UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

IMPACTOS SOBRE A BIOTA E A QUALIDADE DE LATOSSOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR, EM QUIRINÓPOLIS, GOIÁS

GEORGIA RIBEIRO SILVEIRA DE SANT'ANA

Goiânia
2014

sistema de bibliotecas ufg

UFG

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **[ ] Dissertação** **[X] Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Georgia Ribeiro Silveira de Sant'Ana
E-mail:	grssantana@bol.com.br
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? [x]Sim [ ] Não	
Vínculo empregatício do autor	Jardim Botânico de Goiânia / Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, Anápolis, Goiás
Agência de fomento:	Sigla:
País: Brasil	UF:GO CNPJ:
Título:	Impactos sobre a biota e a qualidade de latossolos cultivados com cana-de-açúcar, em Quirinópolis, Goiás
Palavras-chave:	Qualidade do solo, qualidade da água, bioindicadores
Título em outra língua:	Impacts on biota and the quality of Oxisols cultivated with sugar cane, in Quirinopolis, Goiás
Palavras-chave em outra língua:	Soil quality, water quality, bioindicators
Área de concentração:	Estrutura e Dinâmica Ambiental
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	14/03/2014
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Orientador (a):	Selma Simões de Castro
E-mail:	selma.castro@uol.com.br
Co-orientador (a):	
E-mail:	

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização?[1] [X] total [ ] parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

[ ] Capítulos. Especifique: _____

[ ] Outras restrições: _____

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Georgia R. de Sant'Ana

Assinatura do (a) autor (a)

Data: 16 / 09 / 2014

[1] Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

GEORGIA RIBEIRO SILVEIRA DE SANT'ANA

IMPACTOS SOBRE A BIOTA E A QUALIDADE DE LATOSSOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR, EM QUIRINÓPOLIS, GOIÁS

Tese apresentada ao programa de Doutorado em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais.
Área de concentração: Estrutura e Dinâmica Ambiental.
Orientadora: Profª. Dra. Selma Simões de Castro

Goiânia
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG

Sant'Ana, Georgia Ribeiro Silveira de.
Impactos sobre a biota e a qualidade de latossolos cultivados com cana-de-açúcar, em Quirinópolis, Goiás [manuscrito] / Georgia Ribeiro Silveira de Sant'Ana. - 2014.
xviii, 218 f. : il., figs, tabs.

Orientadora: Profª. Drª. Selma Simões de Castro
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - UFG, 2014.
Bibliografia.
Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.
Apêndices.

1. Análise ambiental 2. Solos 3. Água 4. Agricultura 5. Cana-de-açúcar. I. Título.

IMPACTOS SOBRE A BIOTA E A QUALIDADE DE LATOSSOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR, EM QUIRINÓPOLIS, GOIÁS

Tese defendida no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do grau de Doutora, aprovada em 14 de março de 2014, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Profª. Drª. Selma Simões de Castro – UFG/IESA
(Presidente)

Prof.ª Dr.ª Ina de Souza Nogueira – UFG/ICB
(Membro)

Prof. Dr. José Daniel Gonçalves Vieira – UFG/IPTSP
(Membro)

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro – UFG/EA
(Membro)

Prof. Dr. Luiz Artur Bataus – UFG/ICB
(Membro)

Goiânia, 2014

"No mistério do Sem-Fim equilibra-se um planeta.
E, no planeta, um jardim, e, no jardim, um canteiro:
no canteiro, uma violeta, e, sobre ela, o dia inteiro,
entre o planeta e o Sem-Fim, a asa de uma borboleta."

(Cecília Meireles)

Dedico este trabalho aos meus filhos Letícia, Victor e Stela, companheiros
de todas as minhas caminhadas e a meu esposo Carlos Eduardo,
por estar sempre ao meu lado em todos os
momentos de minha vida. Sem
vocês este momento
não existiria.

AGRADECIMENTOS

Expresso meus sinceros agradecimentos:

à Universidade Federal de Goiás, à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e à Coordenação do Doutorado em Ciências Ambientais;

à Faculdade SENAI de Tecnologia Roberto Mange, por ajudar na realização dos experimentos na área microbiológica e bioquímica;

à Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, por ajudar na realização dos experimentos na área química e física;

à minha orientadora, Profª. Drª. Selma Simões de Castro, pela amizade, paciência, conselhos, sugestões bibliográficas, conhecimento compartilhado e dedicação na orientação deste trabalho;

às colegas de cana, Adriana Aparecida Silva e Vonedirce Maria Santos Borges, que sempre estiveram ao meu lado nas coletas e discussões de meu trabalho;

a todos os amigos, que me ajudaram direta e indiretamente nas coletas, nas discussões, tanto em Quirinópolis, como no meu dia a dia em Goiânia;

ao meu pai, Francisco; à minha mãe Sílvia e aos meus irmãos, Gleidston, Georgeton e Gleice, pelos valores construídos juntos;

a todos (as) que conviveram com as minhas presenças ou ausências neste período.

Obrigada a todos.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19
1.1 Caracterização da área de pesquisa 22
1.1.1 Caracterização do meio físico da região de Quirinópolis, Goiás 22
1.1.2 Caracterização do meio biótico da região de Quirinópolis, Goiás 33
1.2 Referencial teórico da pesquisa 36
1.2.1 A cultura da cana-de-açúcar 36
1.2.2 Qualidade do solo 40
1.2.3 Qualidade da água 49
1.3 Estratégia metodológica geral 54
1.3.1 Roteiro metodológico geral da pesquisa 54
1.3.2 Caracterização das áreas amostrais 55
1.3.3 Análise de dados 66
1.4 Referências 67
2 RESULTADOS E DISCUSSÃO 85
2.1 Apresentação 85
Artigo 1: Atributos químicos de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivados com cana-de-açúcar sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás
Resumo 86
Abstract 87
Introdução 87
Metodologia 89
Resultados e discussão 93
Conclusões 100
Referências 100

Artigo 2: Atributos Microbiológicos de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás
Resumo 105

Abstract 106
Introdução..... 107
Metodologia..... 109
Resultados e discussão 117
Conclusões..... 133
Referências 133

Artigo 3: A Fauna Edáfica de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás
Resumo..... 140
Abstract 141
Introdução..... 141
Metodologia..... 143
Resultados e discussão 148
Conclusões..... 170
Referências 171

Artigo 4: Os aspectos físico-químicos dos córregos Limeira e Do Lajeado em área de cultivo de cana-de-açúcar, em Quirinópolis, Goiás
Resumo..... 178
Abstract 179
Introdução..... 179
Metodologia..... 181
Resultados e discussão 185
Conclusões..... 204
Referências 204

2.2 Síntese dos resultados 212

3 CONCLUSÕES FINAIS..... 213

Lista de figuras

INTRODUÇÃO

Figura 1: Mapa de localização da microrregião de Quirinópolis, Goiás, indicando a hidrografia, o sistema viário principal e a localização das usinas em 2010..... 23
Figura 2: Mapa de uso da terra em 2004 da microrregião de Quirinópolis, Goiás 25
Figura 3: Mapa de uso da terra de 2010 da microrregião de Quirinópolis, Goiás 26
Figura 4: Mapa geológico da microrregião de Quirinópolis, Goiás 28
Figura 5: Mapa geomorfológico da microrregião de Quirinópolis, Goiás..... 29
Figura 6: Mapa hipsométrico da microrregião de Quirinópolis, Goiás 30
Figura 7: Mapa de declividade da microrregião de Quirinópolis, Goiás..... 31
Figura 8: Mapa de solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás..... 32
Figura 9: Mapa de vegetação original da microrregião de Quirinópolis, Goiás 34
Figura 10: Fatores relacionados à qualidade do solo e aos atributos utilizados para sua quantificação, com destaque para a diversidade microbiana 41
Figura 11: Fluxograma mostrando as etapas da pesquisa 56
Figura 12: Mapa da microrregião de Quirinópolis, Goiás com a localização dos perfis de solos estudados 58
Figura 13: Fotos mostrando os perfis 1A e 1B: A) Perfil 1 A - Latossolo Vermelho distroférrico sucessão soja/cana - fertirrigada 1º ciclo – 4º corte; B) Perfil 1B - Latossolo Vermelho distroférrico sucessão soja/cana – não fertirrigada 1º ciclo – 4º corte..... 60
Figura 14: Fotos mostrando os perfis 2A e 2B: A) Perfil 2A Latossolo Vermelho distroférrico sucessão pasto/cana - fertirrigada 1º ciclo – 4º corte; B) Perfil 2B Latossolo Vermelho distroférrico sucessão pasto/cana – não fertirrigada 1º ciclo – 4º corte..... 61
Figura 15: Fotos mostrando os perfis 6B e 7C: A) Perfil 6B Latossolo Vermelho distroférrico rotação pasto/soja/cana – não fertirrigada, 1º ciclo – 4º corte; B) Perfil 7C Latossolo Vermelho distroférrico - Vegetação natural..... 61
Figura 16: Fotos mostrando os perfis 3B e 4B: A) Perfil 3 B Latossolo Vermelho distrófico sucessão soja/cana – não fertirrigada 1º ciclo – 4º corte; B) Perfil 4 B Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sucessão pasto/cana – não fertirrigada 1º ciclo – 4º corte..... 62

Figura 17: Fotos mostrando os perfis 5B e 8C: A) Perfil 5 B Latossolo Vermelho distrófico rotação pasto/soja/cana – não fertirrigada 1º ciclo – 4º corte; B) Perfil 8C Latossolo Vermelho distrófico – Vegetação natural..... 62
Figura 18: Localização das áreas das bacias dos córregos amostrados: bacia do Rio Preto/sub-bacia do Córrego Limeira; bacia do Rio dos Bois/sub-bacia do Córrego do Lajeado..... 63
Figura 19: (A) Mapa de hipsometria da sub-bacia do Córrego do Lajeado (B) Mapa de declividade da sub-bacia do Córrego do Lajeado..... 64
Figura 20: (A) Mapa de hipsometria da sub-bacia do Córrego Limeira (B) Mapa de declividade da sub-bacia do Córrego Limeira..... 65
Figura 21: A) Córrego do Lajeado a montante; B) Córrego do Lajeado a jusante. Região de Quirinópolis, Goiânia, Goiás 66
Figura 22: A) Córrego Limeira a montante; B) Córrego Limeira a jusante. Região de Quirinópolis, Goiânia, Goiás..... 66

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Artigo 1: Atributos químicos de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivados com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás

Figura 1: Mapa da microrregião de Quirinópolis, Goiás com a localização dos perfis de solos estudados 90
Figura 2: Potencial Hidrogeniônico (pH), concentração de Fósforo (P) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás..... 94
Figura 3: Concentração de Potássio (K) e Cálcio (Ca) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 96
Figura 4: Concentração de Magnésio (Mg), Acidez Potencial do Solo (H + Al) e Capacidade de Troca de Cátions (CTC) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás..... 97
Figura 5: Matéria Orgânica do Solo (MO) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás..... 99

Artigo 2: Atributos Microbiológicos de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás

Figura 1: Mapa da microrregião de Quirinópolis, Goiás com a localização dos perfis de solos estudados 110
Figura 2: Análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte A, em Quirinópolis, Goiás..... 119
Figura 3: Análise dos componentes principais dos atributos Biológicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte A, em Quirinópolis, Goiás 120
Figura 4: Análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte AB, em Quirinópolis, Goiás 122
Figura 5: Análise dos componentes principais dos atributos Biológicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte AB, em Quirinópolis, Goiás..... 123
Figura 6: Análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte BA, em Quirinópolis, Goiás 125
Figura 7: Análise dos componentes principais dos atributos Biológicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte BA, em Quirinópolis, Goiás..... 126
Figura 8: Análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte Bw_1, em Quirinópolis, Goiás..... 128
Figura 9: Análise dos componentes principais dos atributos Biológicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte Bw_1, Quirinópolis, Goiás..... 129
Figura 10: Análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte Bw_2, em Quirinópolis, Goiás..... 130

Figura 11: Análise dos componentes principais dos atributos Biológicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte Bw_2, em Quirinópolis, Goiás..... 131

Artigo 3: A Fauna Edáfica de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás

Figura 1: Mapa da microrregião de Quirinópolis, Goiás com a localização dos perfis de solos estudados 144
Figura 2: Distribuição dos grupos taxonômicos da fauna edáfica, por perfil, com diferentes manejos em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) e Distrófico (LVd) e horizontes (Serr: Serrapilheira, A,AB, BA, Bw_1,Bw_2), região de Quirinópolis, Goiás..... 151
Figura 3: Distribuição da Fauna em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) nos diferentes tipos de manejo, na região de Quirinópolis, Goiás..... 152
Figura 4: Distribuição da Fauna Edáfica em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) nos diferentes tipos de manejo, na região de Quirinópolis, Goiás..... 152
Figura 5: Número total de grupos taxonômicos identificados nos perfis em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) e Distrófico (LVd), região de Quirinópolis, Goiás..... 153
Figura 6: Abundância da Classe Aracnídea/subclasse Acarina dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás..... 155
Figura 7: Abundância da Classe Insecta / Ordem Diptera dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás..... 156
Figura 8: Abundância da Classe Insecta/ Ordem Hemiptera dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás..... 157
Figura 9: Abundância da Classe Diplopoda nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 158
Figura 10: Abundância da Classe Insecta/ Ordem Diplura nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás..... 160

Figura 11: Abundância da Classe Insecta / Ordem Hymnoptera nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 161
Figura 12: Abundância da Classe Insecta / Ordem Coleoptera nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 162
Figura 13: Abundância da Classe Insecta / Ordem Zoraptera nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 163
Figura 14: Abundância do Filo Nematóide nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 164
Figura 15: Abundância da Classe Insecta / Ordem Psicoptera nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 165
Figura 16: Abundância da Classe Insecta / Ordem Isoptera nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 166
Figura 17: Abundância da Classe Insecta/ Ordem Collembola nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 167
Figura 18: Abundância da Classe Crustácea/ Ordem Isopoda dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 168
Figura 19: Abundância da Classe Insecta / Ordem Dermaptera dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 169
Figura 20: Abundância da Classe Insecta / Ordem Neuroptera dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), em Quirinópolis, Goiás 169

Artigo 4: Os aspectos físico-químicos dos córregos Limeira e Do Lajeado em área de cultivo de cana-de-açúcar, em Quirinópolis, Goiás

Figura 1: Localização das áreas das bacias dos córregos amostrados: bacia do Rio Preto/sub-bacia do Córrego Limeira; bacia do Rio dos Bois/sub-bacia do Córrego Do Lajeado 182
Figura 2: (a) Mapa de hipsometria da sub-bacia do Córrego Do Lajeado (b) Mapa de declividade da sub-bacia do Córrego Do Lajeado 183
Figura 3: (a) Mapa de hipsometria da sub-bacia do Córrego Limeira (b) Mapa de declividade da sub-bacia do Córrego Limeira 184
Figura 4: (A) Precipitação nos dias de coleta no Córrego Do Lajeado e Limeira, na região de Quirinópolis (GO). Referência aos meses de setembro de 2010 e março de 2011; (B) Variação da temperatura do ar nos pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 e março de 2011 191
Figura 5: Pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira nos períodos de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): (A) Variação da temperatura da água; (B) Variação de pH da água 192
Figura 6: Pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): (A) Variação da condutividade elétrica da água; (B) Variação da alcalinidade da água; (C) Variação da Turbidez da água; (D) Variação do Sódio na água 195
Figura 7: Pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): (A) Variação do Teor de Cloretos; (B) Variação de Potássio; (C) Variação de sólidos totais; (D) Variação de Oxigênio Dissolvido na água 197
Figura 8: Pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): (A) Variação de íon amônio na água; (B) Variação de Nitrato na água; (C) Variação de Nitrogênio total na água; (D) Variação de Fosfato na água 198
Figura 9: Pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): (A) Variação de Fósforo Total na água; (B) Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio na água; (C) Variação de clorofila-a na água 201

Lista de Quadros

INTRODUÇÃO

Quadro 1: Usinas cadastradas em operação na microrregião de Quirinópolis, Goiás..... 24
Quadro 2: Definições para "Qualidade do Solo 42
Quadro 3: Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo 43
Quadro 4: Preparo do solo utilizado nos oito pontos amostrais com cultura de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás 57
Quadro 5: Caracterização dos perfis de solo estudados..... 57
Quadro 6: Profundidade e manejo dos horizontes e perfis descritos em campo 59

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Artigo 1: Atributos químicos de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivados com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos e usos antecedentes em Quirinópolis, Goiás

Quadro 1: Preparo do solo utilizado nos oito pontos amostrais com cultura de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás 90
Quadro 2: Caracterização dos perfis de solo estudados..... 91
Quadro 3: Profundidade e manejo dos horizontes e perfis descritos em campo 91
Quadro 4: Quadro síntese dos aspectos físico-químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes tipos de manejos em Quirinópolis, Goiás 98

Artigo 2: Atributos Microbiológicos de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás

Quadro 1: Preparo do solo utilizado nos oito pontos amostrais com cultura de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás 111
Quadro 2: Caracterização dos perfis de solo estudados..... 112
Quadro 3: Profundidade e manejo dos horizontes e perfis descritos em campo 112
Quadro 4: Quadro síntese das Variáveis Físico-Químicas e Biológicas nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes tipos de manejo em Quirinópolis, Goiás 132

Artigo 3: A Fauna Edáfica de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás

Quadro 1: Preparo do solo utilizado nos oito pontos amostrais com cultura de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás 145

Quadro 2: Caracterização dos perfis de solo estudados 145

Quadro 3: Profundidade e manejo dos horizontes e perfis descritos em campo 146

Quadro 4: Distribuição dos grupos taxonômicos na serrapilheira e horizontes, dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico e Distroférrico em Quirinópolis, Goiás 150

Artigo 4: Os aspectos físico-químicos dos córregos Limeira e Do Lajeado em área de cultivo de cana-de-açúcar, em Quirinópolis, Goiás

Quadro 1: Manejo utilizado na cultura de cana-de-açúcar, região de Quirinópolis/GO 186

Lista de Tabelas

INTRODUÇÃO

Tabela 1. Dados do uso e cobertura da terra de 2004 a 2010 26

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Artigo 2: Atributos Microbiológicos de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás

Tabela 1: Atributos físico-químicos do Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico com cana-de-açúcar em 8 perfis com diferentes manejos cultivados e 2 perfis com floresta semidecidual, na região de Quirinópolis, Goiás 114

Tabela 2: Atributos Microbiológicos dos Latossolos Vermelhos Distroférrico e Distrófico com cana-de-açúcar em 8 perfis com diferentes manejos cultivados e 2 perfis com floresta semidecidual, na região de Quirinópolis, Goiás 116

Artigo 3: A Fauna Edáfica de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás

Tabela 1: Grupos taxonomicos mais presentes no perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), em Quirinópolis, Goiás 148

Tabela 2: Número de organismos edáficos presentes na serrapilheira e horizontes (A, AB, BA, Bw_1, Bw_2), nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), em Quirinópolis, Goiás 148

Artigo 4: Os aspectos físico-químicos dos córregos Limeira e Do Lajeado em área de cultivo de cana-de-açúcar, em Quirinópolis, Goiás

Tabela 1: Variação dos resultados das análises físico-químicas e biológicas dos pontos no Córrego Do Lajeado, no período seco..... 187

Tabela 2: Variação dos resultados das análises físico-químicas e biológicas dos pontos no Córrego Do Lajeado, no período chuvoso..... 188

Tabela 3: Variação dos resultados das análises físico-químicas e biológicas dos pontos no Córrego Limeira, no período seco 189

Tabela 4: Variação dos resultados das análises físico-químicas e biológicas dos pontos no Córrego Limeira, no período chuvoso 190

Tabela 5: Variação dos resultados das análises físico-químicas quanto a metais pesados e agrotóxicos dos pontos, no Córrego Do Lajeado, no período seco e chuvoso 203

Tabela 6: Variação dos resultados das análises físico-químicas quanto a metais pesados e agrotóxicos dos pontos, no Córrego Limeira, no período seco e chuvoso 204

RESUMO

A expansão da cultura da cana-de-açúcar no Brasil vem sendo impulsionada em direção à região Centro-Oeste brasileira, em particular para os estados de Mato Grosso do Sul (MS) e Goiás (GO), desde o final do século passado. Goiás se destaca nesse processo, estando hoje entre os três estados com maior área cultivada e produção. A mesorregião sul se sobressai, sobretudo a microrregião de Quirinópolis (MRQ), onde o processo se iniciou em 2004, substituindo áreas de grãos e pastos. Esta pesquisa tem por objetivo analisar a influência das diferentes práticas de manejos no cultivo de cana-de-açúcar na MRQ, utilizando-se de indicadores biológicos e físico-químicos sensíveis, a qualidade da água e dos solos, visando contribuir com parâmetros para modelos sustentáveis dessa expansão canavieira. Foram selecionados oito sítios amostrais em áreas ocupadas por solos do tipo Latossolo Vermelho Distrófico e Distroférrico, com usos anteriores de soja, pasto e pasto/soja, e paralelamente, mais dois perfis como referência, com vegetação nativa, do tipo Floresta Semidecidual, antes dominante. Também foram selecionados dois mananciais próximos da cultura de cana-de-açúcar, com coletas a montate e a jusante de cada canal. As descrições e coletas de amostras de solos e águas foram realizadas em setembro 2010 e março de 2011. Procedeu-se análise físicas, químicas e biológicas de solos e águas aplicando métodos de Pedologia, Ecologia e Biologia. Concluiu-se que as diferentes práticas agrícolas influenciam diretamente na dinâmica do solo e da água, desequilibrando as biotas, devido modificação nos seus atributos físico-químicos e biológicos e que a sucessão de uso soja/cana evidenciou bioindicadores. O mesmo se aplica à água, embora estas ainda não possam ser consideradas poluídas segundo parâmetros do CONAMA.

Palavras-chaves: Qualidade do solo, qualidade da água, bioindicadores

ABSTRACT

The expansion of the culture of sugar cane in Brazil is being driven towrds the Brazilian Midwest, particularly in the states of Mato Grosso do Sul (MS) and Goiás, since the end of last century. Goiás stands out in this process, but is now among the three states with the largest cultivated area and production. South mesoregion excels, especially micro-Quirinopolis (MRQ), where the process began in 2004, replacing grain areas and pastures. This research aims to analyze the influence of different management practice in the cultivation of cane sugar in the MRQ, using sensitive biological and physico-chemical indicators of water quality and soil, to contribute to sustainable models with parameters that sugarcane expansion. Eight sampling sites were selected in areas occupied by soil type Red Oxisol dystrophyc and distroferric, with previous uses of soybeans, pasture and pasture / soybean, and in parallel, two profiles as a reference, with native vegetation, the type Semidecidual Forest, once dominant. Were also selected two stocks next crop of sugar cane, collections with the Montate and downstream of each channel. Descriptions and Samples of soil and water were carried out in September 2010 and March 2011. Proceeded physical, chemical and biological analysis of soil and water by applying methods of Pedology, Biology and Ecology. It was concluded that different agricultural practices directly influence the dynamics of soil and water, unbalancing the biota, due to change in their physico-chemical and biological attributes that succession soy / sugar use biomarkers showed. The same applies to the water, but these can not yet be regarded as polluted by CONAMA parameters.

Key words: Soil quality, water quality, bioindicators

INTRODUÇÃO

A expansão da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) no cenário agrícola brasileiro tem sido impulsionada por tecnologias que contribuem para a redução de custo de produção e uma maior produtividade (SCHULTZ *et al.*, 2010). Tal expansão vem se dando em direção à região Centro-Oeste, em particular nos estados de Mato Grosso do Sul (MS) e Goiás (GO) (CONAB, 2011/2012), onde ocorrem grandes extensões em área com condições edafoclimáticas e logísticas (incluindo melhoria e expansão) favoráveis (CASTRO *et al.*, 2010; SILVA, CASTRO, 2010; SILVA, CASTRO, 2013).

Segundo Manzatto *et al.* (2009), no Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar (ZAE) o Brasil teria 64 Mha de áreas com aptidão média a alta para o cultivo de cana-de-açúcar, das quais 12 Mha estariam em Goiás, sobretudo na porção sul e central, onde se inclui a Microrregião de Quirinópolis (MRQ), levando a deduzir que as áreas de expansão correspondem a cerca de 37% de todo território estadual, corroborando interpretação anterior similar de Castro *et al.*, (2007) retomada em 2010.

