cm; e as variáveis B, T_{max} , pH_2 , pH_1 , N_{pl} , N_{m1} , N_{m2} , N_{m3} , N_m e NT_{ETSE} na camada de 80-100 cm (Tabela 6).

No *C2*, na camada de 0-10 cm as concentrações de NT foram explicadas pelas variáveis t, T_{max} , pH_2 , pH_1 , N_{m2} e N_{m3} ; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B, pH_1 , pH_3 e N_{m1} ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis B, t, T_{min} , pH_2 , pH_3 , N_{pl} e N_{m2} ; na camada de 40-60 cm pelas variáveis t, P_p , pH_1 , pH_3 , N_{pl} , N_{m1} , N_{m2} e N_m ; na camada de 60-80 cm pelas variáveis B, T_{max} , pH_1 , N_{m1} , N_{m2} e N_m ; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis t, T_{min} , T_{max} , pH_2 , pH_3 e N_m (Tabela 6).

No *C3*, as variáveis B, pH_2 e pH_3 explicam as concentrações de NT na camada de 0-10 cm; as variáveis T_{min} , P_p , pH_2 , pH_3 , N_{pl} , N_{m1} , N_{m3} e N_m na camada de 10-20 cm; as variáveis T_{min} , T_{max} e pH_2 na camada de 20-40 cm; as variáveis B, T_{min} , T_{max} , pH_1 , pH_3 , N_{m1} , N_{m2} , N_{m3} e NT_{ETSE} na camada de 40-60 cm; as variáveis t, pH_2 , pH_1 , N_{m3} e NT_{ETSE} na camada de 60-80 cm; e as variáveis B, T_{min} , T_{max} , N_{m1} , N_{m2} e N_m na camada de 80-100 cm (Tabela 6).

No *C4*, na camada de 0-10 cm as concentrações de NT foram explicadas pelas variáveis B, T_{max} , pH_2 , pH_1 , pH_3 , N_{pl} , N_{m1} , N_{m2} e N_m ; na camada de 10-20 cm pelas variáveis B e P_p ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis t, T_{min} , T_{max} , pH_2 , pH_1 , N_{m1} e N_{m2} ; na camada de 40-60 cm pelas variáveis B, pH_2 , pH_3 , N_{m1} , N_{m2} e N_m ; na camada de 60-80 cm pelas variáveis B, t, T_{min} ,