Segundo dados do CANASAT/INPE (2009), o município de Quirinópolis, juntamente com Gouvelândia, situados na porção Sudoeste da região Sul do Estado de Goiás e que integram a microrregião de Quirinópolis (MRQ), lideram a nova centralidade do setor no Estado e no país, no qual a cana chegou em 2004 (BORGES 2011). Quirinópolis, em particular, se destaca como o principal município em área plantada no Estado e já superou o município de Santa Helena de Goiás, o qual durante muito tempo liderou o *ranking* da produção de cana no estado de Goiás.

A história da cana-de-açúcar em Goiás, não é recente, pois em 1935 já havia cerca de 1400 engenhos nos municípios goianos (SANTOS, 1987), a produção aumentou gradativamente até 1988, tendo alcançado o declínio em 1995 e daí em diante tendo experimentado novo e notável crescimento, sendo um dos principais eixos da recente expansão de fronteira da cana-de-açúcar no país e no Cerrado. Tanto é assim que na safra de 1995/1996 apresentou uma produção de seis milhões de toneladas, na safra 2008/2009 saltou para uma produção de 29 milhões de toneladas e continua crescendo. Na safra 2009/2010 alcançou 40 milhões de toneladas, passando a 46 milhões de toneladas na safra 2010/2011, a 48 milhões de toneladas na safra 2011/2012, e tem uma previsão de 51 milhões de toneladas para atual safra 2012/2013 (CONAB,

2012). Isso significa um incremento da ordem de 850% no período, tendo por base a safra 1995/1996 (BORGES, 2011).

Na Mesorregião Sul do Estado, as microrregiões com maior área plantada na atualidade são Sudoeste de Goiás, Meia Ponte e Quirinópolis. Estudos de Abdala e Castro (2010) e Castro *et al.* (2010) demonstraram que na microrregião Meia Ponte a expansão da cana-de-açúcar se deu através de substituição de culturas, principalmente de soja e, secundariamente, pastagem. Esse processo já havia chamado a atenção de Nassar *et al.* (2008) e também foi confirmado recentemente por Ferraz (2012).

A expansão inicial da cana-de-açúcar na MRQ se inicia em 2004, com a primeira safra colhida em 2006/2007, e prossegue até os dias atuais. Possui sete usinas, estando quatro em operação e três em implantação, e já provocou mudanças significativas na forma de uso e ocupação das suas terras, que refletem na mudança da paisagem, evidenciada pela substituição de culturas e pelo aumento da área de produção (BORGES, 2011), a qual passou de 5,6 mil ha em 2006/2007 para 254,8 mil ha na safra de 2011/2012, um incremento de área plantada da ordem de 4550% (CANASAT, 2012), valores extraordinários e incomparáveis no estado, no bioma Cerrado e mesmo no país.

A MRQ que se tornou o novo *hotspot* da expansão da cana (BORGES, 2011), apesar de apresentar predomínio de Latossolo Vermelho e Vermelho Amarelo, caracterizados como de aptidão média para a cultura canavieira, e que antes eram ocupados com agricultura, sobretudo de grãos e em particular de soja, e pastagem. Tais características são, entretanto, compensadas pela logística instalada e projetada (SILVA; CASTRO 2011 e FERRAZ, 2012).

Estudos recentes sobre indicadores da sustentabilidade da expansão canavieira para a região do Sul Goiano de Ferraz (2012) revelam que a cana-de-açúcar tem prioritariamente se expandindo sobre as áreas com declividades inferiores a 12% (dominantes na MRQ), as quais favorecem a mecanização de praticamente todas as fases do ciclo produtivo da cana-de-açúcar, e que o balanço entre a disponibilidade hídrica e a demanda de água da atividade canavieira deixa boa margem, em termos de atendimento da demanda hídrica, para que a cultura canavieira possa se desenvolver de forma sustentada, independente do sistema de produção praticado.

Portanto, em termos de impactos ambientais da expansão canavieira, a qualidade da água e do solo, em consequência das práticas de manejo, chama mais a atenção do que a disponibilidade hídrica, considerando-se que a MRQ já foi submetida a uma primeira grande conversão dos ecossistemas naturais em pastagens e em agricultura de

grãos, sobretudo soja e milho, dos anos de 1970/1980, logo bem antes de 2004, o que certamente alterou muito a biodiversidade de ambos.

O manejo inadequado do solo, ao longo do tempo, pode trazer sérias consequências, exaurindo-o de suas reservas orgânicas e minerais, transformando-o em terras de baixa fertilidade e promovendo compactação (MATSUOKA *et al.*, 2003), além de erosão do solo, podendo tornar a área imprópria para um cultivo subsequente (ANDRADE, 1982). Assim, o histórico de uso e manejo do solo e recursos hídricos requer um monitoramento rigoroso nas áreas cultivadas atualmente com cana-de-açúcar, adotando-se indicadores de sustentabilidade de produção e dos efeitos no ambiente ao longo dos anos de exploração (JENDIROBA, 2006).

Os sistemas de cultivo convencional consistem em sucessivas operações do solo que o deixam pronto para receber a cultura da cana-de-açúcar, em que as atividades mais utilizadas são a distribuição dos corretivos, aração, gradagem pesada, subsolagem e gradagem niveladora (GONÇALVES, 2006). Este tipo de manejo pode ocasionar alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de elevar as taxas de erosão hídrica, resultantes das chuvas que encontram o solo desnudo (NUNES, 2010). Por outro lado, os processos de colheita (mecanizada e manual) podem causar alterações no ciclo energético e biogeoquímico dos ecossistemas, além de efeitos negativos na agregação e atividade biológica do solo (BARBOSA, 2010).

Segundo Doran; Parkin (1994), em ecossistemas naturais ou agrícolas, qualidade do solo é a capacidade que um determinado tipo de solo apresenta, para desempenhar uma ou mais funções relacionadas à sustentação da atividade, da produtividade e da diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente, à promoção da saúde das plantas e dos animais e à sustentação de estruturas socioeconômicas e de habitação humana. Um solo equilibrado proporciona à planta um crescimento vigoroso e oferece condições para expressar todo seu potencial genético de produção.

Nesse sentido, existem diversos atributos químicos, físicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados à modificação da qualidade do solo no tempo e espaço. Deve-se ressaltar que qualquer alteração pode modificar diretamente a estrutura e a atividade biológica e, consequentemente, a fertilidade, com reflexo nos agroecossistemas, podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas (BROOKES, 1995).

Entre os sistemas agrícolas estabelecidos, o cultivo da cana-de-açúcar se destacou pela grande expansão nas décadas de 1970-80 na região Sudeste do país, em

especial no estado de São Paulo e, novamente nos últimos anos, em diversas regiões do País, principalmente, em estados da região Centro-Oeste, o que tem mudado o perfil da produção agropecuária desses locais.

Ainda que diversos trabalhos tenham demonstrado incrementos da biomassa e atividade biológica em solos cultivados no sistema de plantio direto, quando comparado ao sistema convencional, em diferentes agrossistemas (MATSUOKA *et al.*, 2003; MERCANTE *et al.*, 2004; FRANCHINI *et al.*, 2007; MERCANTE *et al.*, 2008), os estudos ainda são escassos em determinados sistemas produtivos, como o da cana-de-açúcar, tornando-se de fundamental importância a avaliação dos indicadores mais sensíveis às práticas de manejo, como a qualidade dos recursos naturais envolvidos, visando o monitoramento dos impactos positivos ou negativos sobre o solo, determinando opções de manejos mais sustentáveis para esta cultura nas regiões produtoras do País (JUNIOR, 2012).

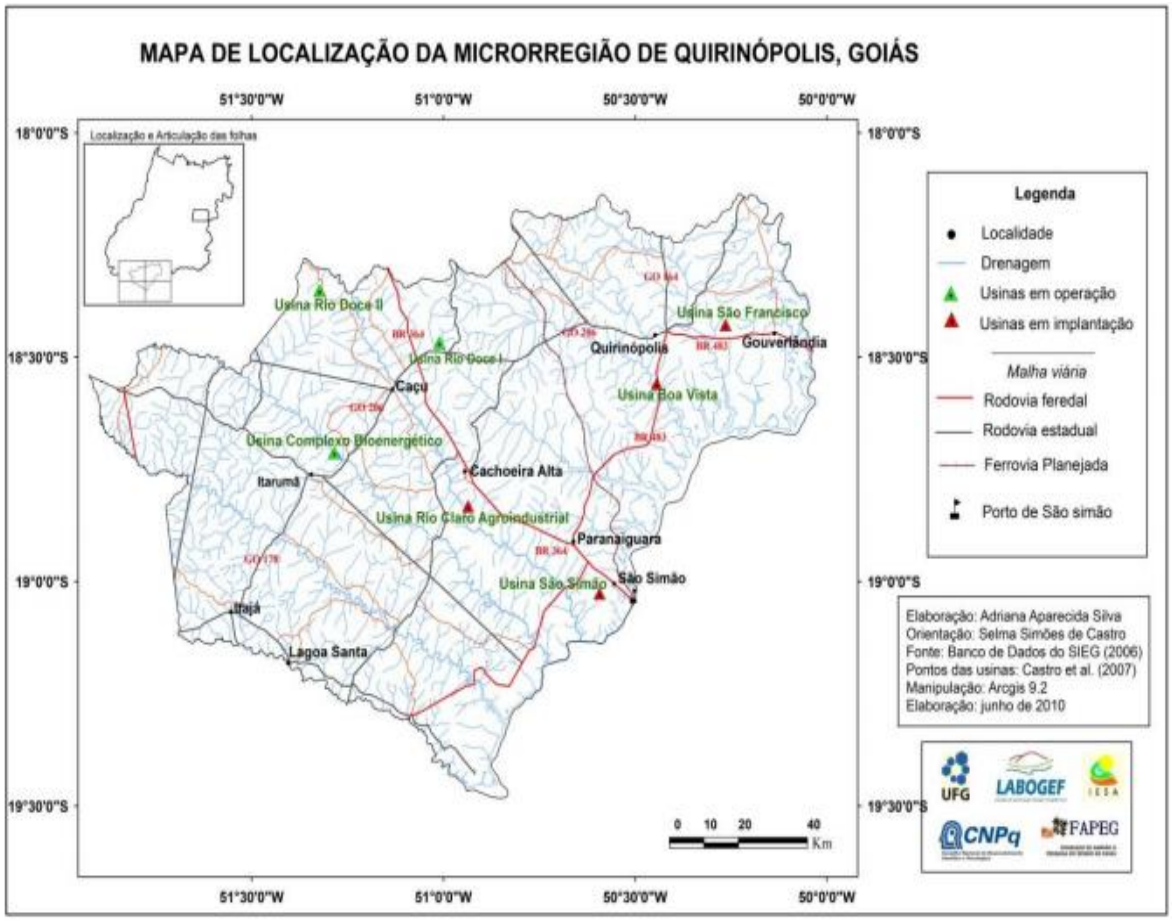
Em consequência do exposto, o objetivo geral desta pesquisa é analisar a influência das diferentes práticas de manejos no cultivo de cana-de-açúcar, em Quirinópolis, Goiás, utilizando-se de indicadores biológicos e físico-químicos sensíveis, a qualidade da água e dos solos, visando obter modelos de sistemas produtivos mais sustentáveis da expansão canavieira recente.

1.1. Caracterização da Área de pesquisa

1.1.1. Caracterização do meio físico da região de Quirinópolis, Goiás

A MRQ localiza-se na região de planejamento denominada de Sudoeste de Goiás, pertencente à mesorregião Sul Goiano. Possui uma área total de 16.068,103 km² e é composta por nove municípios: Cachoeira Alta, Caçu, Gouvelândia, Itajá, Itarumã, Lagoa Santa, Paranaiguara, Quirinópolis e São Simão. Como diferencial no setor agrícola, apresenta vantagens logísticas para a distribuição e escoamento da produção, uma vez que nela se situa o Porto de São Simão, o qual integra trecho da Hidrovia Paranaíba-Tietê-Paraná, o poliduto (gasoduto, petroduto e alcoolduto) procedente da Bolívia e que interliga Campinas (SP) a Brasília (DF), passando pela mesorregião Sul Goiano no município de Senador Canedo, pertencente à região Metropolitana de Goiânia, além das rodovias pavimentadas GO 164, que se liga à BR 060 e 452 e GO 206, que se liga por sua vez à BR 364 e 483 (figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da microrregião de Quirinópolis, Goiás, indicando a hidrografia, o sistema viário principal e a localização das usinas em 2010.



Fonte: Silva (2012)

A MRQ possui sete usinas instaladas, sendo que quatro se encontram devidamente cadastradas junto ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento e outras três se encontram em processo de licenciamento (MAPA, 2012). As usinas cadastradas e já em operação estão citadas no quadro 1 e na figura 1.

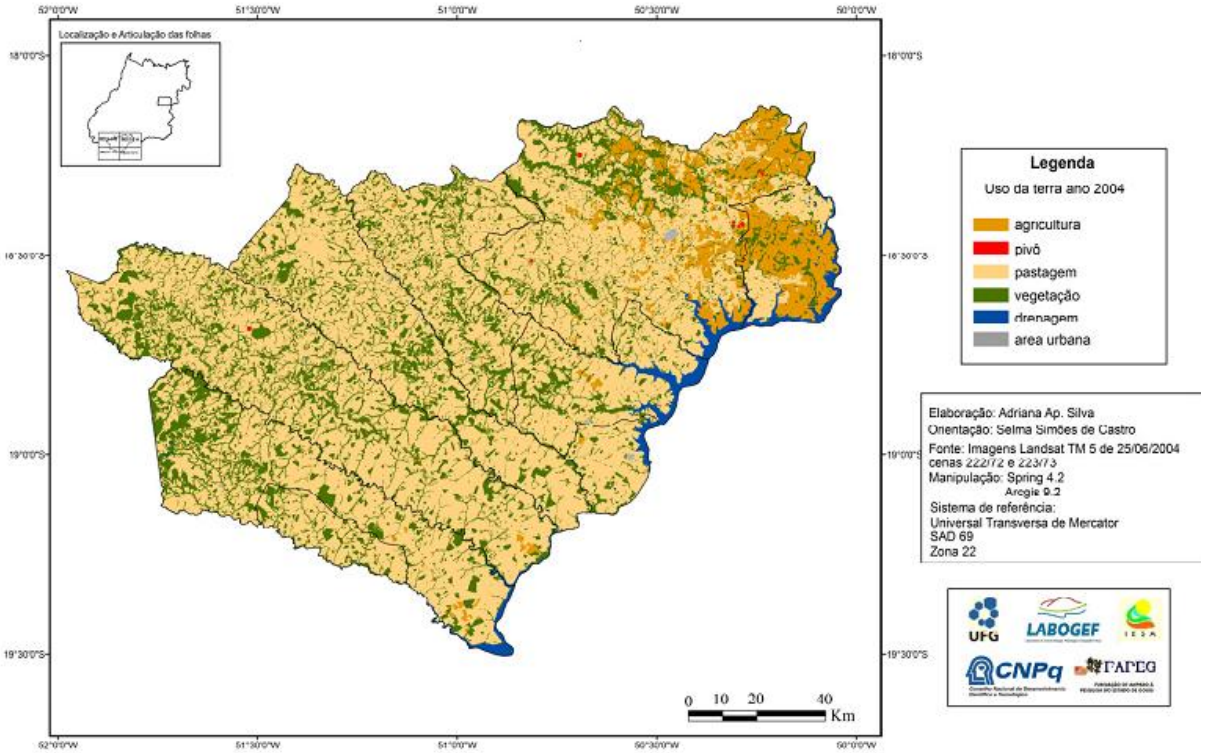
Quadro 1. Usinas cadastradas e já em operação na microrregião de Quirinópolis, Goiás.

USINAS	LOCALIZAÇÃO	PRODUÇÃO
Usinas São Francisco Razão Social U.S.J. Açúcar e Álcool S/A Registro: 22/03/2006	Município de Quirinópolis	Produção mista de açúcar, etanol e energia
Usina Boa Vista Razão Social usina Boa Vista S/A Registro: 18/04/2008	Município de Quirinópolis	Produção de Etanol
Usina São Simão Razão Social Energética São Simão S/A Registro: 25/06/2008	Município de São Simão	Produção mista de açúcar e etanol
Usina Rio Claro Razão Social Rio Claro Agroindustrial S/A Registro: 03/08/2009	Município de Caçu	Produção de etanol
Usina Rio Doce I	Município de Cachoeira Alta	Fase de implantação
Usina Rio Doce II	Município de Caçu	Fase de implantação
Usina Complexo bioenergético	Município divisa Caçu e Itarumã	Fase de implantação

Segundo Borges, (2011) o início do processo de inserção da cana-de-açúcar para produção sucroalcooleira na MRQ data de final de 2004, através da aquisição de terras e formalização de contratos com fornecedores, e cujo início da produção deu-se de fato em 2006 para colheita em 2007, quando se obteve uma área de produção de 5.688 ha, sendo 2.270 ha no município de Gouvelândia e 3.418 ha em Quirinópolis. Na safra 2007/2008 a área de produção passou para 21.633 ha com predominância em Quirinópolis e Gouvelândia, porém, com a inserção de outros dois municípios, São Simão e Paranaiguara. Na safra 2008/2009 segundo dados da CONAB, a área de produção já abrangia seis municípios: incluindo Caçu e Itarumã à lista anterior, cobrindo uma área total de 42.542 ha. Na safra 2009/2010, um sétimo município inicia a produção, Cachoeira Alta, totalizando uma área de produção de 86.401 ha, que na safra 2010/2011 chega a 104.226 ha.

O mapa (figura 2) de uso das terras da MRQ em 2004 evidencia que predominavam as áreas destinadas ao cultivo de pastagens extensivas 1.166.208 ha ou 72,58% da área da microrregião, seguida das culturas temporárias com 149.585 ha ou 9,31%, com destaque para a cultura da soja, além de 10 pivôs de irrigação agrícola, que representavam 0,05% da área (Tabela 1). As áreas de cultivo da soja se localizavam a leste da microrregião, preferencialmente nos municípios de Quirinópolis e Gouvelândia e as áreas de pastagem na porção central e oeste (SILVA; CASTRO, 2011).

Figura 2. Mapa de uso da terra em 2004 da microrregião de Quirinópolis, Goiás.



Fonte: Castro;Silva (2011), Silva (2012)

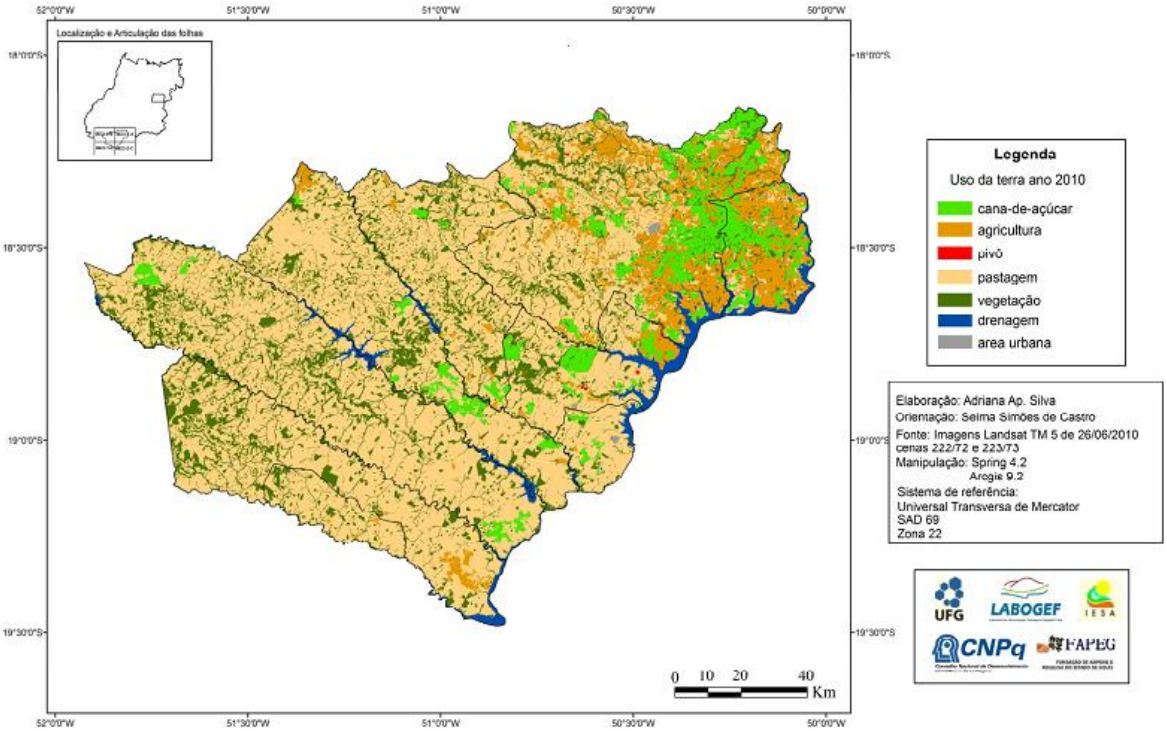
Ainda de acordo com Silva (2012) e Silva e Castro (2011) o mapa (figura 3) de uso da terra de 2010, representa uma nova paisagem, com grandes mudanças decorrentes, em grande parte, da inserção da cana-de-açúcar. As áreas de pastagem reduziram em 20,59%, passando a 926.003 ha, assim como o número de pivôs de 10 para apenas 5. No entanto, as áreas de agricultura de grãos aumentam em 79,21%, chegando a 268.072 ha, demonstrando que mesmo com a inserção da cana, que representa 7,23% da área, a tradição da cultura de grãos permanece (Tabela 1).

Tabela 1. Dados do uso e cobertura da terra de 2004 a 2010

Tipo de uso	2004 Área em ha	% da microrregião	2010 Área em ha	% da microrregião
Agricultura	149.585,741	9,31	268.072,572	16,68
Pivô	769,441	0,05	586,901	0,03
Pastagem	1.166.208,300	72,58	926.003,100	57,63
Cana-de-açúcar	0	0	116.003,007	7,23
Vegetação natural	247.932,100	15,42	247.225,400	15,38
Drenagem	40.465,910	2,52	47.070,512	2,93
Área urbana	1.841,807	0,12	1.841,807	0,12
Total	**1.606.803,300**	**100**	**1.606.803,300**	**100**

Fonte: Mapas elaborados sobre imagens Landsat 2004 e 2010/Castro; Silva (2011)

Figura 3. Mapa de uso da terra de 2010 da microrregião de Quirinópolis, Goiás.



Fonte: Castro;Silva (2011), Silva (2012)

Os últimos dados disponíveis se referem à safra 2011/2012 quando um novo município é inserido no processo produtivo, Itajá, com área inicial de 674 ha, compondo a produção da microrregião que atinge 125.896 ha nessa safra (CANASAT, 2012).

Considerando-se essa área total de cultivo na safra 2011/2012, o processo de expansão foi da ordem de 2.213% neste curtíssimo período de seis anos. É indiscutível o destaque para o município-sede, Quirinópolis, com 38,31% da área plantada de

produção, seguido por Gouvelândia com 18,46% e por Caçu, que atualmente representa 15,78% da área de produção total da MRQ.

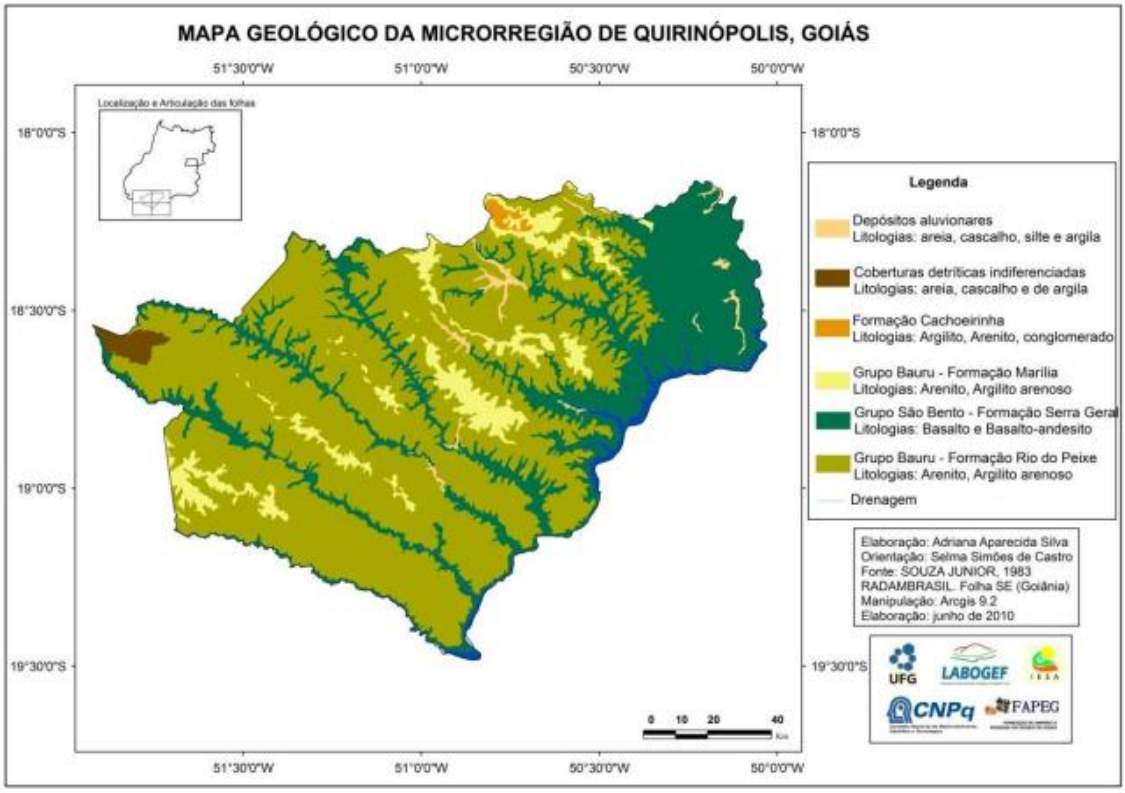
Dentre os municípios da MRQ, apenas Lagoa Santa permanece até o momento sem registro de áreas cultivadas com cana-de-açúcar ou instalação de usinas. Em contrapartida, outros três se destacam entre os dez municípios com maior área de produção de cana-de-açúcar do estado, que alcança em 2012 pouco mais de 730.000 ha de área plantada, sendo eles: Quirinópolis com área de produção de 48.233 ha e Gouvelândia com área de produção de 23.245 ha, além de Caçu com área de 20.261 ha, respectivamente primeiro, sexto e décimo no ranking estadual (CANASAT, 2012) (figura 3). Os três juntos apresentam uma participação de 12,44% sobre a área total de produção do estado. Uma das razões para a expansão da cana-de-açúcar nessa microrregião se deve ao fato de apresentar características edafoclimáticas favoráveis à cultura considerando o nível de manejo altamente tecnificado, como é o caso da cana-de-açúcar, o que se traduz em elevada aptidão agrícola (BORGES *et al.*, 2010; BARBALHO *et al.* 2013).

As referidas condições indicam que MRQ se apresenta com clima Tropical Quente Sub-úmido, do tipo Aw, com duas estações bem definidas e variações anuais significativas quanto à umidade, precipitação e temperatura, de acordo com a tipologia climática estabelecida por Kõppen (1918). Apresenta chuvas de verão (outubro a março) e inverno seco (junho a setembro), com transições entre períodos úmidos e secos, com volume total de 1700 mm e uma amplitude térmica de cerca de 15º (AGRITEMPO, 2011) clima altamente favorável ao cultivo da cana-de-açúcar (Oliveira, 2006).

Em relação à geologia, dominam na microrregião as unidades geológicas representadas pelos basaltos do Grupo São Bento/Formação Serra Geral (Cretáceo) e os arenitos do Grupo Bauru/Formação Rio do Peixe e Formação Marília (Cretáceo superior). Existem ainda, traços da cobertura detrítico-laterítica de textura argilosa, localizados nos topos das superfícies mais elevadas. Tal substrato geológico, forma planaltos com cotas que se encontram niveladas predominantemente a cerca de 650-750m, conhecidos como chapadas e chapadões, podendo ser localmente superiores a 800 metros de altitude. Há predomínio de litologias do tipo arenito e argilito-arenoso em praticamente toda a extensão, com intrusões de rochas basálticas a nordeste e ao longo das falhas, além de lineamentos, onde se instalaram os principais canais de drenagem (SOUZA JÚNIOR, 1983) (figura 4). Essas rochas deram origem a solos de

aptidão agrícola e relevos suavizados aptos para o cultivo da cana, sobretudo na porção nordeste-leste, justamente onde situam Quirinópolis e Gouvelândia.

Figura 4. Mapa geológico da microrregião de Quirinópolis, Goiás.



Fonte: Silva (2012)

A MRQ se insere na Unidade Geomorfológica denominada de Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná (MAMEDE *et al.*,1983). Na região, este é representado por três níveis topográficos escalonados, com altitudes decrescentes. Segundo Latrubesse e Carvalho (2006), o nível mais elevado (superior a 1000m de altitude) corresponde aos Morros e Colinas (MC) e às Zonas de Erosão Recuante (ZER), sendo ambos muito dissecados e residuais compondo faixas estreitas. Em altitudes entre 400 e 1000 metros situam-se o segundo, terceiro e quarto níveis correspondentes às Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA).

A primeira, SRA IIB, mais alta, posicionada entre 800 e 1000m de altitude e ocupando menor área, caracteriza os Relevos Tabulares Residuais localmente denominados de Serras da Confusão do Rio Preto e Serra do Rosa, localizadas na porção mais central da MRQ, além de outras de menor relevância regional. Constitui os

principais divisores de águas das bacias hidrográficas locais e apresenta uma disposição alongada e relativamente paralela aos canais. Dominante e distribuída por quase toda a área segue-se a SRA IIIB, mais baixa que a anterior, variando de 650 a 750 m de altitude, de dissecação de média a fraca correspondente aos Relevos Tabulares na Bacia do Paraná. Nestes dois níveis topográficos dominam os arenitos. O quarto nível refere-se a SRA IVB, situada a nordeste, ainda mais baixa, entre 400 e 550 m, considerada de dissecação fraca, e associada ao relevo rebaixado da Bacia do Paraná, contendo os sistemas lacustres associados que bordejam as planícies. Nessa superfície dominam os basaltos e solos derivados. Segue-se o fundo de vale com suas planícies que acompanham o rio Preto e São Francisco caracterizado como sistema agradacional (figura 5).

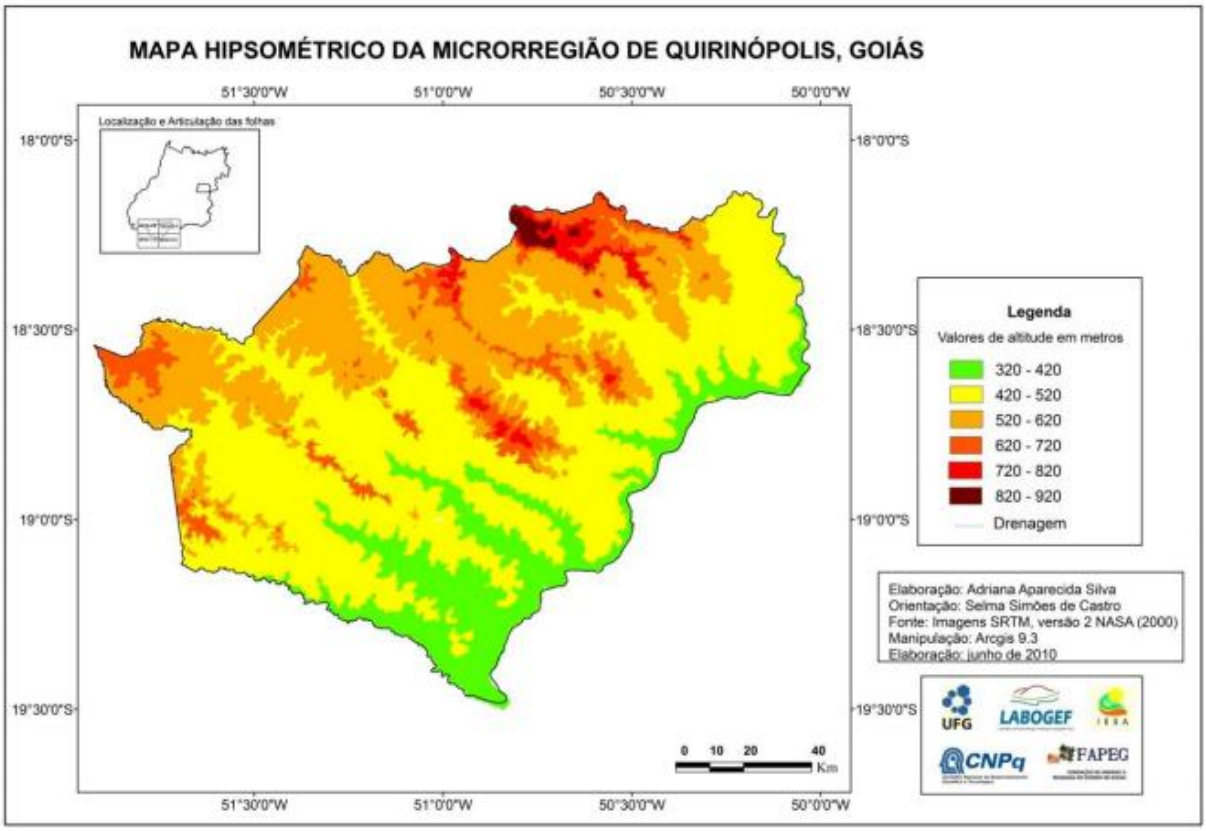
Figura 5. Mapa geomorfológico da microrregião de Quirinópolis, Goiás.

Fonte: Silva (2012)

De acordo com Silva (2012), a hipsometria da área pode ser compartimentada em seis unidades altimétricas, considerando intervalos de 100 m de equidistância, os quais são considerados adequados para representação de grandes conjuntos

topográficos. Dos mais baixos para os mais altos tem-se o compartimento com altitudes variando entre 320 a 420 m, relativo às áreas dos canais de drenagem, principalmente à planície do Rio Preto. O seguinte, com cotas de 420 a 520 m abarca as áreas de menor altitude da SRA IVB com dissecação fraca e as zonas com maior dissecação da SRA IIIB. O compartimento seguinte, com cotas entre 520 a 620 m, destaca as zonas com menor dissecação da SRA IIIB, relativas às zonas de topo. Os compartimentos com cotas 620 a 720, 720 a 820 e 820 a 920 encontram-se na SRA IIB e na 27ZER, evidenciando a Serra do Paredão, a Serra da Confusão do Rio Preto e da Serra do Rosa. Pode-se perceber que tais superfícies são suaves como demanda o plantio de cana-de-açúcar para colheita mecanizada (figura 6).

Figura 6. Mapa hipsométrico da microrregião de Quirinópolis, Goiás.

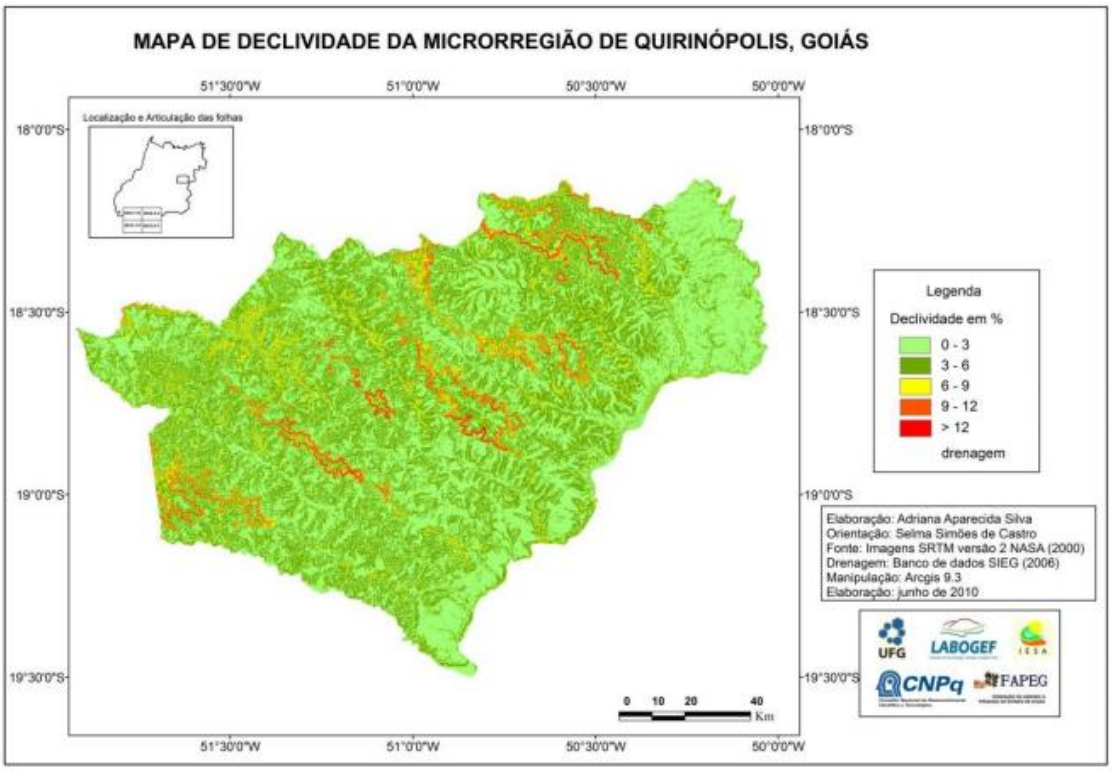


Fonte: Silva (2012)

Utilizando-se de imagem SRTM (*Shutlle Radar Topographic Mission*) com equidistância de 60 metros, Silva (2012) elaborou o mapa da declividade da MRQ cujas classes distribuem-se e: 0 a 3%, 3 a 6% 6 a 9%, 9 a 12% e > 12% (figura 7). Observa-se

que predominam os baixos declives, em geral inferiores a 6%, com destaque para os declives de 3 a 6%, considerados bastante favoráveis para a agricultura altamente tecnificada, como no caso da cana-de-açúcar. As declividades superiores a 9% representam apenas pequenas faixas que se encontram nos sopés das serras, dentre as quais: Serra da Confusão e a Serra do Paredão.

Figura 7. Mapa de declividade da microrregião de Quirinópolis, Goiás.



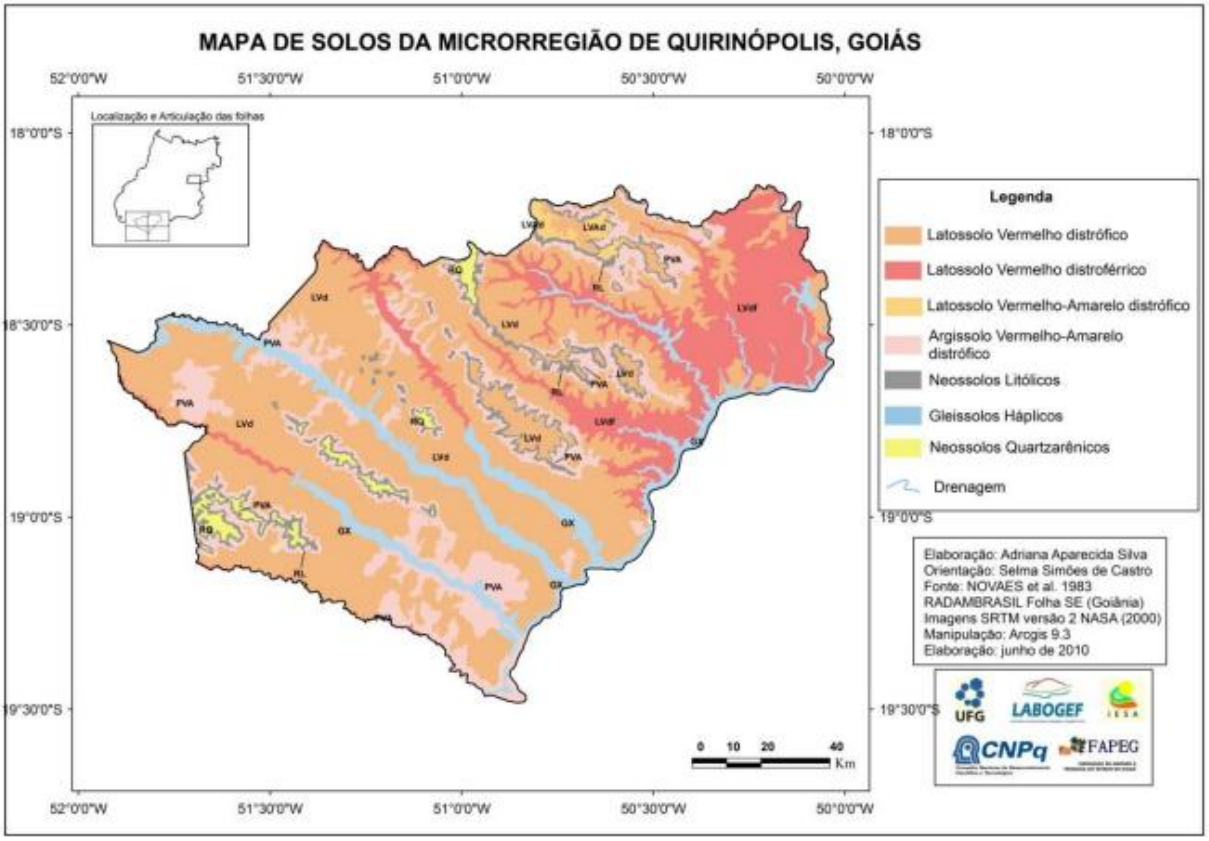
Fonte: Silva (2012)

Silva (2012) elaborou o mapa de solos por compilação de diversos documentos e ajuste com o SRTM, identificando na MRQ as seguintes classes (figura 8): Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf), Latossolo Vermelho distrófico (LVd), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), Argissolos Vermelho-Amarelo distróficos (PVAd), Neossolos Litólicos (RL), Gleissolos Háplicos (GX) e Neossolos Quartzarênicos (RQ). Dentre os quais se destacam em termos de área de importância no processo de expansão da cana-de-açúcar da MRQ os LVd e os LVdf).

Os LVd são caracterizados como solos profundos a muito profundos, bem drenados friáveis e bastante porosos. Sua estrutura se caracteriza por ser fracamente

desenvolvida, pequena a muito pequena e granular, raramente com blocos subangulares, o que lhe confere um aspecto maciço. Apresenta-se na cor vermelho-escuro (2,5 YR) com grande variação textural. Quando associados aos arenitos do Grupo Bauru apresentam textura média, com teor de argila variando entre 12 e 31%. Tais solos podem se apresentar com caráter alumínico, em estado dessaturado, com problemas críticos quanto à deficiência de nutrientes, necessitando de correção da fertilidade natural (NOVAES *et al.*, 1983).

Figura 8. Mapa de solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás.



Fonte: Silva (2012)

Os LVdf se assemelham ao LVd, exceto por apresentarem alto teor de ferro, no geral teores de Fe_2O_3 (pelo H_2SO_4) de 180g/kg a < 360g/kg na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, em virtude da rocha de origem (basalto). Têm horizonte A moderado, textura argilosa e horizonte B latossólico com cores relativas aos tons vermelho-escuro (matiz 2,5YR e 10R), estrutura microagregada, muito pequena e pequena granular, fraca, com aspecto maciço e altamente porosa. Apresentam ainda alta

capacidade de retenção de umidade. São solos de textura argilosa, bem drenados e aerados (EMBRAPA, 2006).

A MRQ faz parte da Bacia Hidrográfica do Paraná sendo muito rica em sua rede de drenagem. A área é composta por 16 sub-bacias. Os principais rios da região correm entre os residuais areníticos da Formação Marília, do Grupo Bauru e correm em direção à calha coletora (NW-SE) do rio Paranaíba. Por se encaixarem nas rochas sedimentares, a drenagem reflete o padrão paralelo das fraturas e falhamentos de direção NW-SE encontradas nas rochas da região. Na parte SE encontramos a barragem de São Simão, no rio Paranaíba, divisor dos municípios da microrregião com o Estado de Minas Gerais. Os principais rios desta região são: rio dos Bois, São Francisco, Preto, Claro, Doce, Corrente, Aporé, Tijuco, Verde e Arantes (SOUZA JUNIOR *et al.*, 1983).

Em relação à hidrogeologia, na região de estudo ocorrem dois tipos de unidades hidrogeológicas, as quais são responsáveis pelo armazenamento e fornecimento de águas subterrâneas (aqüíferos). Uma de domínio poroso, relacionada ao Aqüífero Bauru, e outra de domínio fraturado, relacionada ao Aqüífero Serra Geral. As de domínio poroso são muito suscetíveis à contaminação, já que agem como um filtro depurador natural. Os aqüíferos da região são aproveitados para a instalação de poços tubulares (SOUZA JUNIOR *et al.*, 1983). Em campo constata-se que muitas usinas têm poços tubulares para extração de água subterrânea, além dos córregos, mas não tivemos acesso aos dados em tempo hábil do presente trabalho.

1.1.2 Caracterização do meio biótico da região de Quirinópolis, Goiás

Cobertura Vegetal

Em relação às formações vegetais originais na MRQ ocorriam formações do tipo Floresta Estacional semidecidual, sobre os solos argilosos (LVdf), zonas aluviais com domínio dos Gleissolos háplicos (GX) e, no restante, as formações típicas do Cerrado (Savana Tropical), sobre os arenitos e solos associados (LVd e LVAd), caracterizado pelas fisionomias de Savana Florestada, Savana Arborizada, Savana Parque e Savana Gramíneo-lenhosa (WWF, 2000; WWF, 2008). Grande parte desta região, no entanto, se caracterizava por apresentar áreas relativas a zonas de transição ou áreas de tensão ecológica entre a Floresta Estacional semidecidual e o Cerrado, as quais se localizavam, principalmente, na porção noroeste da microrregião (figura 9).

Figura 9. Mapa de vegetação original da microrregião de Quirinópolis, Goiás.

Fonte: Silva (2012)

A Floresta Estacional Semidecidual ou Floresta tropical subcaducifólia é observada em áreas com sazonalidade climática marcada por duas estações, sendo uma com característica tropical com chuvas intensas de verão seguidas por estiagem acentuada e prolongada, e outra com característica subtropical, ou seja, com seca fisiológica causada pelas baixas temperaturas no inverno, sendo estas inferiores a 15ºC. Já as formações de Cerrado, segundo Ribeiro *et al.*(1998/2002) (Savana Florestada, Savana Arborizada, Savana Parque e Savana Gramíneo-lenhosa), ocorrem preferencialmente em clima tropical estacional, no qual cerca de seis meses do ano são marcados pela seca.

Segundo Carneiro *et al.* (2012), a microrregião de Quirinópolis no ano de 2010 apresentava a pastagem como atividade predominante, cobrindo 64% da área total seguida pela agricultura com 16% da área, em que 7% destes já se referem às áreas de cana-de-açúcar e por fim, a vegetação remanescente que ocupava apenas 16% da paisagem (incluídas as Áreas de Preservação Permanente – APP). Estes 16% estão em desacordo com a legislação, pois estados localizados no bioma Cerrado, a

obrigatoriedade da Reserva Legal é de 20% da área na forma de remanescentes, além das áreas de APP. Em relação ao número de fragmentos remanescentes possuía 5.890, seguindo-se a pastagem e a agricultura com 1.560 e 1.472 fragmentos respectivamente. Apesar do grau de fragmentação, os fragmentos de Cerrado ainda apresentam conectividade física, fator importante para a conservação.

Nestas áreas de floresta Estacional Semidecidual da microrregião de Quirinópolis, as espécies arbóreas mais freqüentes são: João-mole (*Neea sp*), catiguá (*Trichilia catigua*), ipê-branco (*Tabebuia róseo-alba*), pau-d'óleo (*Copaifera langsdorfii*), aroeira (*Miracruduom urundeuva*), cazileiro (*Platypodia elegans*), bacupari-da-mata (*Cheiloclinum conginatum*), camboatá (*Cupania vernalis*),canjica (*Swartia sp*), amescia (*Protium heptapghyllum*), fruta-de-jacu (*Casearia sp*), açoita-cavalo (*Luehea sp*), mutamba (*Guazuma ulmifolia*), angico (*Anadenanthera peregrina*), cabriteiro (*Rhamnidium elaeocarpa*), goiabinha-da-mata (*Psidium sp*), jacarandá-branco (*Machaeria sp*), pau-marfim (*Agonandra brasiliensis*) e jatobá-da-mata (*Hymenea coubaril var. stibocarpa*) (DBO ENGENHARIA, 2004).