Tabela 6 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para nitrogênio total em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário Camada	Modelo	valor F	R ²	Método
cm				
C1	0-10 $0,50491 + (0,02047*B) + (0,06018*t) - (0,00284*T_{min}) + (0,00921*pH_3) - (0,00099540*N_{pl}) + (0,02746*N_{m1}) + (0,00277*N_{m2}) + (0,01619*N_{m3})$	2,12 ^{NS}	0,71	b
	10-20 $0,80514 + (0,02597*B) - (0,03761*t) - (0,04551*pH_2) + (0,02518*pH_1) - (0,00069400*N_{pl}) - (0,05344*N_{m1}) + (0,00307*N_{m2})$	4,91*	0,81	b
	20-40 $0,97678 + (0,02353*B) - (0,08178*pH_2) - (0,00081798*N_{pl}) - (0,01187*N_{m3})$	4,67*	0,63	c
	40-60 $-0,26867 + (0,02013*T_{max}) + (0,04696*N_{m1})$	8,85**	0,58	c
	60-80 $0,20414 - (0,01039*B) - (0,01458*t) + (0,10845*pH_2) - (0,04578*pH_1) - (0,03859*pH_3) + (0,00078937*N_{pl}) - (0,06109*N_{m1})$	2,68 ^{NS}	0,70	b
	80-100 $-0,13488 + (0,02061*B) + (0,02325*T_{max}) - (0,19727*pH_2) + (0,11324*pH_1) - (0,00080286*N_{pl}) - (0,11845*N_{m1}) + (0,02103*N_{m2}) + (0,03785*N_{m3}) + (0,15235*N_m) - (0,13073*NT_{ETSE})$	7,79*	0,94	b
C2	0-10 $0,25577 + (0,02775*t) + (0,02081*T_{max}) + (0,09761*pH_2) - (0,14168*pH_1) + (0,00485*N_{m2}) - (0,01559*N_{m3})$	4,84*	0,81	c
	10-20 $0,96501 - (0,01148*B) + (0,03921*pH_1) - (0,09344*pH_3) - (0,02935*N_{m1})$	2,41 ^{NS}	0,49	b
	20-40 $1,79564 - (0,03518*B) - (0,10064*t) - (0,06110*T_{min}) - (0,13784*pH_2) + (0,07817*pH_3) + (0,00097620*N_{pl}) + (0,01607*N_{m2})$	6,61*	0,87	c
	40-60 $-0,25473 - (0,22863*t) - (0,00071517*P_p) + (0,10372*pH_1) + (0,10585*pH_3) + (0,00197*N_{pl}) + (0,35596*N_{m1}) + (0,02348*N_{m2}) - (0,23445*N_m)$	5,93*	0,90	c
	60-80 $-0,36347 - (0,00848*B) + (0,03666*T_{max}) - (0,08893*pH_1) + (0,07867*N_{m1}) + (0,01787*N_{m2}) - (0,02426*N_m)$	3,80*	0,74	b
	80-100 $-1,92786 + (0,05762*t) + (0,06397*T_{min}) + (0,02905*T_{max}) + (0,14537*pH_2) - (0,11354*pH_3) + (0,07962*N_m)$	4,41*	0,77	c
C3	0-10 $0,92887 + (0,03214*B) - (0,25972*pH_2) + (0,12873*pH_3)$	2,02 ^{NS}	0,34	c
	10-20 $0,60089 - (0,00682*T_{min}) - (0,00001229*P_p) + (0,01774*pH_2) - (0,00464*pH_3) - (0,00006819*N_{pl}) - (0,01201*N_{m1}) + (0,03421*N_{m3}) - (0,00482*N_m)$	4,73*	0,84	b
	20-40 $0,63724 - (0,01921*T_{min}) + (0,02582*T_{max}) - (0,14383*pH_2)$	12,09**	0,75	c
	40-60 $0,05746 + (0,01219*B) - (0,01349*T_{min}) + (0,02238*T_{max}) - (0,02658*pH_1) - (0,01254*pH_3) + (0,04666*N_{m1}) + (0,01580*N_{m2}) - (0,01181*N_{m3}) - (0,00129*NT_{ETSE})$	23,72**	0,97	b
	60-80 $0,18048 - (0,06597*t) + (0,02220*pH_2) + (0,01719*pH_1) + (0,04459*N_{m3}) + (0,00832*NT_{ETSE})$	126,23**	0,98	c
	80-100 $-0,21091 + (0,01460*B) - (0,02238*T_{min}) + (0,02529*T_{max}) - (0,25491*N_{m1}) + (0,01587*N_{m2}) + (0,29088*N_m)$	40,47**	0,96	c
C4	0-10 $3,76508 - (0,04177*B) - (0,10052*T_{max}) - (1,01967*pH_2) + (0,25702*pH_1) + (0,23505*pH_3) + (0,00527*N_{pl}) - (0,23458*N_{m1}) - (0,00652*N_{m2}) + (0,08141*N_m)$	7,52*	0,93	c
	10-20 $0,49491 + (0,02914*B) - (0,00010092*P_p)$	5,09*	0,46	b
	20-40 $-1,35216 + (0,13278*t) - (0,15246*T_{min}) + (0,11819*T_{max}) + (0,28340*pH_2) - (0,12960*pH_1) + (0,15296*N_{m1}) - (0,01669*N_{m2})$	5,17*	0,84	c
	40-60 $-1,07423 - (0,03478*B) + (0,44021*pH_2) - (0,04236*pH_3) - (0,07469*N_{m1}) - (0,01749*N_{m2}) + (0,02398*N_m)$	2,69 ^{NS}	0,67	b
	60-80 $0,28132 + (0,00396*B) - (0,02393*t) + (0,02670*T_{min}) - (0,01501*T_{max}) - (0,01296*pH_3) + (0,00049390*N_{pl}) - (0,01174*N_{m2})$	5,53*	0,83	c
	80-100 $-0,20362 - (0,09069*t) + (0,01512*T_{max}) - (0,02304*pH_3) + (0,00128*N_{pl}) + (0,02428*N_{m2}) + (0,03870*N_{m3})$	13,32**	0,90	c
C5	0-10 $-1,13319 - (0,16497*t) - (0,13364*T_{min}) + (0,06012*T_{max}) + (0,64720*pH_2) - (0,35755*pH_1) + (0,28157*pH_3) - (0,02621*N_m)$	3,01 ^{NS}	0,72	c
	10-20 $-0,64770 + (0,03093*B) + (0,05064*t) - (0,00023788*P_p) + (0,06298*pH_2) - (0,07348*pH_1) + (0,00056190*N_{pl}) + (0,05674*N_{m1}) - (0,00703*N_{m2}) + (0,01103*N_{m3}) + (0,01606*N_m)$	5,97*	0,92	b
	20-40 $0,34183 + (0,03030*B) + (0,01302*N_m)$	13,92**	0,68	a, c
	40-60 $0,97199 + (0,01441*B) + (0,10672*t) - (0,00037866*P_p) - (0,14579*pH_1) + (0,11598*N_{m1}) + (0,01568*N_{m3})$	4,33*	0,74	b
	60-80 $0,25570 + (0,01122*t) + (0,01119*N_m)$	11,45**	0,64	c
	80-100 $-0,31390 + (0,01916*T_{min}) - (0,00023118*P_p) + (0,09549*pH_2) - (0,00763*N_{m2}) + (0,17606*N_{m3})$	10,83**	0,84	b

B: bloco. t: tempo (semestre) de experimentação em campo. T_{min}: temperatura mínima do ar (°C). T_{max}: temperatura máxima do ar (°C). P_p: precipitação (mm). pH₁: potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solo:solução (1:2,5), em água. pH₂: pH do extrato solo:solução (1:2,5), em solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹). pH₃: pH da solução no solo. N_{pl}: nitrogênio (kg ha⁻¹) extraído pela planta. N_m: nitrogênio (mg L⁻¹) mineral (amônio + nitrato + nitrato) presente na solução. N_{m1}: nitrogênio na forma de amônio (mg L⁻¹) presente na solução. N_{m2}: nitrogênio na forma de nitrato (mg L⁻¹) presente na solução. N_{m3}: nitrogênio na forma de nitrato (mg L⁻¹) presente na solução. NT_{ETSE}: nitrogênio (mg L⁻¹) total presente no ETSE.

C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente.

NS: não significativo. **: P < 0,01. *: P < 0,05. a: método de seleção de variáveis *stepwise*. b: método de seleção de variáveis *forward*. c: método de seleção de variáveis *backward*.

$T_{\max}$, pH_3 , N_{pl} e N_{m2} ; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis t , $T_{\max}$, pH_3 , N_{pl} , N_{m2} e N_{m3} (Tabela 6).