Fauna

O bioma Cerrado refletia-se em uma considerável diversidade de habitats para a fauna, devido principalmente à grande variedade das fitofisionomias típicas. Em meados da década de 50 as pressões ambientais sobre o cerrado aumentaram de forma expressiva, impulsionadas pela expansão das fronteiras agrícolas para a região central do país. Há pouco tempo o cerrado foi classificado como sendo um *biodiversity hot spot* (CONSERVATION INTERNATIONAL, 2013). Destaca-se neste bioma a presença considerável de espécies carnívoras como diversas aves de rapina, o Lobo-guará (*Chysocyon brachyurus*), a onça-pintada (*Panthera onca*) e o puma (*Puma concolor*). Estas espécies geralmente são tidas como boas indicadoras da qualidade ambiental (BIERREGAARD, 1995; CAVALCANTI, 2000; DBO ENGENHARIA, 2004).

Segundo o trabalho da DBO Engenharia (2004), EIA/RIMA da Usina São Francisco Açúcar e Álcool S/A, na área de pesquisa foram levantados - grupo de Herpetofauna: 30 espécies, sendo 10 espécies de anfíbios, seis espécies de lagartos e 14 espécies de serpentes; Grupos de Avifauna: 96 espécies, distribuídas em 39 famílias; Grupo da Mastofauna: 11 espécies de mamíferos, distribuídos em nove famílias. No ecossistema aquático em quatro pontos de amostragem em dois córregos da região

foram encontrados 1890 indivíduos do grupo de macroinvertebrados bentônicos, de 16 táxons diferentes. Quanto a Ictiofauna foram identificados 26 espécies de peixes, com 13 famílias.

Observa-se que no levantamento realizado neste trabalho de estudo de impacto ambiental, na região, a fauna nativa, como a flora ainda permanece embora em pequeno número e muitos em fase de extinção devido à alteração dos habitats.

1.2. Referencial teórico da pesquisa

1.2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), originária do sudeste asiático, foi trazida ao Brasil em 1532 da Ilha da Madeira, por Martin Afonso de Souza. Neste mesmo ano, foi construído o primeiro engenho de açúcar do país na capitania de São Vicente, mas foram nas capitanias de Pernambuco e da Bahia que os engenhos de cana-de-açúcar se multiplicaram. Por quase dois séculos, o açúcar foi o principal produto agrícola exportado pelo Brasil, e, por conseguinte, sua principal fonte de divisas. Durante este período, a nação deteve o monopólio da produção mundial, vindo a perder a liderança no final do século XVII (FERRO *et al.*, 2009).

Atualmente, o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com aproximadamente dez milhões de hectares cultivados, sendo, após o petróleo, uma das principais matrizes energéticas brasileiras. Entre os estados brasileiros, São Paulo é considerado o maior produtor, com 4.370 mil ha, seguido por Minas Gerais, com 742,65 mil ha, Goiás, com 678,42 mil ha, Paraná, com 611,44 mil ha, Mato Grosso do Sul, com 480,86 mil ha, Alagoas, com 436,65 mil ha e Pernambuco, com 326,11 mil ha (CONAB, 2012). Assim, apesar de não ser originária do Brasil, a cultura encontrou no país condições propícias para o seu desenvolvimento, tendo um papel ativo na economia brasileira desde o início da sua colonização.

No estado de Goiás a história de produção da cana-deaçúcar apresenta registros de cultivo já em 1935, com cerca de 1400 engenhos e uma produção de 166 mil toneladas no ano de 1940, segundo dados do Censo Agropecuário (SANTOS, 1987), sendo destinada principalmente à produção de açúcar, rapadura e cachaça. Valores de produção que se mantiveram até o final da década de 1980, quando houve um incremento, chegando a mais de 5 milhões de toneladas em 1988. Após esse período, ocorreu queda e novo aumento que sobreveio em 1996, sendo superior a 6 milhões de

toneladas, segundo dados da Conab (2012). Essas oscilações relacionam se principalmente às fases de implantação e declínio do Proálcool, bem como em parte às políticas do próprio setor sucroalcooleiro nacional. É importante ressaltar que desde o PNA esse patamar vem apresentando crescimento exponencial, alcançando cerca de 48 milhões de toneladas na safra 2010/2011. Na atualidade, a cana-de-açúcar já se posiciona como um importante produto em termos de produtividade no estado (IBGE, 2013; BARBALHO, 2013).

A cana-de-açúcar é uma das seis espécies do gênero *Saccharum*, apresentando desenvolvimento em formas de touceira ou moita. É uma planta da família *Poaceae*, com as quais se relaciona com a forma da inflorescência (espiga), o crescimento do caule em colmos e as folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainha aberta. As raízes são fasciculadas, sendo que 85% delas encontram-se nos primeiros 50 cm de profundidade e aproximadamente 60% entre os primeiros 20-30 cm, havendo pequenas variações nessa percentagem dependendo, sobretudo, das variedades (MOZAMBANI *et al.*, 2006).

O ciclo fenológico da cultura varia entre 11 e 22 meses, cana de ano e cana de ano e meio, respectivamente, dependendo da época do plantio. Nos canaviais plantados entre setembro e novembro, ou seja, no início da estação chuvosa, a duração do ciclo é em torno de 12 meses. Após o plantio da muda, ocorre a brotação e a planta tem aproximadamente oito meses de desenvolvimento vegetativo e quatro meses para que ocorra a maturação. Já nos canaviais plantados entre janeiro e abril, apresentam ciclo variando entre 14 e 21 meses. Neste caso, o desenvolvimento é favorecido nos três meses iniciais, ficando limitado nos meses secos, que vai de abril a agosto, e nos sete meses seguintes volta a vegetar, amadurecendo nos meses de inverno (SEGATO *et al.*, 2006). Oliveira (2006) estudou a aptidão climática para o plantio e estabeleceu os níveis e meses críticos em função da seca e do déficit hídrico do solo. O autor considerou que a cana de ano quando plantada no primeiro semestre até maio em geral não vai requerer irrigação de salvamento, mas a partir dai, vai exigir cada vez mais essa prática de irrigação, sobretudo quando plantada em junho/julho. E é justamente em agosto/setembro que a estação seca atinge seu máximo. Por outro lado, não há condições de colheita a partir, sobretudo de janeiro a março, devido chuvas intensas e continuadas, o que desfavorece a colheita. Assim os calendários agrícolas devem considerar essa alternância estacional para fins de planejamento de safra sem comprometer o abastecimento das usinas o ano todo, ou quase isso.

Após o amadurecimento, a cana é colhida e a colheita pode ser mecanizada (colhedoras) ou manual (cortadores de cana). No processo de colheita mecanizada, a cana é colhida crua, com a palha remanescente retornando ao solo, formando uma densa camada sobre a superfície do mesmo. No processo de colheita manual, a cana é queimada antes do corte, para facilitar o trabalho e aumentar a eficiência dos cortadores. Após a colheita/corte da cana-de-açúcar, inicia-se um novo ciclo, de aproximadamente 12 meses, repetindo-se o processo de cinco a seis vezes até se dar a reforma do canavial e um novo tolete é plantado. A avaliação econômica do rendimento é que irá determinar a renovação dos canaviais (JENDIROBA, 2006; SEGATO *et al.*, 2006).

O crescimento da área plantada com cana-de-açúcar no país é consequência da boa rentabilidade apresentada pelo setor nos últimos anos, somada ao avanço da tecnologia agrícola e industrial experimentados principalmente nas duas ultimas décadas, o que estimulou a expansão dos canaviais das usinas existentes e a implantação de novas unidades. Segundo Assato (2010), a demanda por combustíveis alternativos ao petróleo, tanto no mercado nacional como em outros países, motiva o crescimento do setor sucroenergético e cria oportunidades de negócios para novas empresas. No entanto, esta expansão deve vir acompanhada de um monitoramento rigoroso nas áreas cultivadas, adotando-se indicadores de sustentabilidade de produção e dos efeitos no ambiente ao longo dos anos de exploração (JENDIROBA, 2006). Um manejo inadequado do solo, ao longo do tempo, pode trazer sérias consequências, exaurindo-o de suas reservas orgânicas e minerais, transformando-o em terras de baixa fertilidade e erodindo grande parte do solo, podendo tornar a área imprópria para o cultivo (ANDRADE, 1982).

A cana-de-açúcar é cultivada ininterruptamente num mesmo solo por vários anos; assim, com o passar do tempo, a tendência é que ocorra queda de fertilidade e, consequentemente, menor rendimento da cultura. No entanto, a adoção de algumas práticas conservacionistas como a utilização de resíduos orgânicos na fertilização dos solos (torta de filtro e vinhaça) e a sobreposição da palha ao solo, em virtude da colheita mecanizada, protegendo contra a erosão, podem atenuar impactos negativos e prolongar a vida útil do canavial. Contudo, o prevalecimento de sistemas de cultivos convencionais (com intenso revolvimento do solo) em diversas unidades produtoras, assim como a realização da queima antes da colheita (perda de C orgânico e emissão de CO_2) para facilitar o corte manual, são fatores preocupantes, que podem vir a causar um desequilíbrio no ambiente em que estão inseridas (JÚNIOR, 2012; FERRO *et al.*, 2009).

A alternativa de aplicação de vinhaça ao solo, em vez de seu lançamento em rios, vem sendo recomendada como meio de fertilização das culturas e constitui uma forma de eliminar outras das fontes poluidoras dos cursos de água com adubação mineral. A incorporação de resíduos orgânicos ao solo promove aumentos na fixação do C, sendo parte desse aumento originária da decomposição da matéria orgânica no solo (ALEXANDER, 1961; FEIGIN *et al.*, 1991). O constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos e, em menor quantidade, por cátions como o K, Ca e Mg, sendo que sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto. Quando se parte de mosto de melaço, apresenta maiores concentrações em matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio, ao passo que esses elementos decaem consideravelmente quando se trata de mosto de caldo de cana, como é o caso de destilarias autônomas (ROSSETTO, 1987; SILVA *et al.*, 2007).

Vários estudos sobre a disposição da vinhaça no solo vêm sendo conduzidos, enfocando-se os efeitos no pH do solo, propriedades físico-químicas e seus efeitos na cultura da cana-de-açúcar, mas poucos avaliaram o real potencial poluidor da vinhaça sobre o solo e lençol freático (LYRA *et al.*, 2003) já que, em virtude dos elevados níveis de matéria orgânica e nutrientes, principalmente potássio, quase toda destilaria brasileira tem adotado sua utilização na fertirrigação de plantações de cana-de-açúcar (CUNHA *et al.*, 1981; CANELLAS *et al.*, 2003).

A torta de filtro é usualmente utilizada em três formas básicas: aplicação em superfície, para reforma dos canaviais, distribuição nas entrelinhas da cana-soca e aplicação nos sulcos de plantio. Raij *et al.* (1997) ressaltam que a torta de filtro contém menores teores de K do que a vinhaça; contudo, os teores de bases trocáveis, N e de P tendem a ser mais elevados nesses produtos. A produção média é de 40 kg t-1de cana moída, sendo também um material rico em cálcio, quando se utiliza calcário em seu processo de produção (TEDESCO *et al.*, 2008). Já a presença de resíduos na superfície do solo (palhada) tende a funcionar como um importante componente sequestrador de carbono atmosférico, visto que, no processo de decomposição, parte da palhada é incorporada ao solo, pois, é produzida pelo processo fotossintético de assimilação de C do CO_2 do ar (LUCA *et al.*, 2008).

Os sistemas de cultivo convencional consistem em sucessivas operações, que o deixam pronto para receber a cultura da cana-de-açúcar, onde as atividades mais utilizadas são a sistematização, distribuição dos corretivos, aração, gradagem pesada, subsolagem e gradagem niveladora (GONÇALVES, 2006). Este tipo de manejo pode

ocasionar alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de elevar as taxas de erosão hídrica, resultantes das chuvas que encontram o solo desnudo (NUNES, 2010; CASALINHO *et al.*, 2007).

A prática da queima é realizada com a premissa de diminuir a quantidade de palha e, desta forma, facilitar a colheita, aumentando o rendimento operacional do corte manual e o carregamento mecânico; no entanto, tal prática constitui-se até hoje num assunto polêmico, envolvendo aspectos legais, agronômicos, socioeconômicos e ecológicos onde, em alguns estados, está proibida a sua realização (JÚNIOR, 2012; LUCA *et al.*, 2008).

Segundo Staben *et al.* (1997) e Franchini *et al.* (2007), a degradação do solo pelo cultivo é manifestada por processos erosivos, redução da matéria orgânica, perda de nutrientes, compactação do solo, redução de populações microbianas, de atividades enzimáticas e pH. Assim, torna-se imprescindível a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, que causem menores danos ao ambiente em que estão inseridas, como também estudos sobre o efeito que diferentes sistemas causam ao ambiente de produção, definindo assim a melhor estratégia de uso e manejo, buscando sempre a melhoria da qualidade de vida humana, animal e vegetal.

1.2.2 Qualidade do solo

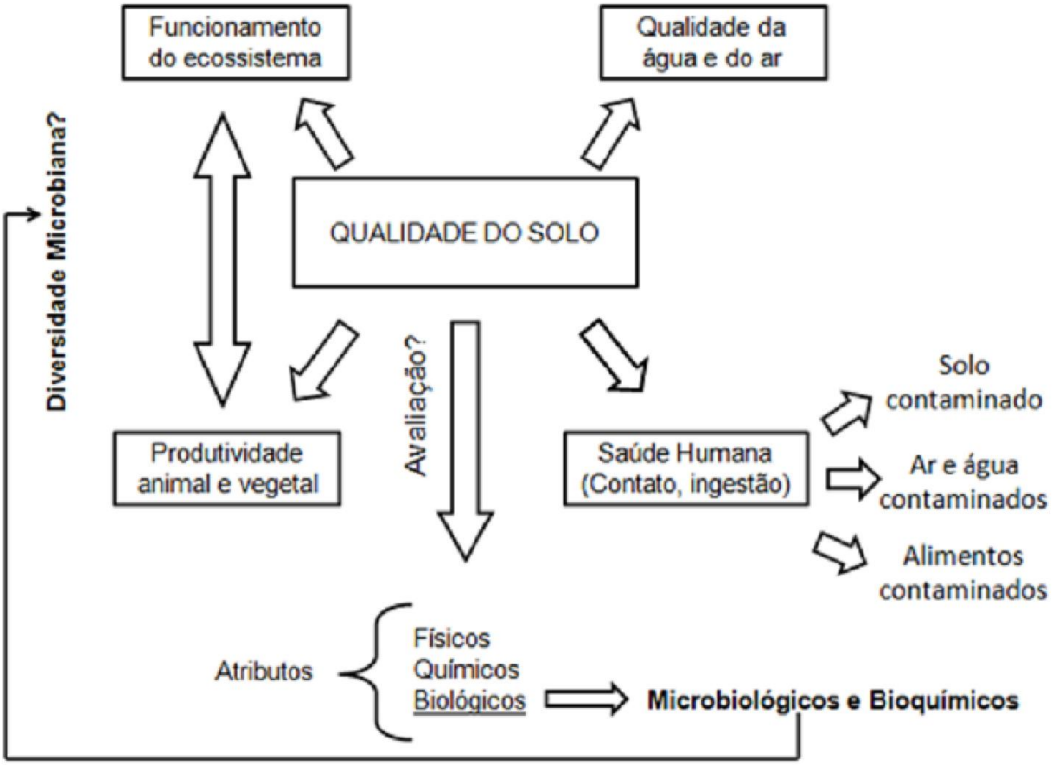
O solo, compreendido como um sistema natural, organizado, é fruto da ação combinada do clima e dos organismos vivos, atuando sobre determinado material de origem, em dado intervalo de tempo, condicionados pelo relevo (JENNY,1941). O produto final, expresso na forma de um sistema complexo, estende-se desde a superfície até o contato com a rocha, organizado em sequência de camadas e horizontes, com morfologia, propriedades físicas, químicas e biológicas frutos da ação do clima, dos organismos e dos processos pedogenéticos específicos que ocorrem ao longo de sua formação (OLIVEIRA, 2008). É definido também como o material mineral e, ou, orgânico não consolidado na superfície da terra que serve como um meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres (CURI *et al.*, 1993).

Considerando, que os solos são o produto da ação do intemperismo físico/químico/biológico sobre rochas ou sedimentos, os fatores e os processos que atuam na sua formação foram lentos, o que leva a concluir que a maioria desenvolveu-se, até atingir uma condição de equilíbrio com o meio natural, num tempo relativamente

longo. Caso ocorram mudanças no ambiente, tais como mudanças climáticas ou as provocadas pelo homem que alterem esses fatores de formação, os solos tenderão a modificar-se em resposta a estas perturbações (ALMEIDA *et al.*, 2000).

O conceito de qualidade do solo data de civilizações muito antigas (DORAN *et al.*, 1996) e é parte fundamental da qualidade ambiental. No final da década de 70 e durante os dez anos seguintes, esse conceito esteve muito associado à ideia de fertilidade, sendo um solo considerado de alta qualidade quando se apresentava quimicamente rico. No entanto, os conceitos foram renovados e o solo de alta qualidade passou a ser visto de outra forma. Segundo Vezzani *et al.* (2008), as implicações de qualidade do solo não se restringem somente ao ambiente solo, mas se estendem à hidrosfera, atmosfera e a biosfera, atuando na qualidade da água, qualidade do ar e na biodiversidade (figura 10).

Figura 10. Fatores relacionados à qualidade do solo e aos atributos utilizados para sua quantificação, com destaque para a diversidade microbiana.



Fonte: Adaptado de Melloni, 2007.

O novo conceito de qualidade do solo é relativamente recente, iniciando na década de 1990, com grandes controvérsias e ainda não tão bem estabelecido na comunidade científica (PIERZYNSKI *et al.*, 2000; MENDES *et al.*, 2009) (quadro 2).

Quadro 2. Definições para "Qualidade do Solo".

Definição	Autores
Capacidade de um solo funcionar dentro do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e dos animais.	Doran e Parkin, 1994
Capacidade de um tipo específico de solo funcionar como ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da água e do ar e suportar o crescimento humano.	Karlen *et al.*, 1997
Condição do solo relativa aos requerimentos de uma ou mais espécies Biológicas e/ou de algum propósito humano.	Johnson *et al.*, 1997
Capacidade do solo de sustentar a diversidade biológica, regular o fluxo da água e solutos, degradar, imobilizar e detoxificar compostos orgânicos e inorgânicos e atuar na ciclagem de nutrientes e outros elementos.	Seybold *et al.*, 1998

Fonte: Adaptado de Araújo e Monteiro, 2007.

Embora haja consenso entre pesquisadores e agricultores de que a manutenção da qualidade do solo é um elemento-chave para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, a avaliação desse atributo não é uma tarefa fácil. O objetivo desta busca é obter uma ferramenta para avaliar, principalmente, a qualidade das práticas de manejo empregadas na produção agrícola, visando à sustentabilidade da agricultura e a preservação do ambiente.

Segundo Vezzani (2001), um solo atinge qualidade quando exerce suas funções, a partir de propriedades emergentes geradas num estado de ordem elevado, caracterizado pela presença de estruturas complexas, diversificadas e com grande quantidade de energia e matéria. Dessa forma, a qualidade do solo pode ser inferida a partir das mudanças avaliadas nos seus atributos ou nos atributos do ecossistema, conhecidos como indicadores (JÚNIOR, 2012; CARNEIRO, *et al.*, 2009).

A qualidade do solo pode ser avaliada considerando a capacidade do solo em suprir nutrientes para as plantas, para suportar o crescimento das raízes, para proporcionar uma adequada atividade biológica, em propiciar uma adequada estabilidade estrutural, para resistir à erosão e para reter água para as plantas, entre outros (CASALINHO *et al.*, 2007). Nessa perspectiva, é fundamental a escolha de um conjunto mínimo de indicadores que apresentem características como facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, capacidade de integração, adequação ao nível de análise da pesquisa, sensibilidade às variações de manejo e clima e possibilidade de medições por métodos quantitativos e/ou qualitativos (DORAN *et al.*, 1996) (quadro 3).

Quadro 3. Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.

Indicadores	**Relação com qualidade do solo**
Estrutura do solo Infiltração e densidade Capacidade de retenção de umidade	***Físicos*** Retenção e transporte de água e nutrientes Movimento de água e porosidade do solo Armazenamento e disponibilidade de água
pH Condutividade Elétrica Conteúdo de N, P e K	***Químicos*** Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes Crescimento vegetal e atividade microbiana Disponibilidade de nutrientes para as plantas
Biomassa microbiana Mineralização de nutrientes (N, P e S) Respiração do Solo Fixação Biológica Atividade enzimática do solo	***Biológicos*** Atividade microbiana e reposição de nutrientes Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes Atividade microbiana Potencial de suprimento de N para as plantas Atividade microbiana e catalítica no solo

Fonte: Adaptado de Doran e Parkin (1994).

Chaer (2001) ressalta que um dos obstáculos para avaliar a qualidade do solo é a interpretação dos seus indicadores, ou seja, saber quando é que os valores obtidos indicam um bom solo. A atribuição de valores à qualidade do solo permitiria uma avaliação da política do uso da terra, identificação de áreas ou sistemas de manejos

críticos, avaliação de práticas que degradam ou melhoram o solo e ampliação do conhecimento e compreensão sobre manejo sustentável do solo (MELLONI, 2007).

Atualmente, existe na literatura uma grande quantidade de informações acerca dos indicadores de caráter químico e físico, que permite, com certo grau de confiabilidade, definir faixas de valores adequados para essas características em diversos tipos de solos e culturas. Não se pode afirmar o mesmo sobre a base de informações disponíveis sobre os dados biológicos do solo que ainda é pequena.

Segundo Stenberg (1999), as principais causas estão no fato dos testes microbiológicos não serem incluídos em análise de laboratórios de rotina e a falta de padronização de métodos, desde a amostragem, estocagem, pré-tratamento das amostras até os procedimentos analíticos e a apresentação dos resultados. Dessa forma, saber quando os valores obtidos indicam ou não um bom solo é um dos grandes obstáculos ao uso dessas variáveis nas avaliações de qualidade do solo (TÓTOLA; CHAER, 2002).

A avaliação da qualidade do solo é desejável para detectar as mudanças causadas pelos diferentes processos de degradação, que resultam no declínio da produtividade do solo ou qualidade do solo (ARSHAD; COEN, 1992) após utilização em diferentes usos. Definir e quantificar a qualidade do solo tem sido uma tarefa difícil, uma vez que ela depende das características intrínsecas do solo, de interações com o ecossistema e de uso para diversos fins (GOEDERT; OLIVEIRA, 2007). As diferentes interações que ocorrem no solo dependem da atuação dos diferentes constituintes (matriz mineral, matéria orgânica, água, ar e organismos), além das condições climáticas existentes no ambiente e as atuações humanas nas determinações de uso desse solo.

Para avaliar a qualidade do solo é necessária a utilização de uma quantidade de atributos indicadores que tenham como finalidade quantificar as mudanças ocasionadas no ambiente pelos diferentes sistemas de manejo em relação a um sistema referência, que é geralmente considerado a floresta nativa. De acordo com Carneiro *et al.* (2009), atualmente são conhecidos efeitos isolados de diferentes manejos e uso do solo nos atributos físicos, químicos e biológicos. No entanto, há necessidade de avaliar esses atributos em conjunto, principalmente em solos do bioma Cerrado.

É importante poder avaliar os efeitos imediatos de um sistema recém introduzido ou na fase de introdução para poder detectar e, ocasionalmente, corrigir efeitos não desejados. Para isso é grande a importância da escolha certa dos atributos do solo (químicos, físicos e biológicos), que efetivamente são capazes de detectar mudanças na qualidade do solo como sistema de manejo (SANTOS, 2009; ARAÚJO *et al.*, 2007).

Definir e quantificar a qualidade do solo tem sido uma tarefa difícil, uma vez que ela depende das características intrínsecas do solo, de suas interações com o ecossistema e de seu uso para diversos fins (GOEDERT; OLIVEIRA, 2007). A avaliação dessa qualidade por meio de atributos do solo é bastante complexa, por causa da grande diversidade de definições da qualidade do solo em si e por que isso também pode depender do uso, da multidisciplinaridade de interações entre fatores físicos, químicos e biológicos, que controlam os processos, e dos aspectos relacionados com a sua variação no tempo e no espaço (MELLONI *et al.*, 2008).

Atributos químicos do solo

O monitoramento da qualidade do solo por meio de indicadores químicos do solo tem sido mais frequentemente utilizado, principalmente relacionando os atributos descritos numa análise convencional de fertilidade do solo (MELLONI *et al.*, 2008). Os indicadores químicos estão relacionados com os aspectos de nutrição de plantas, sendo de efeito direto no caso dos macro e micronutrientes, ou indiretos, quando se trata da presença da matéria orgânica do solo (MESQUITA *et al.*, 2000).

Geralmente a matéria orgânica do solo ou o carbono orgânico total são incluídos como indicadores químicos da qualidade do solo para fins de manejo (DORAN; PARKIN, 1994; ALVARENGA, 1996; ALVARENGA; DAVIDE, 1999; WANDER; BOLLERO, 1999; COSTA *et al.* 2006; GIUFFRÉ *et al.*, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2007; FONSECA *et al.*, 2007; JAKELAITIS *et al.*, 2008; MELLONI *et al.*, 2008; CARNEIRO *et al.*, 2009), devido ao efeito indireto como fonte, retenção e manutenção de nutrientes no solo. No entanto, se os indicadores químicos forem caracterizados como de efeito rápido e direto sobre o solo, devido principalmente ao efeito da adubação, deve-se considerar apenas os atributos descritos na fertilidade do solo (excluindo-se a matéria orgânica). Como a matéria orgânica do solo possui origem biológica, esta se classificaria melhor como atributo biológico do solo (SANTOS, 2009).

A fertilidade do solo é extremamente complexa em solos sob condições tropicais (OSTERTAG, 2001). A maioria das pesquisas tem se concentrado em estudar o elemento P (SATO; COMERFORD, 2005; COSTA *et al.*, 2009; TRINDADE *et al.*, 2010), em razão de se disponibilizar no solo lentamente por meio do intemperismo de

minerais primários, que atinge o máximo de disponibilidade em solos de meia-idade, seguido por adsorção por minerais secundários e do declínio na disponibilidade em solos altamente intemperizados (SILVA JR. *et al.*, 2012).

No entanto, estudos experimentais sugerem que para o nitrogênio (N) do solo a limitação é generalizada ao nível mundial (LEBAUER; TRESEDER, 2008), e solos com elevado grau de intemperização mostram limitação de N, além da limitação de P (ERNANI, 2001). Há também casos em que o cálcio (Ca) ou K podem limitar o crescimento das plantas, ou fornecer co-limitação com N e P (CUEVAS; MEDINA, 1988). Os micronutrientes necessários para o crescimento das plantas também podem se ligar fortemente aos minerais do solo e matéria orgânica, e poderiam não estar disponível em certos casos (KASPARI *et al.*, 2008). Não sendo o caso dos solos sob condições tropicais com baixos teores de matéria orgânica e baixos valores de pH.

Atributos biológicos do solo

De acordo com Melloni *et al.* (2008), um indicador microbiológico pode ser definido como uma espécie de microrganismo ou grupo de microrganismo que indica, pela sua presença e atividade numa determinada área, a existência de uma condição ambiental específica. No entanto, esse conceito aborda apenas os organismos do solo, e é importante considerar também a matéria orgânica do solo dentro de um atributo biológico, devido à grande influência com relação à esse aspecto. Ainda pode-se incluir como indicador biológico do solo a atividade enzimática dos microrganismos, a avaliação da meso e macrofauna do solo, entre outros atributos biológicos do solo.

A atividade microbiológica é altamente concentrada nas camadas mais superficiais do solo, ocupando uma fração de menos que 0,5% do volume total do solo e representando menos que 10% da matéria orgânica (ARAUJO; MONTEIRO, 2007). A função dos microrganismos é mediar processos no solo relacionados com o manejo, podendo assim, serem indicadores sensíveis de qualidade do solo (POWLSON, 1997). Alguns estudos avaliaram as variáveis microbiológicas e identificaram que estas foram mais sensíveis em detectar em etapa anterior, efeitos dos diferentes sistemas de manejo do que as variáveis físicas e químicas (BALOTA *et al.*, 1998; ROSCOE *et al.*, 2006; MERCANTE *et al.*, 2008; BARBOSA, 2010).

Os organismos do solo, em especial os microrganismos, são responsáveis em transformar a energia e matéria vegetal produzida pelas plantas em formas adequadas

para o funcionamento do sistema solo. Os microrganismos utilizam os tecidos da parte aérea e das raízes e os exsudatos das plantas para extrair energia e C que necessitam para a sua atividade e o seu desenvolvimento, havendo a formação de compostos orgânicos como subproduto desse processo. Dessa forma, convertem a energia e a matéria vegetal de uma forma para outra, o que caracteriza o fluxo de compostos orgânicos no sistema solo. Em função desse fluxo, os componentes do solo interagem e se auto-organizam em estados de ordem, seguindo uma hierarquia de complexidade (MIELNICKUK *et al.*, 2003).

Os microrganismos apresentam grande potencial de utilização em estudos de qualidade do solo, por apresentarem as seguintes características: a) alta sensibilidade a perturbações antropogênicas; b) correlações com diversas funções benéficas do solo, incluindo armazenamento e disponibilidade de água, decomposição de resíduos orgânicos, transformação e ciclagem de nutrientes, biorremediação, controle de fitopatógenos e outros; c) papel direto em muitos processos do ecossistema, incluindo a conversão de nutrientes em formas disponíveis às plantas, supressão de organismos nocivos, formação da estrutura do solo e papel indireto em processos como infiltração de água; d) facilidade de avaliação em baixo custo (MELLONI *et al.*, 2008).

A biomassa microbiana do solo é considerada a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, constituída por fungos, bactérias, actinomicetos, protozoários, algas e microfauna, excluindo-se raízes e animais inferiores a $5x10^3$ μm^3 (GAMA-RODRIGUES, 1999; TÓTOLA; CHAER, 2002), representando em média de 2 a 5% do C orgânico (JENKINSON; LADD, 1981) e de 1 a 5% do N total do solo (SMITH; PAUL, 1990). Segundo Roscoe et al (2006), a biomassa microbiana é considerada o reservatório mais ativo da matéria orgânica do solo, atuando diretamente no balanço de nutrientes, particularmente para o nitrogênio, fósforo e potássio. Gama-Rodrigues (2008) ressalta que os solos que mantém elevados teores de biomassa microbiana são capazes, não somente de armazenar, mas também de reciclar mais nutrientes no sistema. É componente nos processos que vão desde a formação do solo (intemperização das rochas) até a decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, biorremediação de áreas contaminadas por poluentes, entre outros (REIS JUNIOR; MENDES, 2007).

Alterações significativas na biomassa microbiana do solo podem ser identificadas com antecedência, quando comparadas às mudanças na matéria orgânica. Assim, a avaliação da biomassa microbiana tem sido proposta como um indicador do

estado e das alterações da matéria orgânica do solo e sugerida como uma medida sensível ao aumento ou decréscimo de sua quantidade (TÓTOLA; CHAER, 2002).

A população microbiana é grandemente influenciada pelo manejo e pela cobertura vegetal do solo, sendo cada grupo afetado de forma seletiva. Os solos submetidos ao plantio direto ou preparo reduzido apresentam um acúmulo superficial de resíduos orgânicos e nutrientes minerais, possibilitando a formação de uma camada de alguns centímetros muito favorável ao desenvolvimento microbiano. Com aumento da profundidade, as condições tornam-se adversas e a população diminui. No preparo convencional, quando a aração é feita até 20 cm em média, ocorre uma incorporação mais uniforme dos resíduos resultando numa distribuição mais homogênea da população microbiana na camada arável (COELHO, *et al.*, 2008). Considerando-se que os microrganismos constituem excelente indicador das condições biológicas do solo, além de seu efeito sobre a produtividade agrícola, torna-se importante o conhecimento do manejo do solo e da cobertura vegetal sobre a população microbiana (RUEGGER; TAUK-TORNISIELO, 2004).

O solo é provavelmente um dos *habitats* mais diversos do ecossistema terrestre, sendo bactérias, fungos e invertebrados seus principais representantes (ARIAS, *et al.* 2005). Segundo Swift *et al.* (1979), do ponto de vista funcional, a fauna do solo é classificada por tamanho em três principais grupos: microfauna, mesofauna e macrofauna. A microfauna (4 a 100 µm de diâmetro corporal) é composta por protozoários, rotíferos, copépodes, tardígrados, nematódeos e outros. Tais organismos participam da ciclagem de nutrientes, podem ainda ser reguladores da atividade microbiana (LAVELLE, 1996). A mesofauna (100 µm a 2 mm de diâmetro corporal) é a mais abundante do solo, representada principalmente por ácaros e colêmbolos, que juntos, correspondem a mais de 95% dos microartrópodes do solo (BARETTA *et al.*, 2006). A macrofauna (maior que 2 mm de diâmetro corporal) é representada pelos anelídeos, diplópodes, isópteros, entre outros. Esses artrópodes são responsáveis principalmente pela fragmentação da serrapilheira, alterações na estrutura do solo e incorporação dos detritos no solo e são conhecidos como “engenheiros do ecossistema” (AQUINO; ASSIS, 2005).

A fauna edáfica exibe uma alta diversidade e rápida capacidade de reprodução, podendo ser bom indicador da qualidade do solo, e pode ser avaliada pela presença de organismos específicos ou pela análise da comunidade e processos biológicos, como a modificação da estrutura do solo e níveis de decomposição. Além dos organismos

presentes no solo serem um fator determinante, os níveis de decomposição da serrapilheira aceleram os níveis de ciclagem de nutrientes indicando qualidade do solo (AQUINO; ASSIS, 2005).

A matéria orgânica do solo tem grande importância como fonte de nutrientes para as culturas, na retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, estabilidade de estrutura, infiltração e retenção de água, aeração, e como fonte de C e energia aos microrganismos heterotróficos (BAYER; MIELNICKUK, 2008). Assim, considerando a matéria orgânica como influenciadora dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, observa-se a importância de manutenção no ambiente e a relação com cada atributo do solo. No entanto, na necessidade de classificá-la dentro de um tipo de atributo do solo, encontra-se melhor relacionada como indicador biológico do solo, sendo que sua constituição vem de origem biológica (SANTOS, 2009; BAYER; MIELNICKUK, 2008; SILVA; RESCK, 1997).

Silva; Resck (1997) descrevem que a matéria orgânica do solo é constituída como componente vivo e componente morto. O componente vivo da matéria orgânica do solo raramente atinge 4 % do carbono orgânico total e pode ser subdividido em três compartimentos: raízes das plantas (5 a 10 %), macrorganismos ou fauna (15 a 30 %) e microrganismos (60 a 80 %), sendo estes, portanto, quantitativamente mais significativos dos componentes vivos. O componente morto, que pode chegar a 98 % do C orgânico total, pode ser subdividido em fração leve (matéria macrorgânica) e fração pesada, que contém húmus.

1.2.3 Qualidade da água

Os principais poluentes nas áreas rurais normalmente são a matéria orgânica, os sedimentos, os nutrientes e os pesticidas, transportados principalmente pelo escoamento da água oriunda das terras agricultadas. A malha viária, representada pelas estradas rurais e caminhos internos das propriedades, em geral construída e conservada de modo inadequado, contribui de forma significativa para a erosão e a contaminação da água com sólidos totais (ICEPA, 1999).

O solo descoberto, desprovido de cobertura vegetal, expõe os agregados do solo à ação direta das gotas de chuva. O impacto da gota no solo rompe as forças de coesão dos agregados e as partículas tornam-se mais susceptíveis ao escorrimento superficial,

iniciando-se um processo gradativo de erosão das partículas do solo. Os processos erosivos podem ser intensificados por fatores ambientais (declividade, tipo de solo, erosividade das chuvas) ou antrópicos, este último intrinsicamente relacionado ao uso e manejo das terras (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985). Áreas manejadas inadequadamente, contrapondo à ótica conservacionista, levam à diminuição da taxa de infiltração de água no solo, favorecendo o escorrimento superficial e carreando sedimentos para as partes mais baixas do terreno, causando o assoreamento dos rios, provocando enchentes na época chuvosa e vazões reduzidas na época seca, ocasionando a migração de nascentes e o posterior desaparecimento de pequenos rios (FARIA; MARQUES, 1999).

Outras fontes de poluição importantes nas áreas rurais são os resíduos sólidos (esgotos domésticos e animais, lixo domiciliar) e os agrotóxicos. Os agrotóxicos, muitas vezes, são utilizados sem cuidados técnicos e ambientais.

De acordo com Allan e Flecker (1993), a degradação e perda de habitats e a poluição química e orgânica estão entre as maiores ameaças a biodiversidade de rios e córregos. Há muito que se reconhece a forte dependência de rios com o ambiente terrestre da bacia (CUMMINS, 1974; HYNES, 1975), sendo que eles são frequentemente afetados negativamente por alterações humanas em áreas adjacentes (KARR; SCHLOSSER, 1978).

As transformações de áreas de vegetação natural, para uso agropecuário leva a alteração das relações físicas e biológicas nos córregos e, normalmente, resulta em degradação de habitat e impactos negativos na biota de rios (KARR; SCHLOSSER, 1978; SCHLOSSER, 1991). A presença de vegetação natural na bacia, ou ao menos de uma zona ripária protegida, é vista como condição para a integridade biológica de rios (GREGORY *et al.*, 1991; SWEENEY, 1992). A vegetação ripária nas margens dos rios funciona como uma zona tampão entre o rio e o resto da bacia hidrográfica, por isso o estado da vegetação ripária influência a hidrologia, características do substrato, regimes térmicos e a química da água do rio, afetando todos os níveis tróficos (WALLACE *et al.*, 1997).

O desmatamento da zona ripária também diminui a capacidade de "tamponamento" de poluentes de fonte difusa pelos rios uma vez que a presença da vegetação reduz o movimento de nutrientes para eles (KARR; SHLOSSER,1978). Muitos trabalhos mostram que os rios estão suscetíveis à eutrofização causada pelo aumento de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, em decorrência de

atividades humanas (SMITH *et al.*, 1999). A agricultura e as atividades urbanas são as maiores fontes de fósforo e nitrogênio para os ambientes aquáticos. Esse tipo de poluição difusa é difícil de medir e regular, pois é causado por atividades dispersas em áreas amplas e varia com o tempo. Nos ambientes aquáticos, o aumento da disponibilidade desses nutrientes causam florações de algas, perda de oxigênio, perda de biodiversidade e morte de peixes, dentre outros efeitos (CARPENTER *et al.*, 1998).

A análise da água de um manancial pode evidenciar o uso inadequado do solo, os efeitos do lançamento de efluentes, as limitações de uso e o potencial de autodepuração, isto é, sua capacidade de restabelecer o equilíbrio após o recebimento de efluentes (VON SPERLING, 2005). Dentre os parâmetros utilizados para qualificar a água estão os físico-químicos (pH, dureza total, cloretos, alcalinidade e sólidos totais) e os microbiológicos (coliformes fecais e totais) (PEDROZA *et al.*, 2009).

A resolução n.º 357/05 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) apresenta os diversos parâmetros para o enquadramento dos corpos hídricos brasileiros e é uma ferramenta importante e decisiva para o monitoramento da qualidade da água, além de ser um referencial para a gestão dos recursos hídricos.

Os padrões de qualidade da água servem para regular e controlar os níveis de qualidade que podem ser mantidos no corpo hídrico, dependendo do uso que o mesmo está destinado. A utilização dos padrões de qualidade mantém a qualidade do curso hídrico ou define uma ação a ser realizada. Abron, Corbitt (1998) e Corbi (2006), tratam os padrões de qualidade da água de modo mais complexo, referindo-se que norma é um processo e o critério faz parte da norma, reforçando que o critério deve ter suporte em informações científicas avaliadas no efeito dos poluentes na saúde humana, estética e ecossistema aquático.

Para Araújo e Santaella (2001) a qualidade da água é um conjunto de características físicas, químicas e biológicas que possam atender aos múltiplos usos a que se destina. Hespanhol (2001) fala ainda, que as condições geológicas e geomorfológicas da cobertura vegetal da bacia de drenagem, do comportamento dos ecossistemas terrestres e de águas doces e das ações do homem, também são determinantes para a qualidade da água.

Apesar de o Brasil ser um dos países de maior disponibilidade hídrica, porém, por conta de as dimensões geográficas e das condições climáticas diferenciadas (BRITO *et al.*, 2006), a gestão dos recursos hídricos tem merecido, nos últimos anos, ampla

discussão em razão da degradação qualitativa e quantitativa desses recursos (CONTE; LEOPOLDO, 2001).

A poluição ambiental dos mananciais, por exemplo, tornou-se assunto de interesse público e da comunidade científica em geral. Vários estudos têm sido conduzidos com o objetivo de averiguar os impactos resultantes da atividade agrícola, das atividades de mineração e de efluentes domésticos e industriais (JARDIM, 1992; WEBER, 1992; ROCHA *et al.*, 1996; RICHARDS *et al.*, 1996; OMETO, *et al.*, 2000; ROQUE *et al.*, 2000; CORBI *et al.*, 2000; COELHO-FILHO; WALKER, 2001).

Não apenas os países desenvolvidos vêm sendo prejudicados por esses problemas ambientais, mas também, as nações em desenvolvimento sofrem impacto da poluição. Isto decorre do crescimento econômico desordenado associado à exploração de recursos naturais não renováveis. A expansão da indústria e da agricultura trouxe milhares de novos produtos que são aportados em toneladas para os rios e oceanos. Essas substâncias como fertilizantes (micronutrientes e macronutrientes) ricos em diferentes tipos de metais tais como, Pb, Ni, Cr e Cd e organoclorados (BHC, Aldrin, Dieldrin) causam alterações sensíveis nos ecossistemas aquáticos podendo acarretar em problemas de bioacumulação em diferentes níveis tróficos, como, por exemplo, se acumulando na gordura de peixes e crustáceos ou ainda aves e outros animais terrestres, como leite de vacas que utilizam as águas de córregos e de rios contaminados (SIQUEIRA; BRAGA, 2000); AGUIAR *et al.*, 2000; OLIVEIRA; TORNISIELO, 2000; SANTOS, 1999). Dessa forma, os ecossistemas aquáticos acabam de certa forma, servindo como reservatórios temporários ou finais de uma grande variedade e quantidade de poluentes lançados no ar, no solo ou diretamente nos corpos d'água (MEYBECK; HELMER, 1992).

Na cultura da cana-de-açúcar a utilização de pequenas quantidades de pesticidas aliada ao fato do rápido crescimento da planta que permite uma boa cobertura do solo, facilitando o controle da erosão, são considerados como pontos positivos na cultura da cana-de-açúcar (MACEDO, 2005). Ao contrário, o uso de herbicidas e fertilizantes de larga utilização nessa cultura são os pontos negativos da cultura de cana-de-açúcar (NERY, 2000; MACEDO, 2005). A este fato se soma a problemática resultante da devastação das matas ciliares, o que acarreta, em diferentes graus, impactos sobre os recursos hídricos das áreas adjacentes, na forma de impactos difusos do setor agroindustrial (COOPERCITRUS, 2000).

Os ecossistemas aquáticos, como observado, têm sido alterados de maneira significativa devido aos múltiplos impactos ambientais resultantes de atividades antrópicas (GOULART; CALLISTO, 2003). Numerosos córregos que fazem parte dessas bacias hidrográficas atravessam agregados urbanos e/ou propriedades rurais cujas atividades refletem nas características, uma vez que estes acabam integrando tudo o que acontece nas áreas de entorno. Recebem pelo processo de lixiviação laminar do solo, todas as cargas de agroquímicos (macronutrientes e micronutrientes) advindos das áreas adjacentes, assim como de compostos químicos (herbicidas, fertilizantes, pesticidas) que são utilizados na atividade agropecuária (CORBI, 2006). O estudo desses ambientes lóticos funciona como um sistema circulatório dos continentes podendo servir de diagnóstico da qualidade da água dos ambientes aquáticos e de toda a bacia hidrográfica (ROQUE; TRIVINHO-STRIXINO, 2000; CALLISTO, *et al.*, 2001).

As características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração e quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, o escoamento superficial e subsuperficial. Além disso, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico (TONELLO, 2005; PISSARA *et al.*, 2004).

Segundo Hench *et al.* (2003) e Merten; Minella (2002), a utilização do sistema de Bacia Hidrográfica como unidade de gestão dos recursos hídricos e ambiental possibilita a integração dos diversos fenômenos físicos, biológicos e socioeconômicos que se desenvolvem dentro de sua área de abrangência. É, portanto, com visão integradora e global da bacia e de sua problemática ambiental que se torna possível apontar diretrizes no sentido de solucionar e garantir o atendimento das demandas evitando assim, que os recursos hídricos se transformem em fatores limitantes para o desenvolvimento de uma determinada região.

A expansão da monocultura de cana-de-açúcar no estado de Goiás pode levar à ocupação de novas áreas com a consequente destruição de habitats e impactos sobre a biodiversidade, bem como à degradação do solo (erosão e contaminação), à poluição dos recursos hídricos superficiais e subsuperficiais e à redução da disponibilidade hídrica decorrente da captação de água de áreas já ocupadas para fins agrícolas.

Barbalho e Campos (2010), em um trabalho preliminar de verificação da vulnerabilidade natural do solo e águas em Goiás, verificaram que o estado apresenta

uma situação de alta exposição ao risco de contaminação, tanto dos solos quanto dos corpos d'água superficiais e subterrâneos. Este fato, aliado a práticas agrícolas inadequadas, pode levar a uma situação de insustentabilidade ambiental.

Numerosos estudos têm sido realizados, em diferentes áreas, com o objetivo de se detectar possíveis impactos resultantes do plantio da cana-de-açúcar nas águas dos córregos e rios localizados em áreas adjacentes da cultura de cana-de-açúcar (CORBI, 2006). Tais estudos têm demonstrado que, principalmente em áreas sem vegetação de proteção (mata ciliar), os agroquímicos (metais, fertilizantes, herbicidas e pesticidas) utilizados no plantio de cana são carreados para os corpos d'água através do processo de lixiviação do solo, podendo contaminar a água e o sedimento desses ambientes, além de poder acarretar problemas de bioacumulação em diferentes níveis tróficos (OLIVEIRA; TORNISIELO, 2000; SANTOS, 1999).

Consequentemente, a identificação e o conhecimento dos impactos dos usos da terra em ambientes lóticos e a influência no ecossistema são componentes essenciais para o manejo, para a conservação e para o estabelecimento de estratégias de restauração desses habitas (RICHARDS *et al.*, 1996).

1.3 Estratégia Metodológica Geral

1.3.1 Roteiro metodológico geral

O roteiro geral da pesquisa passou por quatro grandes etapas: 1) revisão da literatura para aquisição das bases conceituais e metodológicas; 2) a análise espacial do processo de expansão da cana-de-açúcar numa escala regional, ou seja, da MRQ que permitiu o delineamento amostral dos solos para os trabalhos de campo e laboratório; 3) o estudo específico dos solos e corpos d'água em campo; o pós-campo, no laboratório da Faculdade Roberto Mange-SENAI, Anápolis com as análises biológicas do solo, no laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF/IESA) e Laboratório de Física dos Solos (LFS/UFG) com as análises físicas do solo e as análises de fertilidade foram levadas para o laboratório da Solocria Ltda, Goiânia e as análises físico-químicas e biológicas da água foram realizadas no laboratório AQUALIT, Goiânia; 4) as análises dos resultados para as discussões e conclusões do estudo (figura 10). O resultado da primeira etapa está distribuído em todos os capítulos deste trabalho. Para cada etapa há materiais e métodos específicos, os quais serão rapidamente abordados no item a seguir.