No C5, as variáveis t , $T_{\min}$, $T_{\max}$, pH_2 , pH_1 , pH_3 e N_m explicaram as concentrações de NT na camada de 0-10 cm; as variáveis B , t , P_p , pH_2 , pH_1 , N_{pl} , N_{m2} , N_{m3} e N_m na camada de 10-20 cm; as variáveis B e N_m na camada de 20-40 cm; as variáveis B , t , P_p , pH_1 , N_{m1} e N_{m3} na camada de 40-60 cm; as variáveis t e N_m na camada de 60-80 cm; e as variáveis $T_{\min}$, P_p , pH_2 , N_{m2} e N_{m3} na camada de 80-100 cm (Tabela 6).

Os modelos para NT no solo não tiveram explicação por um grupo de mesmas variáveis em todos os cenários. Nos modelos do C1, as variáveis consideradas mais importantes na explicação de NT foram B , N_{m1} , pH_2 e N_{pl} pois estavam presentes em 83,33; 83,33; 66,67 e 66,67% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 6). A variação do solo, ao longo da toposequência, foi relevante não apenas para o atributo CT (Tabela 5), mas também para NT (Tabela 6). O fato de as concentrações de NT no solo acompanharem as de CT está coerente, pois a maior parte do N do solo encontra-se na forma orgânica (aproximadamente 95%), associada às cadeias carbônicas da matéria orgânica do solo (MOS) (RANGEL e SILVA, 2007). A variável N_{m1} teve relação positiva com NT nas camadas de 0-10 e 40-60 cm, e relação negativa nas camadas de 10-20 e 60-100 cm (Tabela 6). Isso pode ser resultante de N orgânico no solo [maior fração do NT, conforme Van Raij (2011)] que se mineralizou, acordando com estudo de Boeira et al., 2002, onde foi observado que 80% do N orgânico foi mineralizado, em um sistema lodo-solo. Ainda, houve relação negativa entre a variável N_{pl} com NT nas camadas de 0-40 e 80-100 cm (Tabela 6). Essa relação pode ser explicada devido a maior disponibilidade de N no solo, favorecendo sua absorção e acúmulo nas plantas (DA FONSECA et al., 2007a; SANTOS et al., 2009).

Nos modelos do C2 foram consideradas as variáveis pH_1 , t , pH_3 , e N_{m2} como as mais importantes, pois estavam presentes em 83,33, 66,67, 66,67 e 66,67% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 6). Na camada de 0-10 cm e 80-100 cm, a variável t teve relação positiva com NT, na presença de $T_{\max}$ no modelo (Tabela 6). Na ausência dessa última variável, houve relação negativa entre t e NT para a camada de 20-60 cm. Provavelmente, ocorreu maior crescimento das plantas e de suas raízes com o aumento de t , proporcionando maior acúmulo de NT em determinadas camadas do solo, sobretudo, em situação de menor aporte de NT_{ETSE} . As variáveis pH_1 e pH_3 tiveram oscilações nas relação com NT, enquanto que N_{m2} manteve relação positiva (Tabela 6). A relação entre pH e as concentrações de NT no solo pode estar relacionada ao crescimento da forrageira. Em situações de valores de pH mais elevados houve maior crescimento da planta, aumentando a biomassa e, conseqüentemente, o aporte e concentrações de NT no solo. A acidez dos solos tropicais tem sido um dos fatores mais limitantes ao

crescimento das plantas (REDDY e DUNN, 1987). Nas gramíneas forrageira tropicais, o incremento do valor de pH de 3,5 para 6,5 pode resultar em acréscimo de aproximadamente 86% da produção de matéria seca da parte aérea e de 239% da biomassa radicular (SOUZA FILHO et. al., 2000).

Nos modelos do *C3*, as variáveis $T_{\min}$, pH_2 , B , $T_{\max}$, pH_3 , N_{m1} e N_{m3} foram consideradas as mais importantes, pois encontravam-se presentes em 66,67; 66,67; 50,00; 50,00; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 6). A variável $T_{\min}$ teve relação negativa com NT, enquanto que $T_{\max}$ foi positiva (Tabela 6). Esses resultados podem ser explicados pelo aumento na biomassa aérea e radicular do agrossistema, devido ao acréscimo de $T_{\max}$, que favoreceu o crescimento da pastagem (Lopes et al, 2003). Isso resultou em maior aporte de material orgânico no sistema e incrementou as concentrações de NT no solo. As variáveis pH_2 , pH_3 , N_{m1} e N_{m3} não tiveram um padrão de relação com NT, oscilando nas diferentes camadas (Tabela 6). Isso pode ser atribuído à elevada dinâmica do N mineral em solos tropicais sob pastagem irrigada, devido à baixa retenção de nitrato e amônio no solo e alto requerimento destes compostos pelas plantas cultivadas em condições adequadas de temperatura e disponibilidade de água. No estudo de Rocha et al. (2008), onde as temperaturas médias oscilaram de 25 a 35 °C, foi observado maior acúmulo de nitrato no solo. Os autores salientaram que nesse caso, as temperaturas favoreceram a oxidação do amônio (diminuindo sua concentração no meio) devido à maior atividade microbiana associada às condições adequadas de umidade e aeração. Em solo tropical tratado com ETSE, Da Fonseca et al. (2007c) verificaram rápida transformação do N amoniacal oriundo desta água residuária em nitrato no solo. Ainda, tem sido observado grandes variações nas concentrações de nitratos em solos sob pastagens fertilizadas com N, sobretudo, nos primeiros 40 cm do solo (PRIMAVESI et al., 2006).

Nos modelos do *C4*, foram consideradas mais importantes as variáveis N_{m2} , B , $T_{\max}$ e pH_3 , pois estavam presentes em 83,33; 66,67; 66,67 e 66,67% dos 6 modelos gerados (Tabela 6). A variável N_{m2} teve relação negativa com NT nas camadas de 0-10 e 20-80 cm e, positiva na camada de 80-100 cm (Tabela 6). Na zona radicular, sobretudo, na camada superficial (de 0-10 cm), a tendência tem sido o nitrato ser absorvido pelas plantas ou lixiviado para camadas mais profundas (como exemplo, de 80-100 cm). Nesse caso, as raízes das plantas proporcionaram o aproveitamento do nitrato no solo (até 80 cm de profundidade), acumulando-o na parte aérea das plantas – que resultou em maior concentração de proteína bruta (Da Fonseca et al., 2007a). Todavia, essa relação positiva entre NT e nitrato, na camada de 80-100 cm tem sido importante, mas não necessariamente preocupante no sistema solo-planta estudado. Da Fonseca et al. (2011) verificaram que, apesar de as concentrações de nitrato terem sido

aumentadas no subsolo mediante uso de irrigação com ETSE e doses de NFM, as concentrações deste composto ficaram abaixo do valor máximo permitido em águas (45 mg L^{-1}). Ainda, a variável pH_3 teve relação positiva com NT na camada de 0-10 cm e negativa na camada de 40-100 cm (Tabela 6). A prática da calagem (principal estratégia para aumento do pH do solo) tem sido realizada na camada superficial do solo, que coincidentemente é a mais rica em MOS. Como a maior parte do NT do solo se encontra associado à MOS, isso explica a relação positiva entre pH da solução no solo e as concentrações de NT.

Nos modelos do C5, as variáveis consideradas mais importantes foram t , N_m , B , P_p , pH_2 e N_{m3} , pois estavam presentes em 66,67, 66,67, 50,00, 50,00, 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente (Tabela 6). Foi observada relação positiva entre as variáveis t e N_m e ainda, houve relação negativa entre t e N_m com NT na camada de 0-10 cm e positiva para as demais camadas que estavam presentes (Tabela 6). Esses fatores podem ser explicados pelo maior aporte de NFM neste cenário e mineralização de parte do N orgânico do solo no decorrer do experimento. Da Fonseca et al. (2011) observaram que as concentrações de NT neste solo diminuíram durante os 24 meses de experimentação. Além do mais, a variável P_p teve relação negativa com NT (Tabela 6), possivelmente, pelo fato de que, com menor P_p , houve maior aporte de irrigação para manter adequada a umidade do solo ao crescimento do capim (DA FONSECA et al., 2007a). Maior quantidade de irrigação, sobretudo com ETSE, implicou em maior aporte de NT_{ETSE} (DA FONSECA et al., 2007a).

Nos cenários estudados, os fatores que contribuíram para o crescimento do capim mitigaram as perdas de matéria orgânica do solo e de NT (sendo quase sua totalidade na forma de N orgânico) decorrente da associação de: (i) umidade adequada e constante no solo, proporcionado pela irrigação (com água ou ETSE); e (ii) elevado aporte de N (tanto do NFM quanto do NT_{ETSE}) e temperaturas adequadas (tipicamente de ambiente tropical) à alta atividade microbiana.

3.4 MODELAGEM DO FÓSFORO DISPONÍVEL NO SOLO

Os valores de R^2 foram classificados como ótimo, muito bom, bom, mediano, sofrível, ruim e péssimo, respectivamente, para 20,00; 26,67; 30,00; 6,67; 10,00; 3,33 e 3,33%, dos 30 modelos de P_{disp} no solo. No C1, as variáveis B , t , P_p , pH_2 , pH_1 e P_{pl} explicaram as concentrações de P_{disp} para a camada de 0-10 cm; as variáveis t , pH_2 e pH_1 para a camada de 10-20 cm; as variáveis T_{min} , pH_1 e P_{pl} para a camada de 20-40 cm; as variáveis B , P_p e pH_1 para a camada de 40-60 cm; as variáveis T_{min} , T_{max} , P_p , pH_1 e P_{pl} para a camada de 60-80 cm; e as variáveis P_p , pH_2 , pH_1 e pH_3 para a camada de 80-100 cm (Tabela 7).

Tabela 7 – Modelos de regressão linear múltipla com métodos de seleção de variáveis para fósforo disponível em diferentes camadas do solo, para um sistema solo-pastagem submetido à irrigação (com água convencional ou efluente do tratamento secundário de esgoto – ETSE) e doses de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM).