1.3.2 Caracterização das áreas amostrais

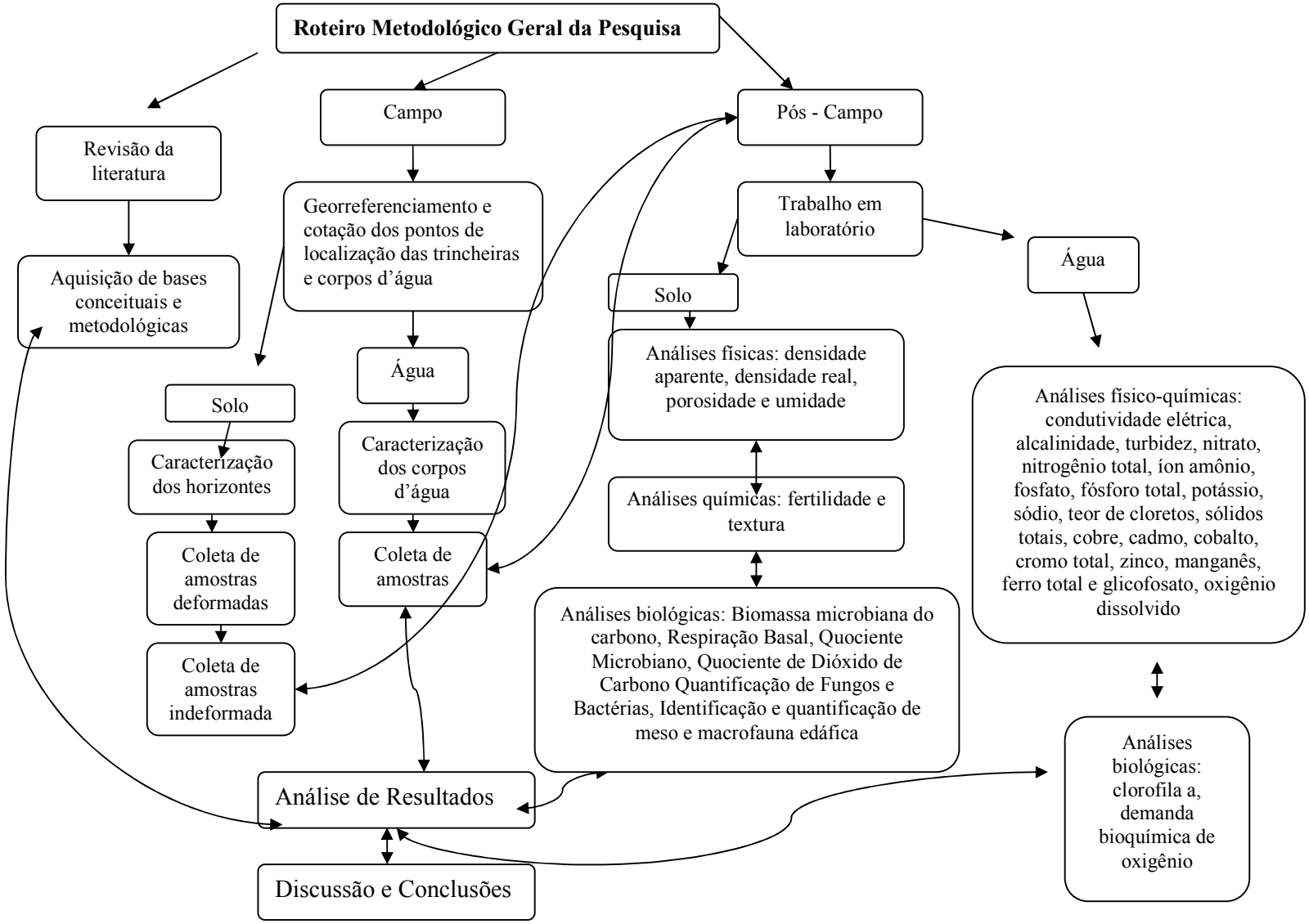
Solo

Neste estudo foram selecionadas áreas homogêneas representativas do histórico de expansão da cana-de-açúcar na MRQ relatado e considerando as características do meio físico, a saber, geologia, geomorfologia e pedologia. Assim, selecionaram-se áreas ocupadas pelos LVdf argilosos, antes sob cultivo de grãos, sobretudo soja, onde a expansão se deu inicialmente; além de áreas com LVd textura média, antes com pastagem, convertidos em cana-de-açúcar em um segundo momento (SILVA; CASTRO, 2011).

Foram selecionados oito sítios amostrais para a abertura de trincheiras e descrição de perfis de solo com cana-de-açúcar, observando características semelhantes em relação ao manejo; todos relativos ao 4º corte do 1º ciclo, plantados com a mesma variedade de cana (SP 813250), com cultivo e colheita fortemente mecanizada e sem queima (junho 2008, maio 2009, maio 2010) além de terem sido alvo do mesmo preparo do solo, variando apenas em relação ao manejo da cultura isto é com fertirrigação com vinhaça (quadro 4) ou sem. Apoiados nas práticas de preparo e de conservação promovidas nestes solos, entende-se que os vestígios dos cultivos anteriores foram eliminados.

A escolha dos sítios amostrais considerou observações preliminares, em que se constataram processos de compactação em diversos graus e tipos de solos, bem como nas informações contidas no Plano de Manejo da Usina São Francisco. Para viabilizar a análise comparada da qualidade física dos solos com e sem uso antrópico foram selecionadas duas áreas amostrais, relativas à vegetação natural para cada um dos referidos solos. Ao todo foram estudados dez perfis de solo com características físicas homogêneas (quadro 4 e 5), sendo oito referentes às substituições soja/cana, pasto/cana e sucessão de culturas (pasto/soja/cana), além de duas áreas de controle com vegetação (figura 11).

Figura 11. Fluxograma mostrando as etapas da pesquisa.



Quadro 4. Preparo do solo utilizado nos oito pontos amostrais com cultura de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás.

Uso anterior /cana Perfil/Manejo*	Preparo e conservação do solo		
	Atividade	**Quantidade**	**Período/ano**
soja/cana 1A – LVdf 1B – LVdf 3B – LVd	Construção de terraços	-	Agos/2006
	Subsolagem	-	Agos/2006
	Grade pesada	-	Agos/2006
	Calagem	3 t/ha	Set/2006 – jun/2009
	Gessagem	1,5 t/ha	Set/2006 – jun/2009
pasto/cana 2A – LVdf 2B – LVdf 4B – LVd	Fosfatagem	0,23 t/ha	Set/2006
	Grade leve	-	Set/2006
	Dessecação (glifosato)	5 l/ha	Out/2006
	Sulcação e adubação (05-25-25)	0,6 t/ha	Nov/2006
pasto/soja/cana 5B – LVd 6B – LVdf	Cobrição (regent 800 WG)	0,25 kg/ha	Nov/2006
	Quebra lombo	-	Fev/2007
	Adubação de cobertura (31-00-00)	0,20 t/ha	Jun/2008 – jun/2009
	Herbicida pré-emergente	0,14 kg/ha	Jun/2008 – jun/2009
	Controle de broca (vespa)	4 copos/ha	Dez/2008 – Dez/2009
	Controle de cigarrinha	0,8 kg/ha	Jan/2009 – Jan/2009
soja/cana 1A – LVdf Pasto/cana 2ª – LVdf	Fertirrigação (vinhaça)	150 m^3/ha	Jun/2008

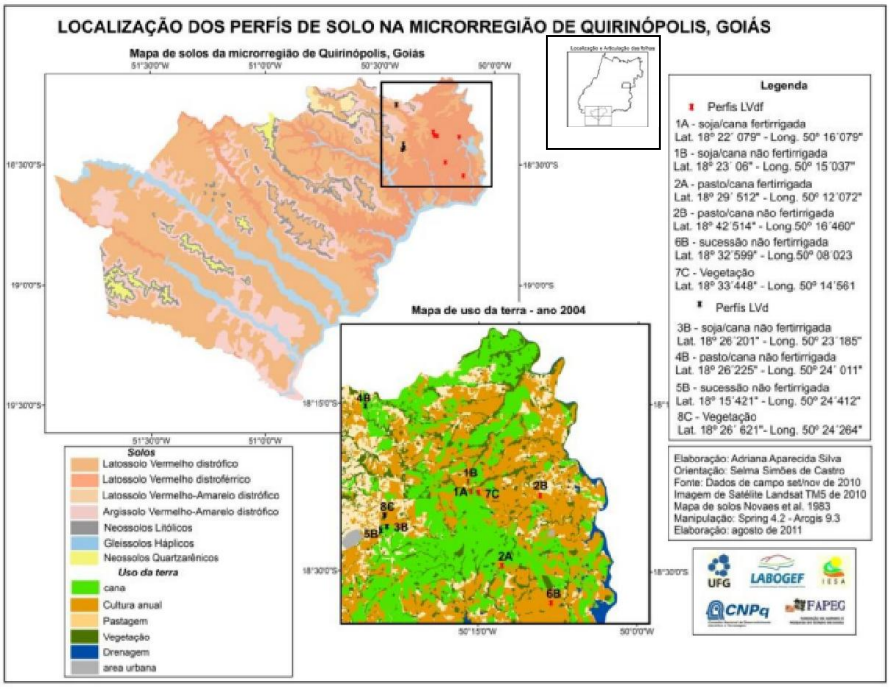
* fertirrigado (A), não fertirrigado (B) Fonte: Adaptado de Borges (2011).

Quadro 5. Caracterização dos perfis de solo estudados.

Perfil	Elementos do meio físico				Uso e manejo	
	solo	**Geologia**	**Declividade**	**Altitude**	**Uso da terra anterior à cana/vegetação**	**Fertirrigação**
1A	LVdf	Basalto	0 a 3%	576	Soja	Fertirrigada
1B				540		Não fertirrigada
2A				503	Pastagem	Fertirrigada
2B				460		Não fertirrigada
6B				458	Sucessão: pasto/soja/cana	
7C				545	Vegetação natural	-
3B	LVd	Arenito	0 a 3%	558	Soja	Não fertirrigada
4B			3 a 6%	595	Pastagem	
5B			0 a 3%	633	Sucessão: pasto/soja/cana	
8C			3 a 6%	589	Vegetação natural	-

Fonte: Silva (2012)

Figura 12. Mapa da microrregião de Quirinópolis, Goiás com a localização dos perfis de solos estudados.



Fonte: Silva (2012)

Os perfis foram analisados em faces de trincheiras abertas (cerca de 2,0 x 1,5 x 2,5 m) com realização das descrições morfológicas relativas a espessura do horizonte, cor, textura, estrutura, consistência, porosidade, presença de nódulos ou concreções e transição entre horizontes, além de coleta de amostras deformadas (compostas) e indeformadas de cada um dos seus horizontes (anéis volumétricos com três repetições) por horizonte e caixas para confecção de lâminas delgadas para descrição micromorfológica com uma repetição por horizonte) (quadro 3), seguindo-se as recomendações de Santos *et al.* (2005) quanto à coleta de amostras para análises físicas e de amostras indeformadas em anéis volumétricos; e de Castro *et al.* (2003) para a coleta de amostras indeformadas para confecção de lâminas delgadas para estudos micromorfológicos.

As amostras biológicas de organismos edáficos foram colocadas no mesmo dia no funil de Berlese (ANTONIOLLI *et al.*, 2006; AQUINO; ASSIS, 2005), coletados nos respectivos horizontes de cada perfil. Os animais capturados foram fixados em álcool 70% e armazenados em recipientes de vidro, para posteriores identificações. As

amostras microbiológicas foram as primeiras a serem coletadas em recipientes estéreis e armazenadas em isopor (FILIZOLA *et al.*, 2006; FILHO; OLIVEIRA, 2007).

Foram realizados dois trabalhos de campo para descrição morfológica e coletas de amostras. O primeiro foi realizado do dia 01 a 03 de maio de 2010, quando foram descritos os perfis 1A, 1B, 2A, 2B e 7C e coletadas as amostras. Já o segundo foi realizado do dia 03 a 07 de setembro de 2010, quando foram descritos os perfis 3B, 4B, 5B, 6B e 8C e coletadas as amostras (quadro 6).

Quadro 6. Profundidade e manejo dos horizontes e perfis descritos em campo.

Solo	Perfil	Horizonte	Profundidade	Detalhamento do uso/manejo
LVdf	1A	A	0 - 13	Soja/cana-de-açúcar 4º corte fertirrigada
		AB	13 - 50	
		BA	50 - 90	
		Bw_1	90 - 110	
		Bw_2	110 – 150+	
	1B	A	0 -23	Soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	23 - 65	
		BA	65 - 88	
		Bw_1	88 - 116	
		Bw_2	116 – 150+	
	2A	A	0 - 33	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte fertirrigada
		AB	33 - 47	
		BA	47 -77	
		Bw_1	77 - 115	
		Bw_2	115 – 150+	
	2B	A	0 -15	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	15 - 53	
		Bw_2	53 - 102	
		Bw_1	102 – 150+	
	6B	A	0 - 28	Sucessão pasto/soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	28 - 56	
		Bw_2	56 - 90	
		Bw_1	90 – 150+	
	7C	A	0 -20	Vegetação natural (Floresta semidecidual)
		AB	20 - 53	
		BA	53 - 90	
		Bw_1	90 - 130	

		Bw_2	130 – 150+	
LVd	3B	A	0 -30	Soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	30 - 70	
		BA	70 - 97	
		Bw_1	97 - 118	
		Bw_2	118 – 150+	
	4B	A	0 -20	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	20 - 44	
		BA	44 - 72	
		Bw_1	72 - 119	
		Bw_2	119 – 150+	
	5B	A	0 - 29	Sucessão pasto/cana-de-açúcar/ cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	29 – 56	
		BA	56 – 73	
		Bw_1	73 – 97	
		Bw_2	97 – 150+	
	8C	A	0 - 13	Vegetação natural (Floresta semidecidual)
		AB	13 - 41	
		BA	41 - 60	
		Bw_1	60 - 88	
		Bw_2	88 – 150+	

A – perfil fertirrigado; B – perfil não fertirrigado; C – vegetação natural

Fonte: Silva (2012)

As figuras 13 a 17 mostram os perfis estudados:

Figura 13. Fotos mostrando os perfis 1A e 1B: A) Perfil 1 A - Latossolo Vermelho distroférrico sucessão soja/cana - fertirrigada 1º ciclo – 4º corte; B) Perfil 1B - Latossolo Vermelho distroférrico sucessão soja/cana – não fertirrigada 1º ciclo – 4º corte.

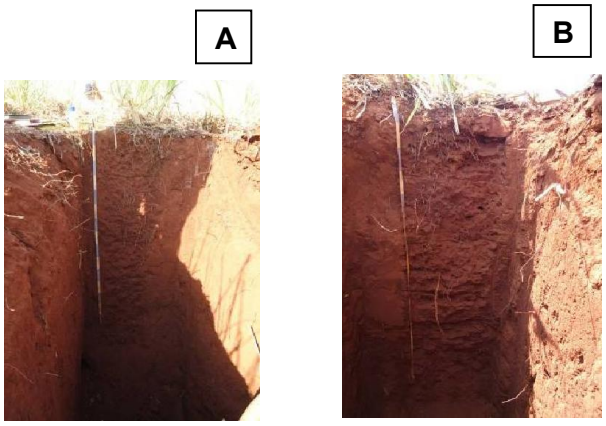


Figura 14. Fotos mostrando os perfis 2A e 2B: A) Perfil 2A Latossolo Vermelho distroférrico sucessão pasto/cana - fertirrigada 1º ciclo – 4º corte; B) Perfil 2B Latossolo Vermelho distroférrico sucessão pasto/cana – não fertirrigada 1º ciclo – 4º corte.

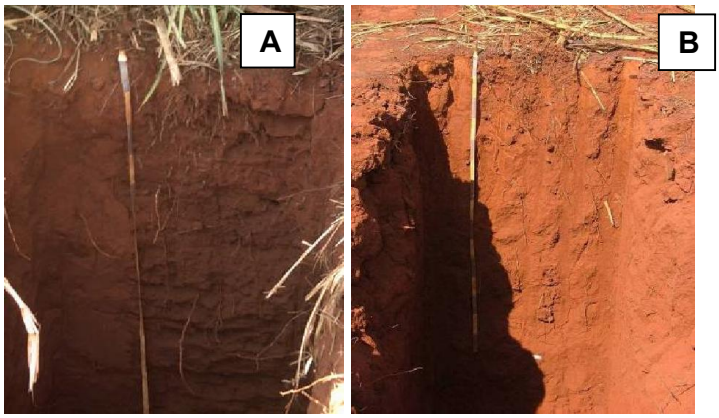


Figura 15. Fotos mostrando os perfis 6B e 7C: A) Perfil 6B Latossolo Vermelho distroférrico rotação pasto/soja/cana – não fertirrigada, 1º ciclo – 4º corte; B) Perfil 7C Latossolo Vermelho distroférrico - Vegetação natural.

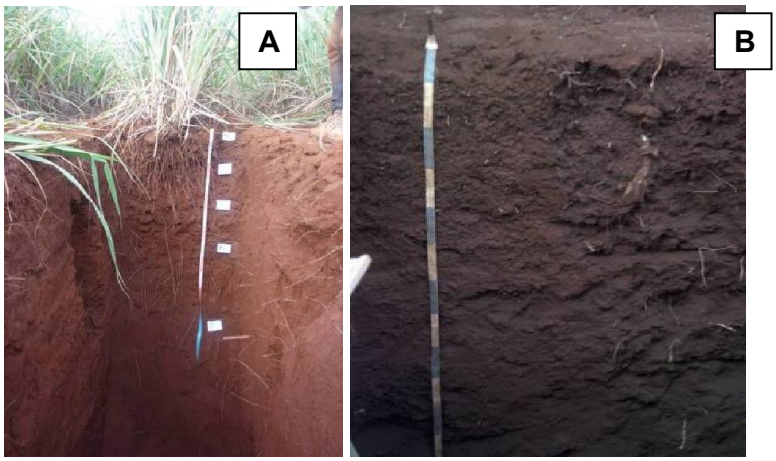


Figura 16. Fotos mostrando os perfis 3B e 4B: A) Perfil 3 B Latossolo Vermelho distrófico sucessão soja/cana – não fertirrigada 1º ciclo – 4º corte; B) Perfil 4 B Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sucessão pasto/cana – não fertirrigada 1º ciclo – 4º corte.

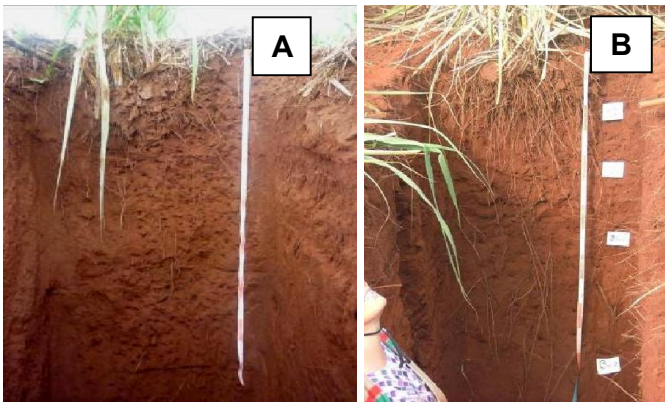
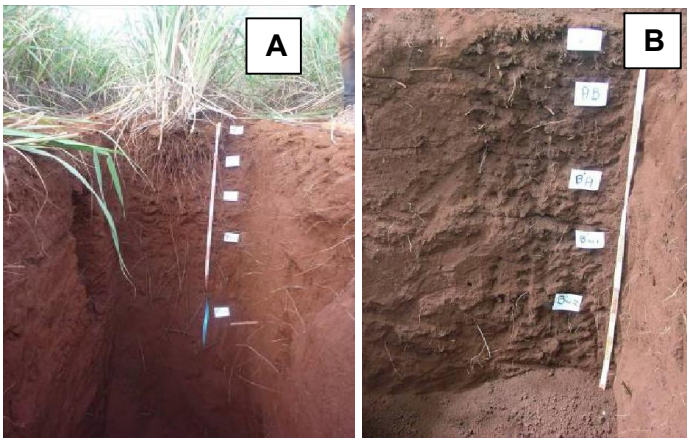


Figura 17. Fotos mostrando os perfis 5B e 8C: A) Perfil 5 B Latossolo Vermelho distrófico rotação pasto/soja/cana – não fertirrigada 1º ciclo – 4º corte; B) Perfil 8C Latossolo Vermelho distrófico – Vegetação natural.



Água

As coletas de água foram conduzidas em dois córregos localizados no município de Quirinópolis. O município de Quirinópolis está localizado nas sub-bacias do Rio dos Bois, Rio São Francisco e Rio Preto (IBGE, 2009), como exposto. Nele foram amostrados dois córregos, sendo um referente à bacia do Rio Preto, com 2340,83

km^2, sub-bacia do Córrego Limeira, com 40,25 Km^2 e extensão de 22,243 Km e localizado próximo à Usina sucroalcooleira Boa Vista. Outro córrego amostrado foi da bacia do Rio dos Bois, com 34.812,06 Km^2, sub-bacia do Córrego do Lajeado, com 70,59 Km^2 e extensão de 33,43 Km, localizado próximo à Usina sucroalcooleira São Francisco (figura 18).

As sub-bacias estudadas estão localizadas em posição a montante da cidade de Quirinópolis, a uma altitude de 506 e 542 m e a jusante entre 405 e 542 m. Quanto à declividade, a montante, apresenta uma declividade de 5 a 13 % e, a jusante, uma declividade de 13 a menor que 7,8 % (figuras 18, 19 e 20). A seleção dos mananciais foi devido à proximidade da cultura de cana-de-açúcar de duas grandes usinas na MRQ.

Figura 18. Localização das áreas das bacias dos córregos amostrados: bacia do Rio Preto/sub-bacia do Córrego Limeira; bacia do Rio dos Bois/sub-bacia do Córrego do Lajeado.