Cenário	Camada	Modelo	valor F	R ²	Método
C1	cm				
	0-10	$-27,53514 - (0,36203*B) + (1,48102*t) - (0,01383*P_p) + (9,17865*pH_2) + (2,31505*pH_1) - (0,46191*P_{pl})$	3,85*	0,72	b
	10-20	$25,6520 - (0,78142*t) - (6,16867*pH_2) + (1,83239*pH_1)$	4,62*	0,54	c
	20-40	$-2,29899 + (0,24964*T_{min}) - (0,32797*pH_1) + (0,06912*P_{pl})$	2,06 ^{NS}	0,34	b
	40-60	$1,72601 + (0,05409*B) + (0,00102*P_p) - (0,25891*pH_1)$	4,59*	0,53	a, b, c
	60-80	$48,57007 + (4,55510*T_{min}) - (4,09976*T_{max}) - (0,02076*P_p) + (0,79235*pH_1) + (0,11520*P_{pl})$	6,85**	0,77	b
C2	80-100	$0,07770 + (0,00535*P_p) - (1,32998*pH_2) + (1,52586*pH_1) - (1,00716*pH_3)$	11,79**	0,81	c
	0-10	$-83,43889 + (1,14036*B) - (10,17292*t) + (0,01921*P_p) + (7,07769*pH_1) + (7,78174*pH_3) + (0,22460*P_{pl}) + (0,13388*P_{ETSE})$	1,69 ^{NS}	0,60	b
	10-20	$2,23210 - (0,76119*t) + (0,40305*pH_3)$	16,35**	0,72	a
	20-40	$-8,59857 + (0,48428*T_{min}) + (0,00123*P_p) + (0,55341*pH_1) - (0,31024*pH_3) - (0,02426*P_{pl})$	7,30**	0,78	b
	40-60	$13,25534 - (0,62576*t) - (0,59369*T_{max}) + (1,18761*pH_3)$	7,30**	0,65	c
	60-80	$3,32389 - (0,90851*t) - (0,40279*pH_1) - (0,03945*P_{pl}) + (0,15743*P_{ETSE})$	20,97**	0,88	c
C3	80-100	$5,78533 + (0,15203*B) + (0,44820*T_{min}) - (0,45153*T_{max}) + (0,61614*pH_1) - (0,59979*pH_3)$	11,06**	0,85	c
	0-10	$113,77590 - (2,25337*T_{max}) - (8,1454*pH_3) + (0,65974*P_{pl})$	8,07**	0,67	c
	10-20	$-23,64476 + (0,75291*T_{max}) - (0,00300*P_p) + (1,26528*pH_2) - (0,63523*pH_1) + (0,68047*pH_3)$	4,99*	0,71	b
	20-40	$2,95392 - (0,18763*T_{min}) + (0,00326*P_p) - (0,90455*pH_2) + (0,48506*pH_3) + (0,07401*P_{pl}) - (0,10740*P_{ETSE})$	2,82 ^{NS}	0,65	b
	40-60	$1,26173 + (0,92795*t) + (0,00254*P_p) - (0,76699*pH_3)$	17,12**	0,81	c
	60-80	$-11,13423 + (2,27718*t) + (2,91861*pH_2) - (0,10841*P_{pl}) - (0,08820*P_{ETSE})$	18,44**	0,87	a
C4	80-100	$1,05354 + (0,95579*t) - (0,07907*P_{pl})$	22,55**	0,78	c
	0-10	$-101,40639 + (4,55368*T_{min}) + (5,11103*pH_3) + (0,64521*P_{pl}) - (0,99560*P_{ETSE})$	6,36**	0,70	c
	10-20	$-27,78218 + (1,03860*T_{max}) + (0,03630*P_{pl})$	17,38**	0,73	a
	20-40	$27,46954 - (0,15135*B) + (0,21167*T_{min}) - (0,95998*T_{max}) - (0,19612*pH_3) + (0,01340*P_{pl})$	20,04**	0,91	b
	40-60	$41,14904 + (0,15972*B) - (0,83022*T_{max}) - (2,18423*pH_2) - (2,55750*pH_1) + (0,56528*pH_3) + (0,09286*P_{pl})$	3,81*	0,68	b
	60-80	$-10,11206 - (0,24995*B) - (0,05852*T_{max}) + (1,33256*pH_2) + (0,78774*pH_1) + (0,78832*pH_3) - (0,03877*P_{ETSE})$	3,89*	0,72	b
C5	80-100	$5,88860 - (0,05319*B) + (0,31541*T_{min}) - (0,36423*T_{max}) - (0,19900*pH_3) + (0,02659*P_{pl})$	22,47**	0,92	c
	0-10	$-3,55898 - (0,75156*T_{min}) + (1,78387*T_{max}) - (6,37889*pH_2) + (0,16646*P_{pl})$	9,61**	0,78	a
	10-20	$21,88149 - (0,01208*P_p) - (1,81947*pH_1) + (0,03231*P_{ETSE})$	58,06**	0,94	a
	20-40	$5,30635 - (0,35966*B) - (0,46444*pH_1)$	14,57**	0,69	a
	40-60	$11,23695 - (0,37509*T_{max}) + (0,00158*P_p)$	6,87**	0,51	a
	60-80	$37,10841 - (1,40325*T_{min}) + (0,01043*P_p) - (3,54244*pH_2) - (0,7285*pH_3)$	29,46**	0,91	c
	80-100	$34,46224 + (0,53458*t) + (0,66378*T_{min}) - (1,38595*T_{max}) - (1,14930*pH_3)$	16,20**	0,85	c

B: bloco. t: tempo (semestre) de experimentação em campo. T_{min}: temperatura mínima do ar (°C). T_{max}: temperatura máxima do ar (°C). P_p: precipitação (mm). pH₁: potencial de hidrogênio iônico (pH) do extrato solo:solução (1:2,5), em água. pH₂: pH do extrato solo:solução (1:2,5), em solução de cloreto de cálcio (0,01 mol L⁻¹). pH₃: pH da solução no solo. P_{pl}: fósforo (kg ha⁻¹) extraído pelas plantas; P_{ETSE}: fósforo (mg L⁻¹) total presente no efluente do tratamento secundário de esgoto (ETSE). C1: irrigação com água potável e adição de 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM; C2–C5: irrigação com ETSE e adição de 0; 171,6; 343,2 e 520 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NFM, respectivamente. NS: não significativo. **: P < 0,01. *: P < 0,05.

a: *stepwise* foi método de seleção de variáveis mais indicado. b: *forward* foi método de seleção de variáveis mais indicado. c: *backward* foi método de seleção de variáveis mais indicado.

No C2, na camada de 0-10 cm as concentrações de P_{disp} foram explicadas pelas variáveis B, t, P_p , pH_1 , pH_3 , P_{pl} e P_{ETSE} ; na camada de 10-20 cm pelas variáveis t e pH_3 ; na camada de 20-40 cm pelas variáveis T_{min} , P_p , pH_1 , pH_3 e P_{pl} ; na camada de 40-60 cm pelas variáveis t, T_{max} e pH_3 ; na camada de 60-80 cm pelas variáveis t, pH_1 , P_{pl} e P_{ETSE} ; e na camada de 80-100 cm pelas variáveis B, T_{min} , T_{max} , pH_1 e pH_3 (Tabela 7).

No C3, as variáveis T_{max} , pH_3 e P_{pl} explicaram as concentrações de P_{disp} para a camada de 0-10 cm; as variáveis T_{max} , P_p , pH_2 , pH_1 e pH_3 para a camada de 10-20 cm; as variáveis T_{min} , P_p , pH_2 , pH_3 , P_{pl} e P_{ETSE} para a camada de 20-40 cm; as variáveis t, P_p e pH_3 para a camada de 40-60 cm; as variáveis t, pH_2 , P_{pl} e P_{ETSE} para a camada de 60-80 cm; e as variáveis t e P_{pl} para a camada de 80-100 cm (Tabela 7).

No C4, na camada de 0-10 cm, as concentrações de P_{disp} foram explicadas pelas variáveis T_{min} , pH_3 , P_{pl} e P_{ETSE} ; na camada de 10-20 cm pelas variáveis T_{max} e P_{pl} ; nas camadas de 20-40 e 80-100 cm pelas variáveis B, T_{min} , T_{max} , pH_3 e P_{pl} ; na camada de 40-60 cm pelas variáveis B, T_{max} , pH_2 , pH_1 , pH_3 e P_{pl} ; e na camada de 60-80 cm pelas variáveis B, T_{max} , pH_2 , pH_1 , pH_3 e P_{ETSE} (Tabela 7).

No C5, as variáveis T_{min} , T_{max} , pH_2 e P_{pl} explicaram as concentrações de P_{disp} para a camada 0-10 cm; as variáveis P_p , pH_1 e P_{ETSE} para a camada de 10-20 cm; as variáveis B e pH_1 para a camada de 20-40 cm; as variáveis T_{max} e P_p para a camada de 40-60 cm; as variáveis T_{min} , P_p , pH_2 e pH_3 para a camada de 60-80 cm; e as variáveis t, T_{min} , T_{max} e pH_3 para a camada de 80-100 cm (Tabela 7).

Os modelos para P_{disp} não foram representados pelo mesmo conjunto de variáveis nos diferentes cenários e camadas estudadas. No C1, as variáveis consideradas mais importantes na explicação de P_{disp} foram pH_1 , P_p , pH_2 e P_{pl} , pois estavam presentes em 100,00; 66,67; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente. Foi observada relação positiva entre pH_1 e P_{disp} nas camadas de 0-20 e 60-100 cm, e negativa nas camadas de 20-60 cm (Tabela 7). A variável P_{pl} teve relação negativa com P_{disp} na camada de 0-10 cm e positiva nas camadas de 20-40 e 60-80 cm (Tabela 7). Houve relação negativa entre pH_1 e P_{pl} nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, e positiva na camada de 60-80 cm (Tabela 7). Na camada de 0-10 cm, a variável pH_2 se correlacionou positivamente com P_{disp} e negativamente nas camadas de 10-20 e 80-100 cm (Tabela 7). Para a variável P_p foi observadas relação negativa com P_{disp} nas camadas de 0-10 e 60-80 cm, e positiva na camada de 40-60 (Tabela 7). Houve relação negativa entre a variável pH_1 e P_p (Tabela 7). Com aumento do pH, ocorre liberação de fosfatos adsorvidos e maior disponibilidade de P (Van Raij, 2011), favorecendo o crescimento das plantas e acúmulo deste nutrientes na parte aérea. Isso explica as relações positivas entre pH e P_{disp} nas camadas onde há maiores concentrações deste elemento. A relação negativa entre P_{pl} e P_{disp} pode ser resultado da

elevada capacidade de extração de nutrientes pelo capim-Tifton 85, acumulando-o na sua fitomassa (ERTHAL et al., 2010).

No C2, as variáveis pH_3 , t , pH_1 , e P_{pl} foram consideradas as mais importantes, pois estavam presentes em 83,33; 66,67; 66,67 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente. Foi observada relação negativa entre t e P_{disp} (Tabela 7). Isso pode ser atribuída ao fato que, com o aumento de t , as plantas extraíram mais P do solo reduzindo a concentração de P_{disp} . Oliveira et al. (2000), observaram redução nos teores de P_{disp} com o avanço da maturidade da planta em experimento com capim-Tifton.