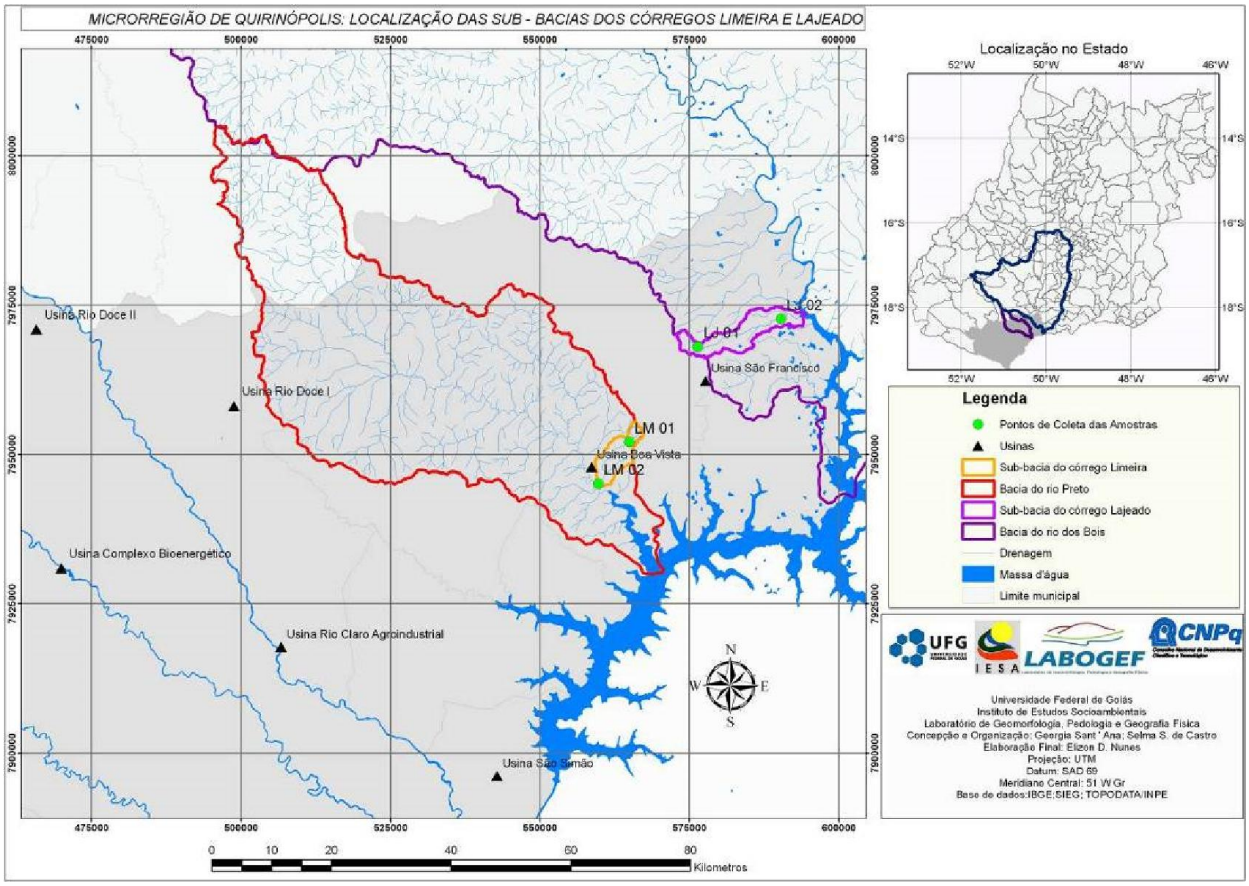
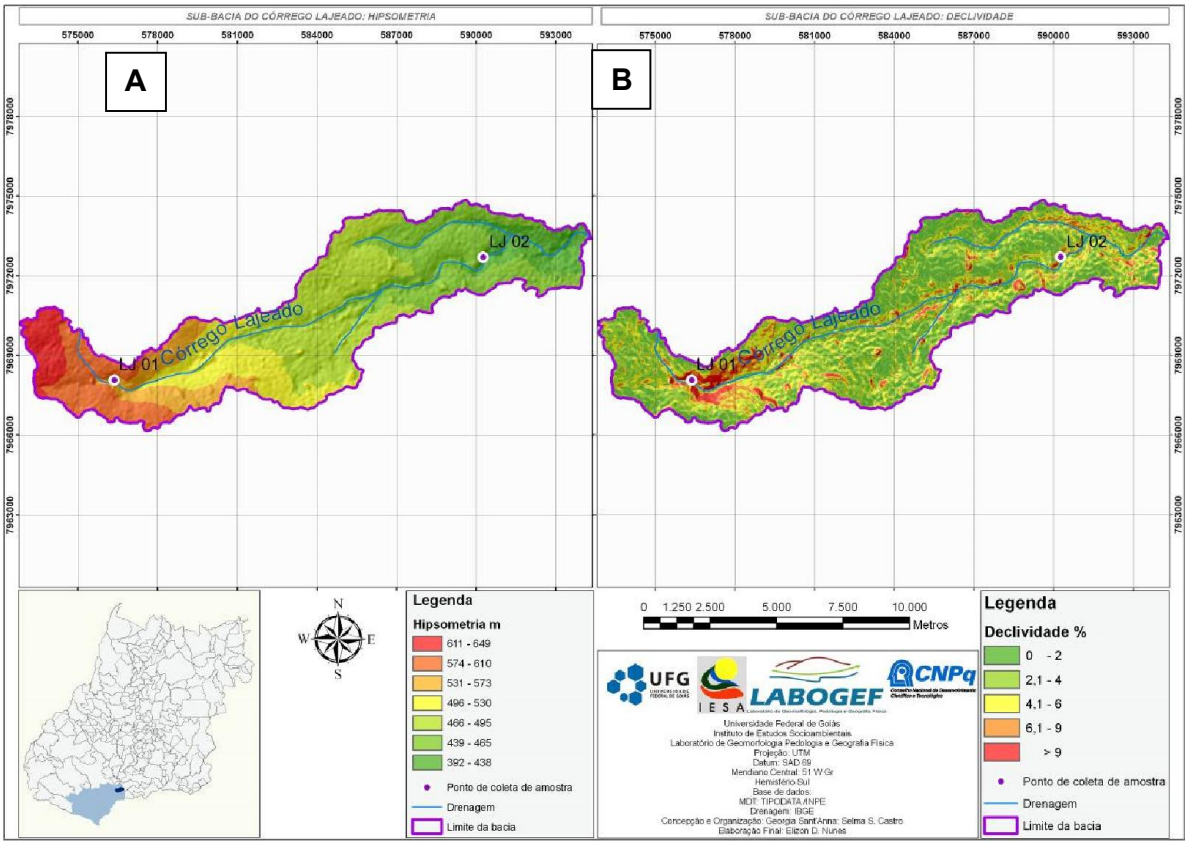


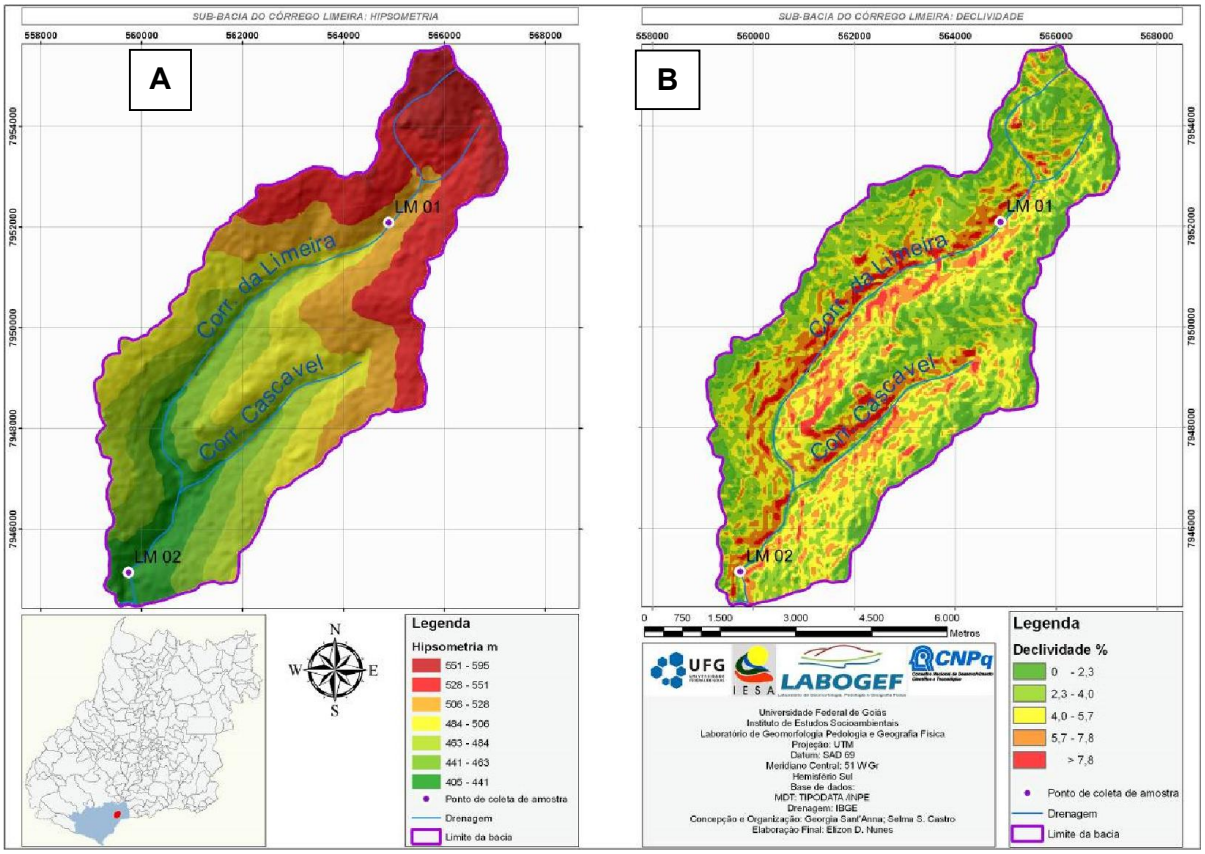
Figura 19. (A) Mapa de hipsometria da sub-bacia do Córrego do Lajeado (B) Mapa de declividade da sub-bacia do Córrego do Lajeado.



O Córrego Do Lajeado, a montante, apresenta água transparente com leito pedregoso. O tipo do solo é Gleissolo, estando situado em área de mata galeria próximo a uma área rural, apresenta profundidade de 0,30 e 0,50 cm, seu leito se encontra sombreado pela vegetação. A jusante do Córrego do Lajeado, apresenta água transparente, mostrando leito argiloso. O tipo do solo também é Gleissolo, possui pouca vegetação nativa, estando bem próximo às áreas de plantação de cana-de-açúcar. O fundo do córrego é argiloso e pedregoso.

Já o Córrego Limeira, a montante, apresenta água transparente e leito argiloso. O tipo do solo é Gleissolo, estando situado em área de mata galeria, com presença de muito material em suspensão. O córrego é sombreado pela vegetação marginal. Não possui um grande volume de água, variando entre 0,40 e 0,60 cm de profundidade, o fundo do córrego é argiloso.

Figura 20. (A) Mapa de hipsometria da sub-bacia do Córrego Limeira (B) Mapa de declividade da sub-bacia do Córrego Limeira.



A jusante do Córrego Limeira, a água é turva com leito argiloso e presença de algumas rochas. O tipo do solo é Latossolo. Possui pouca vegetação nativa em seu entorno, estando próximo à área de cultivo de cana-de-açúcar e uma pequena porção de pasto. A profundidade do córrego é de 0,60 a 0,70 cm. O fundo do córrego é argiloso, com pouca presença de seixos e rocha.

Em cada córrego foram amostrados dois pontos (figura 18), escolhidos por permitirem acesso aos córregos pela existência de trilhas próximas. A localização dos pontos amostrados é apresentada a seguir: Córrego Do Lajeado a montante - LJ1 (S 18º22'32,9" e W 0,50º 16'37,5"); a jusante – LJ2 (S 18º20'02,4" e W 0,50º08'43,0"); Córrego Limeira a montante – LM1 (S 18º31'14,4" e W 0,50º23'06,5"); a jusante – LM2 (S 18º35'01,0" e W 0,50º26'01,8").

As figuras 21 e 22 mostram os córregos estudados:

Figura 21. A) Córrego Do Lajeado a montante; B) Córrego Do Lajeado a jusante. Região de Quirinópolis, Goiânia, Goiás.

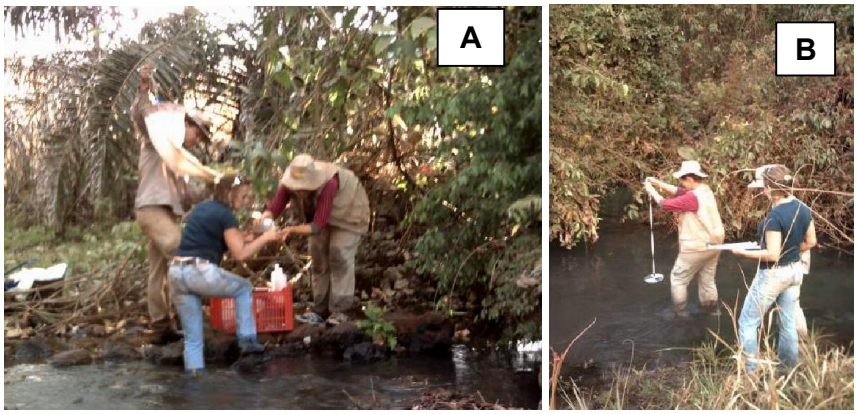


Figura 22. A) Córrego Limeira a montante; B) Córrego Limeira a jusante. Região de Quirinópolis, Goiânia, Goiás.

1.3.3 Análise de dados

Os resultados da fauna edáfica e químicos do solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas. Para execução do cálculo estatístico foi utilizado o software STATISTICA ® versão 8.0 (Statsoft, Inc). Antes das análises os dados foram logaritmizados para estabilizar as variâncias e o nível de significância assumido foi de $\alpha = 0,05$.

Os parâmetros referentes à biomassa microbiana, índices derivados e aos atributos físico-químicos foram submetidos à análise estatística dos componentes principais (ACP). Este método foi adotado por apresentar características de reduzir a multidimensionalidade de conjuntos de dados e gerar eixos interpretáveis (eixos ACP),

encontrando combinações lineares das variáveis, de forma a descrever as fontes mais importantes de variação na ordenação dos dados (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998). Foram realizadas duas ACPs: uma para os parâmetros biológicos/ diferentes perfis de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico com diferentes tipos de manejo e outra para os atributos químicos. As análises dos componentes principais foram realizadas com o software STATISTICA ® versão 8.0 (Statsoft, Inc).

Todas as variáveis da água (temperatura da água, condutividade elétrica, alcalinidade, turbidez, nitrato, nitrogênio total, íon amônio, fosfato, fósforo total, potássio, sódio, teor de cloretos, sólidos totais, cobre, cadmo, cobalto, cromo total, zinco, manganês, ferro total, glicofosato, clorofila a, demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido) foram submetidas a análises qualitativas.

1.4 Referências

ABDALA, K.; CASTRO, S. S. de. Dinâmica do uso do solo da expansão sucroalcooleira na Microrregião Meia Ponte, Estado de Goiás, Brasil. In: Seminário Latino-Americano de Geografia Física, 6. 2010. Anais. Disponível em: HTTP://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus. Acesso em 02 jul. 2010.

ABRON, L. A.; CORBITT, R. A. Air and water quality standards. In: CORBITT, R. A. Standard Handbook of Environmental Engeneering. 2 ed., McGraw-Hill, 1999. p. 3.1-3.33.

AGRITEMPO – Sistema de Monitoramento Agroecológico. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br> Acesso em 13 mai. 2012.

AGUIAR, L. H.; DE CORRÊA, C. F.; MORAES, G. Efeitos do pesticida organofosforado methyl parathion (Folidol 600^{R}) sobre o metabolismo e atividade de colinestrases do teleósteo de água doce, *Brycon cephalus* (Matrinxã) (Gunther,1869). Ecotoxicologia perspectivas para o século XXI. Rima editora. São Carlos, 2000, p. 115-126.

ALEXANDER, M. *Introduction to soil Microbiology*. NewYork: John Wiley, 1961, 472 p.

ALLAN, J. D. *Stream Ecology*: Structure and function of running waters. London: Chapman; Hall, 1993, p. 32-43.

ALMEIDA, J. A. MAÇANEIRO, K. C.; KLAMT, E. Mineralogia da fração argila de solos vermelhos com horizontes superficiais brunados do Planalto de Lages, SC. *R. Bras. Ciênc. Solo*, 2000, 24: 815-828.

ALVARENGA, M. I. N. Propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-escuro em diferentes ecossistemas. 1996, 211 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia/Silvicultura) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 1999, v. 23, n. 4, p. 933-942.

ANDRADE, L. A. B. Efeitos da incorporação de Crotalaria juncea L. sobre algumas características do solo e do desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). 1982. 129 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba – SP, 1982.

ANTONIOLLI, Z. I; CONCEIÇÃO, P.C; BOCK, V; PORT, O; SILVA, D. M; SILVA, R. F. Método Alternativo para Estudar a Fauna do Solo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 2006, v.16, n.4, p. 407-417.

AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. *Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta*. Brasília: EMBRAPA, 2005, 368 p.

ARAUJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal*, 2007, v. 23, p. 66-75.

ARAÚJO, J.C.; SANTAELLA, S.T. Gestão da Qualidade. In: Gestão das Águas. Nilson Campos e Ticina Studart (Edit.). Porto Alegre: ABRH. 2. ed., 2001, 242 p.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2007, v. 31, n. 5, p. 1099-1108.

ARIAS, M. E.; GONZÁLEZ-PEREZ, J. A.; GONZÁLEZ-VILA, F. J.; BALL, A. S. Soil health – a new challenge for microbiologists and chemists. *International Microbiology*, 2005 V.8, p. 13-21.

ARSHAD, M. A. COEN, G. M. Characterization of soil quality Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* Cambridge, v. 7, n. 1 e 2, p. 25-31, 1992.

ASSATO, M. M. Impactos socioeconômicos da expansão do setor bioenergético do Estado de Mato Grosso do Sul: os casos dos municípios de Nova Alvorada do Sul e Rio Brilhante. 2010. 101 p. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba – SP, 2010.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo de sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1998, v. 22, p. 641-649.

BARBALHO, M. G. da S. CAMPOS, A. B. Vulnerabilidade natural dos solos e águas do estado de Goiás à contaminação por vinhaça utilizada na fertirrigação da cultura da cana-de-açúcar. *Boletim Goiano Geográfico*, Goiânia, 2010, v. 30, n. 1, p. 155-170.

BARBALHO, M. G. da S.; SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. A. expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar na região sul do estado de Goiás de 2001 a 2011. Revista Brasileira de Ciências Ambientais. São Paulo, 2013, v. 29, p. 98-109.

BARBOSA, L. A. Impacto de sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar, nos atributos do solo. 2010. 93p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2010.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; BERTOL, I; ALVES, M. V.; MANFOI, A.F; BARETTA, C. R. D. M. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no planalto sul Catarinense. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, 2006, v.5, n.2, p. 108-117.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. ver. E atual. Porto Alegre: *Metrópole*, 2008, cap. 2, p. 7-18.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. Piracicaba: Livroceres, 1985.

BIERREGAARD, R. O. JR. The biology and conservation status of Central and South American Falconiformes: a survey of current knowledge. *Bird Conserv. Intern*. 325-340 p., 1995.

BORGES, V. M. S. Formação de uma nova centralidade do setor sucroenergético no Cerrado: o caso de Quirinópolis, Estado de Goiás. 2011. 333 f. Tese (Doutorado) Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

BORGES, V. M. S.; SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. de. Caracterização edafoclimática da microrregião de Quirinópolis/GO para o cultivo da cana-de-açúcar. Anais... VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Recife, 2010.

BRITO, L. T. de L.; *et al.* Uso de análise multivariada na classificação das fontes hídricas superficiais da bacia hidrográfica do Salitre. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 2006, v. 26, nº 1.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, v. 19, p. 269-279.

CALLISTO, M.; MORENO, P.; BARBOSA, F. Habitat diversity and benthic functional trophic groups at Serra do Cipó, Southeast Brazil. Brazilian Journal of Biology, 2001, 61(2). P. 256-266.

CANASAT – Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra. INPE-Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/canasat/ > Acesso em 17 abril. 2012.

CANELLAS, L. P.; VELLOS A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2003, v. 27, p. 935-944.

CARNEIRO, G. T.; SILVA, A. A.; CASTRO, S. S.; FARIA, K. M. S.; SIQUEIRA, M. N. Fragmentação da paisagem na microrregião de Quirinópolis, Goiás no ano de 2010: Uma análise ecológica da paisagem. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOLOGIA DE PAISAGENS. Anais. Salvador: IALE-BR, 34, 2012.

CARNEIRO, M. A.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2009, v. 33, n.1, p. 147-157.

CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORRELL, D. L.; HOWARTH, R. W.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 1998, v. 8, p. 559-568.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. *Revista Brasileira de Agrociência*. 2007, v. 13, p.195-203.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. *Revista Brasileira de Agrociência*. 2007, v. 13, p.195-203.

CASTRO, S. S. de, BORGES, R. de O., SILVA, R. A. A. da, BARBALHO, M. G. da S. Estudo da expansão da cana-de-açúcar no Estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: SBPC, II Fórum de C;T no Cerrado. Goiânia: SBPC, 2007.

CASTRO, S. S. de; ADBALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no Estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, 2010, v.30, nº 1. p. 171 – 191.

CASTRO, S. S.; COOPER, M.; SANTOS, M. C. P. VIDAL TORRADO. *Micromorfologia do solo*: Bases e Aplicações. Tópicos de Ciências do Solo, c. 3. 2003, p.107-164.

CAVALCANTI, B. R. Modelagem e monitoramento de estrutura da avifauna de ambientes fragmentados: exemplos do Cerrado. Em: ALVES, M. S. A.; SILVA, J. M. C., VAN SLUYS, M.; BERGALLO, H. G.; ROCHA, C. F. D. Ornitologia do Brasil: pesquisa e atual perspectiva. Ed. UERJ. Rio de Janeiro, 2000, p. 60-80.

CHAER, G. M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. 2001. 100p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2001.

COELHO, D. G.; SANTOS, T. M. C.; ALBUQUERQUE, L. S.; CAMPOS, V. B. C.V; PRAZERES, S. S. Quantificação de fungos celulolíticos em solos de três ecossistemas. Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil), 2008, v.1, n.3, p.45-49.

COELHO-FILHO, S. E. N.; WALKER, I. Efeitos da ocupação urbana sobre a macrofauna de invertebrados aquáticos de um Igarapé da Cidade de Manaus/AM – Amazônia central. *Acta Amazônica*. 31 (I): 2001, p. 69-89.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril. Brasília: Conab, 2012. Disponível em: <www.conab.gov.br> Acesso em 24 abr. 2012.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF, cap. 03, 2005.

CONSERVATION INTERNATIONAL. Hotspots revisitados. Disponível em: < http://www.conservation.org.br/publicações/files/HotspostsRevisitados.pdf >. Acesso em 10 de abril de 2013.

CONTE, M. L.; LEOPOLDO, P. R. *Avaliação de recursos hídricos*: Rio Pardo, um exemplo. São Paulo: Unesp, 2001, p. 45-70.

COOPERCITRUS INFORMATIVO AGROPECUÁRIO. A responsabilidade do setor agrícola na preservação da água. Ano XIV – nº 164, p. 16 – junho de 2000.

CORBI, J. J. Influência de práticas de manejo de solo sobre os macroinvertebrados aquáticos de córregos: ênfase para o cultivo de cana-de-açúcar em áreas adjacentes. 2006. 92 f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 2006.

CORBI, J. J.; SAMPAIO, E. V.; DE RIBEIRO, V. R.; DOMINGOS, M. D.; FERRAZ FREIRE, C.; FERREIRA, P. S.; PELAEZ RODRIGUEZ, M.; ROJAS, N. T.; STRIXINO, S. T. Levantamento preliminar da entomofauna aquática do centro nacional de pesquisa de peixes tropicais (CEPTA), *Bol. Téc.* Cepta, v. 13, 2000, p. 20-48.

COSTA, E. A.; GOEDERT,W. J.; SOUZA,D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 2006, v. 41, n. 7, p. 1185-1191.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E. D.; ANGHINONI, I.;FLORES, J. P. C.; CAO, E. G.; Phosphorus and root distribution and corn growth as related to long-term tillage systems and fertilizer placement. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2009, v. 33, n. 5, p. 1237-1247.

CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient dynamics within Amazonian forests. II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia*, Berlin, 1988, v. 76, n. 2, p. 222–35.

CUMMINS, K. W. Structure and function of stream exosystems. *Bioscience*, 1974, v. 24, p. 631-641.

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I – physical and chemical aspects. *Water Science Technology*, 1981, v.19, n.8, p.155-165.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. *Vocabulário de ciências do solo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993, 90 p.

DBO ENGENHARIA. Estudo de Impacto Ambiental para instalação da Usina São Francisco de açúcar e Álcool S/A. Rov. GO-206, km 18 Fazenda São Francisco, Quirinópolis, Goiás, 2004, 350 p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In.: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: SSSAJ, 1994, p.3-22 (Publication Number 35).

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, 1996, v. 56, p. 1-54.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006, 306 p.

ERNANI, P. R. *Notas sobre química do solo*. Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. 2001. 50 p.

FARIA, A. P.; MARQUES, J. S. "o desaparecimento de pequenos rios brasileiros"., 1999, 146(25) 56-61. *Ciência Hoje*

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991, 224p.

FERRAZ, R. P. D. Sistema de indicadores para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica e monitoramento da cultura da cana-de-açúcar – contribuição

metodológica para o planejamento da expansão da atividade canavieira. 2012. 313 f.(Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2012.

FERRO, J. A.; MACCHERONI, W.; ULIAN, E. C. A importância da biotecnologia para o futuro da cana-de-açúcar. In: PINTO, A. S.; SCANDIUZZI, G. F. Revista Protec: edição especial cana-de-açúcar. Piracicaba. Facile, p. 35-38, 2009.

FILHO, G. N. S.; OLIVEIRA, V. L. *Microbiologia*: Manual de aulas práticas. Florianópolis-SC: Editora UFSC, 2007, 80 p.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. *Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas para Análise da Qualidade Ambiental*: Solo, Água e Sedimentos. Jaguariúna-SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, 169 p.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A.C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 2007, v. 37, n. 1, p. 22-30.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Tillage Research*, 2007, v. 92, p.18-29.

FREITAS, P. L.; FIDALGO, E. C. C.; MANSUR, K. L.; BENITES,V. M.; FERNANDES, N. F. Uma proposta de planejamento conservacionista das terras e modelagem preditiva de sistemas aquíferos do cristalino. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, Niterói, 2005, p. 112.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênesis, 1999. p. 227-243.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008, v. 32, p. 1521-1530.

GIUFFRÉ, L.; ROMANIUK, R.; CONTI, M. E.; BARTOLONI, N. Multivariate evaluation by quality indicators of no tillage system in Argiudolls of rolling pampa (Argentina*). Biology Fertility Soils*, Firenzi, 2006, v. 42, p. 556-560.

GOEDERT, W.; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola In NOVAS, R. F. ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F. CANTARUTTI, R. B.;NEVES, J. C. L. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 991-1017.