No C3, foram consideradas as variáveis pH_3 , P_{pl} , t , P_p e pH_2 as mais importantes, pois estavam presentes em 66,67; 66,67; 50,00; 50,00 e 50,00% dos 6 modelos, respectivamente. Relação positiva foi observada entre as variáveis t e P_{disp} na camada de 40-100 cm (Tabela 7). Possivelmente ocorreu maior crescimento radicular da pastagem com o passar do tempo, proporcionando aumento na produção de biomassa e acarretando em incremento de P_{disp} nas camadas mais profundas. Foi observada relação negativa entre as variáveis P_p e pH_2 . Isso pode ser explicada pelo fato de que, em menores valores de P_p , foram necessários maiores quantidades de irrigação (DA FONSECA et al., 2007a), resultando no aporte de componentes do ETSE que tem reação ácida no solo. Nesse contexto destaca-se que o N predominante no ETSE, na forma de amônio que, ao ser adicionado no sistema adequadamente manejado, rapidamente se transforma em nitrato, ocasionando diminuição no pH do meio, conforme observado no trabalho de Da Fonseca et al. (2007c).

No C4, as variáveis T_{max} , pH_3 e P_{pl} foram consideradas as mais importantes, pois estavam presentes em 83,33; 83,33 e 83,33%, respectivamente, dos 6 modelos de P_{disp} . Houve relação positiva entre T_{max} e P_{disp} na camada de 10-20 cm e negativa na camada 20-100 cm (Tabela 7). Esses resultados podem ser devido ao fato de, em situação de maior T_{max} pode ter havido maior crescimento da pastagem (LOPES et al., 2003), extraindo maior quantidade de P no solo e restando menor quantidade de P_{disp} (MALAVOLTA, 2006). Ainda, foi observada relação positiva entre as variáveis P_{pl} e P_{disp} nas camadas 10-60 e 80-100 (Tabela 7). O adequado manejo da irrigação e o aporte de nutrientes oriundo do ETSE favoreceu o crescimento do capim, resultando em maior fitomassa (Da Fonseca et al., 2007a) e, certamente, favoreceu o crescimento radicular em camadas mais profundas do solo. No decorrer do tempo, a morte dessas raízes podem ter proporcionado a liberação de P do material orgânico, resultando em incremento do P_{disp} em profundidade. Tem sido observada redistribuição de P no solo em sistemas de pastagens adequadamente manejadas, devido à liberação deste nutriente mediante a mineralização do P orgânico oriundo da biomassa radicular (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

No C5, foram consideradas como mais importantes as variáveis T_{min} , T_{max} e P_p , pois estavam presentes em 50, 50 e 50%, respectivamente, dos 6 modelos estudados. Foi observado que as variáveis P_p e P_{disp} tiveram relação negativa na camada 10-20 cm e positiva na camada 40-80 cm (Tabela 7). Isso pode ser devido ao fato que, com menor P_p , houve mais irrigação para manter adequada a umidade do solo, resultando em aporte de maior quantidade de P_{ETSE} (DA FONSECA et al., 2007a). Houve relação positiva entre T_{max} e P_{disp} na camada de 0-10 cm e negativa nas camadas de 40-60 e 80-100 cm (Tabela 7). Esse resultado pode ser atribuído ao fato que, com o aumento de T_{max} , ocorre maior crescimento da planta (LOPES et al., 2003), e consequentemente maior absorção de P_{disp} pela planta (MALAVOLTA, 2006).

De modo geral, em condições de maiores crescimento e acúmulo de fitomassa (cenários onde houve maiores doses de N e aporte de irrigação), o capim atuou como um dreno de P_{disp} e o aporte de P_{ETSE} pouco influenciou a concentração deste nutriente no solo. Ao longo do tempo, a combinação de doses de N e irrigação favoreceu a redistribuição de P_{disp} no solo.

4 CONCLUSÕES

Em um sistema tropical irrigado (com água convencional ou residuária) e fertilizado com nitrogênio o uso de método de seleção de variável foi mais adequado do que o método padrão para modelar os atributos carbono total, nitrogênio total e fósforo disponível no solo.

As concentrações de carbono total no solo foram explicadas em sua maioria pelas variáveis bloco, tempo, temperatura e precipitação. As concentrações de carbono total e fósforo disponível no solo, não foram explicadas por um mesmo grupo de variáveis nos diferentes cenários.

O aporte de carbono orgânico oriundo do capim-Tifton 85 e do nitrogênio (total) oriundo do efluente do tratamento secundário de esgoto parecem não ser suficientes para resultar em reposição das perdas de carbono total e nitrogênio total do solo, respectivamente, ocasionado pela combinação água de irrigação e doses de nitrogênio, durante os 24 meses de estudo.

Em condições de maiores crescimento e acúmulo de fitomassa (cenários onde houve maiores doses de nitrogênio e aporte de irrigação), o capim atuou como um dreno do fósforo disponível e o aporte deste nutriente oriundo do efluente pouco influenciou a concentração deste nutriente no solo. Ao longo do tempo, a combinação de doses de nitrogênio e irrigação favoreceu a redistribuição de fósforo disponível no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAD, G.; TORRES, C. V. Regressão múltipla *stepwise* e hierárquica em Psicologia Organizacional: aplicações, problemas e soluções. **Estudos de Psicologia**, vol.7, p. 19-29, 2002.
- BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1639-1647, 2002.
- CARLESSO, R.; SPOHR, R. B.; ELTZ, F. L. F; FLORES, C. H. Runoff estimation in southern Brazil based on Smith's modified model and the Curve Number method Original. **Agricultural Water Management**, v.98, p.1020-1026, 2011.
- DA CRUZ, P.G.; SANTOS, P. M.; PEZZOPANE, J. R.; OLIVEIRA, P. P. A.; ARAUJO, L. C. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.675-681, 2011.
- DA FONSECA, A. F. **Viabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem**. Piracicaba, 2005. 174p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- DA FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; DE PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agrícola**, v.64, p.194-209, 2007b.
- DA FONSECA, A. F.; LEAL, R. M. P.; HERPIN, U.; MELFI, A. J. Carbon and nitrogen dynamics in a Brazilian soil–pasture system irrigated with treated sewage effluent. **Israel Journal of Plant Sciences**, v.59, p.147-157, 2011.
- DA FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTEIRO, F. A.; MONTES, C. R.; ALMEIDA, V. V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. **Agricultural Water Management**, v.87, p.328-336, 2007a.
- DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Global Change Biology**, v.4, p.217-227, 1998.

- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.14, p.458-466, 2010.
- FANG, C; MONCRIEF, J. B.; GHOLZ, H. L.; CLARK, K. L. Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. **Plant and Soil**, v.205, p.135-146, 1998.
- FERREIRA, A.; CUNHA, C. Sustentabilidade ambiental da água consumida no Município do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v.18, p.93-99, 2005.
- FREUND, J. E. **Estatística Aplicada: economia, administração e contabilidade**, 11.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 536p.
- HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BARBIN, J. B.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**, 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 688p.
- KNOPS, J. M. H.; TIMAN, D. Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment. **Ecology**, v.81, p.88-98, 2000.
- LACERDA, É. R. M.; ABBAD, G. Impacto do treinamento no trabalho: investigando variáveis motivacionais e organizacionais como suas preditoras. **Revista de Administração Contemporânea**, vol.7, p.77-96, 2003.
- LAM, L. **An introduction to R**. R Foundation for Statistical Computing, p.212, 2010.
- LEAL, R. M. P.; DA FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; MELFI, A. J. Agricultural utilization of treated sewage effluent: Experience from Brazil. **Israel Journal of Plant Sciences**, v.59, p.235-248, 2011.
- LOPES, R. S.; DA FONSECA, D. M.; DE OLIVEIRA, R. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; ANDRADE, A. C.; STOCK, L. A.; MARTINS, C. E. Disponibilidade de matéria seca em pastagens de capim-elefante irrigadas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, p.1388-1394, 2003.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.
- MYNBAEV, K.T; LEMOS, A. **Manual de econometria**, 1.ed. Rio de Janeiro: FGV, 2004. 348p.
- MORAES, D. S. de L.; JORDAO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, v.36, p.370-374, 2002.

NOGUEIRA, S. F. ; PAULA, A. M. ; PEREIRA, B. F. F. ; SALEMI, L. F. ; DA FONSECA, A. F.; MONTES, C. R.; VICTORIA, R. L . Water type and irrigation time effects on microbial metabolism of a soil cultivated with Bermuda-grass Tifton 85. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.54, p.477-486, 2011.

O'BRIEN, R. M. A Caution Regarding Rules of Thumb for Variance Inflation Factors. **Quality and Quantity**, v.41, p.673-690, 2007.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). The United Nations World Water Development **Report 3: Water in Changing World**. Turquia, 2009. 16p.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 911-920, 2008.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.465-473, 2000.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CORREA, L. A.; DA SILVA, A. G.; CANTARELLA H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coaracter adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35,p. 683-690. 2006.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007.

RAZZOLINI, M. T. P.; GUNTHER, W. M. R. Impactos na saúde das deficiências de acesso a água. **Saúde e Sociedade**, v.17, p.21-32, 2008.

REDDY, M. R.; DUNN, S. J. Differential response of soybean genotypes to soil pH and manganese application. **Plant Soil**, v.101, p.123-126, 1987.

RIBAS, T. B. C.; FORTES NETO, P. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. **Revista Ambiente & Água**, v.3, p.81-94, 2008.

RIBEIRO, M. C. F.;ROCHA, F. A.; DOS SANTOS, A. C.; DA SILVA, J. O.; PEIXOTO, M. F. S. P; PAZ, V. P. S. Crescimento e produtividade da mamoneira irrigada com

diferentes diluições de esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.639-646, 2012.

ROCHA, F. A.; F. A.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; CANTARULLI, R. B.; DA SILVA, J. O. Modelo numérico do transporte de nitrogênio no solo. Parte II: Reações biológicas durante a lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p. 54-61, 2008.

SALLUM, A. M. C.; DOS SANTOS, J. L. F.; DE LIMA, F. D. Nursing diagnoses in trauma victims with fatal outcomes in the emergency scenario. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v.20, p.3-10; 2012.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; BALBINO, E. M. Capim-braquiária diferido e adubado com nitrogênio: produção e características da forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.650-656, 2009.

SAS Institute. **SAS® 9.1.3 Output Delivery System - User's Guide**. SAS Publishing, p.681, 2006.

SINGH, P. K.; DESHBRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, v.103, p.100-104, 2012.

SINGH, S. K.; SINGH, A. K.; SHARMA, B. K.; TARAFDAR, J. C. Carbon stock and organic carbon dynamics in soils of Rajasthan, Indian. **Journal of Arid Environ**, v.68, p.408-421, 2007.

SOUZA, É. M.; ISEPN, O. J; BASTOS, J. F. P.; LIMA, R. C. Efeitos da irrigação e adubação nitrogenada sobre a massa de forragem de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.1146-1155, 2005.

SOUZA FILHO, A.P.S.; VELOSO, C.A.C.; GAMA, J.R.N. Capacidade de absorção de nutrientes do capim-mMarandu (*Brachiaria brizantha*) e da planta daninha malva (*Urena lobata*) em função do pH. **Planta daninha**, v.18, p.443-450, 2000.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2.ed. Piracicaba: IPNI, 2011. 420p.

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2010, v.15, p.291-300, 2010.