GONÇALVES, N. H. Manejo do solo para implantação da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba, CP 2, 2006, 415 p.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. *Princípios de Estatística em Ecologia*. Ed. ARTMED, Porto Alegre. 2011. 528 p.

GOULART, M. D.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. Rio de Janeiro, Revista FAPAM, 2003.

GREGORY, S. V.; SWANSON, F. J.; MICKEE, W. A.; CUMMINS, K. W. An ecosystem perspective of riparian zones: focus on links between land water. *Bioscience*, 1991 v. 41, p. 540-551.

HENCH, K. R.; BISSONNETTE, G. K.; SEXSTONE, A. J.; COLEMAN, J. G.;GARBUTT, K.; SKOUSEN, J. G. Fate of physical, chemical, and microbial contaminants in domestic wastewater following treatment by small constructed wetlands. *Pergamon Water Research*, 2003. p. 921-927.

HESPANHOL, I. Manejo integrado dos recursos hídricos. In: TUCCI, C.E.M. Gestão da água no Brasil. Cap. 2. Brasilia. Ed. Unesco, 2001, p. 27-39.

HYNES, H. B. N. The stream and its valley. Verhandlungen der Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie, 1975, v. 19, p. 1-15, 1975.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema de Informações Estatísticas e Geográficas. Rio de Janeiro. 2009, 200 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE/SEPAN. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br > Acesso em: 24 nov. 2013.

INTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA DE SANTA CATATINA. Avaliação do projeto microbacias I: monitoramento da qualidade da água Relatório de Avaliação Final. Florianópolis: ICEPA, outubro de 1999.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B. dos; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 2008, v. 38, n. 2, p. 118-127.

JARDIM, W. F. A contaminação dos recursos hídricos por esgoto doméstico e industrial. *Quim. Nova*, 1992, v. 15, p. 144-146.

JENDIROBA, E. A expansão da cana-de-açúcar e as questões ambientais. In: SEGATO, S. V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. Expansão e renovação de canavial. Piracicaba, CP 2, 2006, 415 p.

JENKINSON, E. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). *Soil Biochemochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1981. v. 5, p. 415-471. (Books in Soil and the Environment).

JENNY, H. *Factors of soil formation*. New York, McGraw-Hill, 1941, 281 p.

JUNIOR, P. P. Bioindicadores de qualidade do solo em cultivos de cana-de-açúcar sob diferentes manejos. Dissertação (Mestrado – Agronomia) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, 95 f., 2012.

KARR, J. R.; SCHLOSSER, I. J. Water resources and the land-water interface. *Science*, 1978, v. 201, p. 229-234.

KASPARI, M.; WRIGHT, J.; YAVITT, J.; HARMS, K.; GARCIA, M.; SANTANA, M. Multiple nutrients limit litterfall and decomposition in a tropical forest. *Ecology Letters*, Oxford, 2008, v.11, n.1, p.35–43.

KÕPPEN, W. Klassifications dês klimate nach temperatur, niedershlag und jahrelauf. *Petermans Geographische Mitteilungem*, Goth, 1918, v. 64, p. 193-203.

LATRUBESSE, M. E.; CARVALHO, M. T. Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Secretaria da Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração Goiânia, 2006, 80 p.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecocystem function. *Biology International*, 1996, v. 33, p. 3-16.

LAWRANCE, R.; ALTIER, L. S.; NEWBOLD, J. D.; SCHNABEL, R. R.; GROFFMAN, P. M.; DENVER, F. M.; CORRELL, D. L.; GILLIAM,J. W.; ROBINSON, J. L.; BRINSFIELD, R. B.; STAVER, K. W.; LUCAS, W.; TODD, A. H. Water quality functions of riparian forest buffers in the Chesapeake Bay Watershed. *Environmental Management*, 1997, v. 21, p. 87-712.

LEBAUER, D. S.; TRESEDER, K. K. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. Ecology, Washington, 2008, v. 89, n. 2, p. 371–379.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTES, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio com queima e sem queima do canavial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008, v. 32, p.789-800.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Toposseqüência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2003, v.7, n.3, p.525-532.

MACEDO, I. C. (org.). *Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade*. São Paulo: Berlendis; Vertecchia: ÚNICA - União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, 2005, 200 p.

MAMEDE, L.; ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. dos; NASCIMENTO, M. A. L. S. Projeto RANDABRASIL. Folha SE (Goiânia) Geomorfologia. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (organizadores). Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 180 p.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia. Relação das Unidades Produtoras Cadastradas no Departamento da Cana-de-açúcar e Agroecologia. Posição 22/07/2009. Disponível em http://www.agricultura.gov.br Acesso em 20 de dez. 2012.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e

perenes na região de Primavera do Leste (MT). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2003, v. 27, p.435-444.

MELLONI, R. Quantificação microbiana da qualidade do solo. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental*. Campinas: Instituto Agronômico, 2007, p. 193-218.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P; ALVARENGA, M.I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de minas gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2008, v. 32, n. 6, p. 2461-2470.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; REIS-JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. E. Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade? Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2009. 31p. (Documentos, 246).

MERCANTE, F. M.; FABRÍCIO, A.C.; MACHADO, L.A.Z.; SILVA, W.M. Parâmetros microbiológicos como indicadores da qualidade do solo sob sistemas integrados de produção agropecuária. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004, 27p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa agropecuária Oeste, 20).

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.;OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy*, 2008, v. 34, p.479-485.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*. Porto Alegre, 2002, v. 3, n.4, p. 120-140.

MESQUITA, H. A.; PAULA, M. B.; ALVARENGA, M. I. N. Indicadores de impactos das atividades agropecuários. *Informe agropecuário*, Belo Horizonte, 2000, v. 21, n. 202, p. 57-62, 70-71.

MEYBECK, M.; HELMER, R. *An introduction to water quality*. In: CHAPMAN, D. Water quality assessment. Cambridge University Press. 2002, 585 p.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T. FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e

nitrogênio do solo. In: Tópicos e ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003, v. 3, p. 209-248.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba. CP 2, 2006, 415 p.

NASSAR, A. M.; RUDORFF, L.B.A.; AGUIAR, D.A.; BACCHI, M.R.P.; ADAMI, M. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: ZUURBIER, P.; VOOREN, J.V. (Edit). 2008. Sugarcane Ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment. Wageniguen Publs. Wageninguen: 63-94.

NERY, M. S. Desempenho operacional e econômico de uma colhedora em cana crua. 108 p. Dissertação (Mestrado). ESALQ, Piracicaba – SP. 2000.

NOVAES, A. S. S. AMARAL FILHO, Z. P.; VIEIRA, P. C.; FRAGA, A. G. C. Levantamento Exploratório dos Solos. In: Projeto RADAMBRASIL, Folha SE. 22, Goiânia. Rio de Janeiro: 1983.

NUNES, R. S. Distribuição de fósforo no solo sob dois sistemas de cultivos e diferentes manejos da adubação fosfatada. 2010. 88 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2010.

OLIVEIRA, A. L. R. de. Riscos climáticos e fator de resposta das culturas da cana-de-açúcar e do trigo para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. 2006. 168 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2006.

OLIVEIRA, J. B. Pedologia aplicada. 3º ed. Piracicaba, SP, FEALQ, 2008, 592 p.

OLIVEIRA, R. M. S.; TORNISIELO, V. L. Determinação de resíduos organoclorados no leite bovino na bacia do Cerveiro, Piracicaba, SP. In: VI Encontro de Ecotoxicologia, 2000, p. 95.

OMETO, J. P. H. B.; MARTINELLI, L. A.; BALLISTER, M. V.; GESSNER, A.; KRISCHE, A. V.; VICTORIA, R. L. The effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates rates in two streams of the Piracicaba river basin Southeast Brazil. *Fresh. Biol.* 44:(4), 2000, p. 327-337.

OSTERTAG, R. Effects of nitrogen and phosphorus availability on fine root dynamics in Hawaiian montane forests. *Ecology*, Washington, 2001, v. 82, n. 2, p. 485–499.

PEDROZA, A. O. R. M; CARVALHO, E. M.; MONTEIRO, P. L. A. Aspectos físico-químicos e microbiológicos do córrego Estiva em Rio Brilhante, MS. *Revista InterBio*, Dourados, Mato Grosso do Sul, 2009, v.3 n.1.

PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. *Soil and environmental quality*. CRC Press. 2 ed. Boca Raton: Flórida, 2000, p. 315-338.

PISSARA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). *Rev. Bras. Ciências do Solo*, Viçosa, 2004, n.28, p.297-305.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemestry*, 1987, v. 19, p. 159-164.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. *Biomassa microbiana do solo*. Embrapa Cerrados. Planaltina – DF. 2007. Documentos. 40 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (ed.). *Cerrado ambiente e flora*. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1988, P 89-166.

RIBEIRO, L. F.; TABARELLI, M. A. Structural gradient in cerrado vegetacion of Brazil: Changes in Woody plant density, species richness, life history and plant composition. *Journal of Tropical Ecology*, 2002, v. 18, n. 5, p. 775-794.

RICHARDS, C.; JOHNSON, L. B.; HOST, G. E. Landscape-scale influences on stream habitas and biota. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 1996, p- 295-311.

ROCHA, J. C.; OLIVEIRA, S. C.; SANTOS, A. Recursos hídricos – Noções básicas sobre o desenvolvimento do saneamento básico. *Saneamento Ambiental*, 1996, n. 39, p. 36-46.

ROQUE, F. O.; CORBI, J. J.; TRIVINHO-STRIXINO, S. Considerações sobre o uso de larvas de Chironomidae (Díptera) na avaliação da qualidade da água de Córregos do Estado de São Paulo. In: Ecotoxicologia perspectivas para o século XXI (Eds. Espíndola E. L. G., Paschoal C. M. R. B., Rocha O., Bohrer M. B. C.; Neto A. L. O.), p. 115-126. Rima Editora, São Carlos, 2000.

ROQUE, F. O.; TRIVINHO-XTRIXINO, S. Fragmentação de habitats nos córregos do parque estadual do Jaraguá (SP): possíveis impactos na riqueza de macroinvertebrados e considerações para a conservação in situ. In: II Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, 2000, v. 3.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Ed.). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, p. 163-198.

ROSSETTO, A. J. Utilização agronômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S.B. (ed.). *Cana-de-açúcar*: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435 504.

RUEGGER, M. J. S.; TAUK-TORNISIELO, S. M. Atividade da celulase de fungos isolados do solo da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, 2004, v. 27, n. 2, p. 205-211.

SANTOS, A. Distribuição de metais no reservatório de captação de água superficial Anhumas Américo Brasiliense – SP. USP. 1999. 147 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

SANTOS, J. L. S. Qualidade do solo após implantação do sistema integração lavoura-pecuária em pastagem degradada no cerrado. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Goiás – Escola de Agronomia, Goiânia, GO, 2009.

SANTOS, M. H. M. e C. A expansão canavieira em Goiás e seus reflexos: exemplo de Santa Helena de Goiás. 1987. 160 f. (Dissertação) Mestrado em Geografia humana. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1987.

SANTOS, R. D. do; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. EMBRAPA. 5ª Ed. Viçosa, 2005, 120 p.

SATO, S.; COMERFORD, N. B. Influence of soil ph on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid Brazilian Ultisol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2005, v. 29, n. 5, p. 685-694.

SCHLOSSER, I. J. Stream fish ecology: a landscape perspective: *Bioscience*, 1991, v. 4, p. 704-712.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação de cana planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima de palhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2010, v. 34, p. 811-820.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A.; JENDIROBA, E.; NÓBREG A, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba. CP 2, 2006, 415 p.

SILVA JUNIOR, C. A.; BOECHAT,C. L.; CARVALHO, L. A. Atributos Químicos do solo sob conversão de floresta Amazônica para diferentes sistemas na região Norte do Pará, Brasil. *Biosc. Journal*, Uberlândia, 2012, v. 28, n. 4, p. 566-572.

SILVA, A. A. Transformações no uso da terra e na estrutura de solos no cerrado em áreas de expansão da cana-de-açúcar – O caso da Microrregião de Quirinópolis, Goiás. 2012. 134 f. Tese (Doutorado - Geografia) – Universidade Federal de Goiás/ Instituto de Estudos Socioambientais, Goiânia – GO, 2012.

SILVA, A. A.; CASTRO S. S. Potencial e risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, sudoeste do estado de Goiás. *Revista Territorial*, Cidade de Goiás, Goiás, 2013 v.2, n.1, p.106-127.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. Dinâmica de uso da terra e expansão da cana-de-açúcar entre os anos de 2004 a 2010, na microrregião de Quirinópolis, Goiás. In: PIETRAFESA, J. P.; SILVA, S. D. de (org.). *Transformações no Cerrado*: progresso, consumo e natureza. Goiânia: Ed. Da PUC Goiás, 2011, p. 155-170.

SILVA, A. S. M.; NORI, P. G.; LINO, C. B. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambienta*l, Campina Grande, PB, 2007, v.11, n.1, p.108–114.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos cerrados*. 1 ed. Planaltina: Embrapa, 1997, p. 467-517.

SIQUEIRA, G. W.; BRAGA, E. S. Avaliação da dinâmica e da biodisponibilidade de Zn, Ni, Co e Pb para a biota a partir de sedimentos da plataforma continental do Amapá, Nordeste da Amazônia. Ecotoxicologia perspectivas para o século XXI. Rima editora. São Carlos, 2000, p. 115-126.

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA,J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental Pollution, 1999, v. 100, p. 179-196.

SOUZA JUNIOR, J. J. *Mapa de Geologia*. In: Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais, 31. Folha SE. 22. Rio de Janeiro: 1983.

STABEN, M. L.; BEZDICEK, D. F.; SMITH, J. L.; FAUCI, M. F. Assentement of soil quality in conservation reserve program and wheat -fallow soils. *Soil Science Society of America Journal* v. 61, 1997, p. 124-130.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. *Soil and Plant Science*, 1999, v. 49, p. 1-24.

SWEENEY, B. W. Streamside forest and the physical, chemical, and trophic characteristics of Piedmont steams in eastern North America. *Water Science and Technology*, 1992, v. 26, p. 2653-2673.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press, Berkeley, 1979.

TEDESCO, M. J.; SELBACH, P. A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds*.)* Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2° Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 113-136.

TONELLO, K.C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 2005. 69p.Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: VENEGAS, V. H. A., SCHAEFER, C. E. G. R., BARROS, N. F., MELLO, J. W. V., COSTA, L. M. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. v. II (2002) – Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, P. 195-276.

TRINDADE, R. S.; ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G. Leaf area of common bean genotypes during early pod filling as related to plant adaptation to limited phosphorus supply. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2010, v. 34, n. 1, p. 115-124.

TUNDISI, J. G. *Água no século XXI*: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, IIE, 2003.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo*: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2° Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 113-136.

VEZZANI, F. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 184 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3º ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005, v. 1. 452 p.

WALLACE, J. B.; EGGERT, S. L.; MEYER, J. L.; WEBSTER, J. R. Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science*, 1997, v. 277, p. 102-104.

WANDER, M. M.; BOLLERO, G. A. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Science American Journal*, Madison, 1999, v. 63, n. 4, p. 961-971.

WEBER, R. Sistemas costeiros e oceânicos. *Quim. Nova*, 1992, v. 15, n.2, p. 137-143.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF). Expansão agrícola e perda da biodiversidade no Cerrado: origens históricas e o papel do comércio internacional. Brasília, DF: WWF. Brasil, 2000.

WORLD WLDLIFE FUND (WWF). *Análise da expansão do complexo agroindustrial canavieiro no Brasil*: Documento aberto para consulta pública. Coordenação Técnica: Luiz Fernando Laranja da Fonseca; Ilan Kruglianskas. Brasília: WWF Brasil, 2008.

2. RESULTADOS E DISCUSSÂO

2.1 Apresentação

A sequência das atividades e respectivos focos específicos da pesquisa analisam a influência das diferentes práticas de manejos no cultivo da cana-de-açúcar, em Quirinópolis, Goiás, utilizando-se de indicadores biológicos e físico-químicos sensíveis à qualidade, sobretudo, dos solos além de proceder a uma avaliação muito localizada da água de córregos situados em meio aos talhões de cana, visando contribuir com parâmetros que possam auxiliar na concepção de modelos de sistemas produtivos mais sustentáveis da expansão canavieira recente.

Assim, nesta parte são apresentados os quatro artigos produzidos nesta tese:

Artigo 1 - Atributos químicos de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivados com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos em Quirinópolis, Goiás.

Artigo 2 - Atributos Microbiológicos de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás.

Artigo 3 - A Fauna Edáfica de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos, em Quirinópolis, Goiás.

Artigo 4 - Os aspectos físico-químicos dos córregos Limeira e Do Lajeado em área de cultivo de cana-de-açúcar, em Quirinópolis, Goiás.

O primeiro artigo avalia o efeito dos atributos químicos nos diferentes sistemas de manejo no cultivo da cana-de-açúcar, relativos à qualidade dos solos LVdf e LVd; o segundo artigo trata dos atributos microbiológicos desses mesmos solos, de modo a identificar os seus efeitos e apresentar os índices derivados; o terceiro artigo trata da abundância da fauna edáfica nos referidos solos, de modo a compreender os impactos nela induzidos pelo uso e manejo dos solos; o quarto artigo procede a análise dos aspectos físico-químicos e biológicos da água dos córregos do Lajeado (Bacia do Rio dos Bois) e Limeira (Bacia do Rio Preto), envolvidos pelos talhões da cana-de-açúcar, visando identificar efeitos do cultivo da cana na qualidade das suas águas.

ARTIGO 1

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLOS VERMELHOS DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR, SOB DIFERENTES MANEJOS, QUIRINÓPOLIS, GOIÁS

Georgia Ribeiro Silveira de Sant'Ana [(1)], Selma Simões de Castro [(2)]

[(1)] Doutoranda do Programa de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás. Cx. Postal 131, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás

[(2)] Professora Drª./Orientadora do Doutorado em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais e do Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás. Cx. Postal 131, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás.

RESUMO

Os parâmetros químicos, físicos e biológicos do solo têm sido modificados com a adoção de diferentes práticas de manejo, como a redução dos teores de matéria orgânica. Estas mudanças podem influenciar em processos como o ciclo energético, biogeoquímico, agregação, atividade biológica e reduzir a sua capacidade produtiva, sobretudo em consequência de cultivos sucessivos. Avaliar as mudanças pode contribuir para melhorar a conservação do solo indicando melhores práticas de manejo. O presente trabalho objetiva avaliar o efeito dos atributos químicos nos diferentes sistemas de manejo no cultivo da cana-de-açúcar, relativos à qualidade de Latossolos Vermelhos na região de Quirinópolis, Goiás. Foram selecionados oito sítios amostrais em áreas ocupadas por Latossolos Vermelhos distroférrico (LVdf) e distrófico (LVd) e mais dois perfis como referência, com vegetação nativa, do tipo Floresta Semidecidual, a qual, antes dos anos 1980, ocupava boa parte do sul dessa microrregião. As descrições e coletas de amostras foram realizadas em cinco horizontes: A, AB, BA, Bw_1, Bw_2. Os diferentes sistemas de manejo na área de cana-de-açúcar provocaram alterações nos atributos químicos. A disponibilidade de fósforo apresentou maior concentração nos perfis 1B do LVdf e 3B do LVd, ambos com manejo anterior soja e atual cana não fertirrigada com vinhaça, devido a aplicação de insumos orgânicos e químicos nos manejos anteriores. Os perfis fertirrigados (1A e 2A) não apresentaram nenhuma melhora no solo. Verificou-se a importância da adoção de sistemas de manejo com aumento do carbono orgânico para melhorar a qualidade do solo.

Palavras-chave: qualidade do solo; agroecossistema; cana-de-açúcar

ABSTRACT

The chemical, physical and biological soil parameters have been modified with the adoption of different management practices, such as reducing the levels of organic matter. These changes may influence processes such as energy cycle, biogeochemical, aggregation, biological activity and reduce its production capacity, mainly as a result of successive crops. Rate changes may help to improve soil conservation indicating better management practices. This study evaluates the effect of chemical properties in different management systems in the cultivation of sugar cane on the quality of Red Oxisols Area Quirinopolis, Goiás eight sampling sites were selected in areas occupied by Red Oxisol distroferric (ROdf) e dystrophic (Rod) and two reference profiles with native vegetation, the type Semidecidual Forest, which, before 1980, occupied most of the south of this microregion. Descriptions and sample collection were performed in five horizons: A, AB, BA, Bw_1, Bw_2. The different management systems in the area of sugar cane caused alterations in chemical properties. The availability of phosphorus showed a greater concentration profiles in ROdf 1B and 3B ROd, both previous and current management soy cane not fertigated with vinasse, because of application of organic and chemical inputs in previous managements. The fertirrigated profiles (1A and 2A) showed no improvement in soil. We verified the importance of adopting management organic carbon increased with systems for improving the soil quality.

Key words: soil quality; agroecosystem; sugar cane

INTRODUÇÃO

Segundo Castro et al (2010), a dinâmica do crescimento da área de plantio da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) no país, desde a segunda metade do século XX, pode ser subdividida em três grandes fases: Fase 1: 1975 a 1987 – Criação do Proálcool, com rápida expansão do plantio e da produção de álcool e redução da produção de açúcar; Fase 2: 1988 a 2000 – Crise do setor quando ocorre a chamada desregulamentação, com extinção do Proálcool e do IAA – Instituto de Açúcar e do Álcool, levando a certa estagnação do setor; Fase 3: 2000-2008 – uma nova expansão, rápida, superando todas as produções das fases anteriores (em 2004 o etanol apresentou crescimento maior que o açúcar em área plantada). De acordo com os dados da Conab

(2012), entre 2000 e 2007, aproximadamente 300 mil ha ao ano foram convertidos em cana no Brasil. A cultura da cana-de-açúcar tem grande destaque no atual cenário agrícola brasileiro (INDICADORES, 2011).O estado de Goiás possui em geral boa aptidão agrícola para o cultivo da cana (CASTRO *et al.*, 2007; MANZATTO *et al.*, 2009).

Segundo dados do CANASAT (2012), o município de Quirinópolis, situado no Sudoeste goiano, com área de produção de 43.502 ha e Gouvelândia com área de produção de 20.850 ha, respectivamente primeiro e oitavo no *ranking* estadual, em relação à área total cultivada, superou o município de Santa Helena de Goiás, durante muito tempo lider na produção no estado de Goiás. Quirinópolis e Gouvelândia somam 64.352 mil ha de área cultivada com cana-de-açúcar o que equivale a 57,77% da área plantada de cana no Estado.

O solo pode ser entendido como um sistema onde fatores bióticos e abióticos estão em interação constante e o fluxo de matéria e energia, que é controlado por seus processos internos e por suas relações com o ambiente externo (ROSCOE *et al.*, 2006). O uso contínuo deste recurso natural por atividades humanas pode alterar a estrutura deste ambiente, como no plantio da cultura de cana-de-açúcar. A conservação do solo é essencial para a reciclagem de elementos químicos, regulação do fluxo hídrico e de energia, armazenamento de C, emissão de gases e manutenção da diversidade da fauna e da flora (MENDES *et al.*, 2009).

Os parâmetros químicos, físicos e biológicos do solo mudam com a adoção de diferentes práticas de manejo, como, por exemplo, reduzindo os teores de matéria orgânica (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Estas alterações podem influenciar processos como o ciclo energético, biogeoquímico, agregação, menor atividade biológica (ALVARENGA *et al.*, 1999), e consequentemente, reduzir a capacidade produtiva do solo, pelos cultivos sucessivos (SOUZA *et al.*, 2010). A busca pela conservação da base de sustentação dos sistemas de produção é o desejo de muitos pesquisadores (MERCANTE *et al.*, 2008; LISBOA *et al.*, 2012).

Na escolha de propriedades indicadoras de qualidade do solo deve-se considerar, dentre outros, os seguintes aspectos: facilidade de medição, respostas às mudanças, limite claro entre condições de sustentabilidade e não sustentabilidade e relação direta com requerimentos de qualidade do solo (GOEDERT; OLIVEIRA, 2007). Neste sentido, este trabalho se propõe avaliar o efeito dos atributos químicos nos diferentes

sistemas de manejo no cultivo da cana-de-açúcar, relativos à qualidade de Latossolos, dominantes na região de Quirinópolis, Goiás.

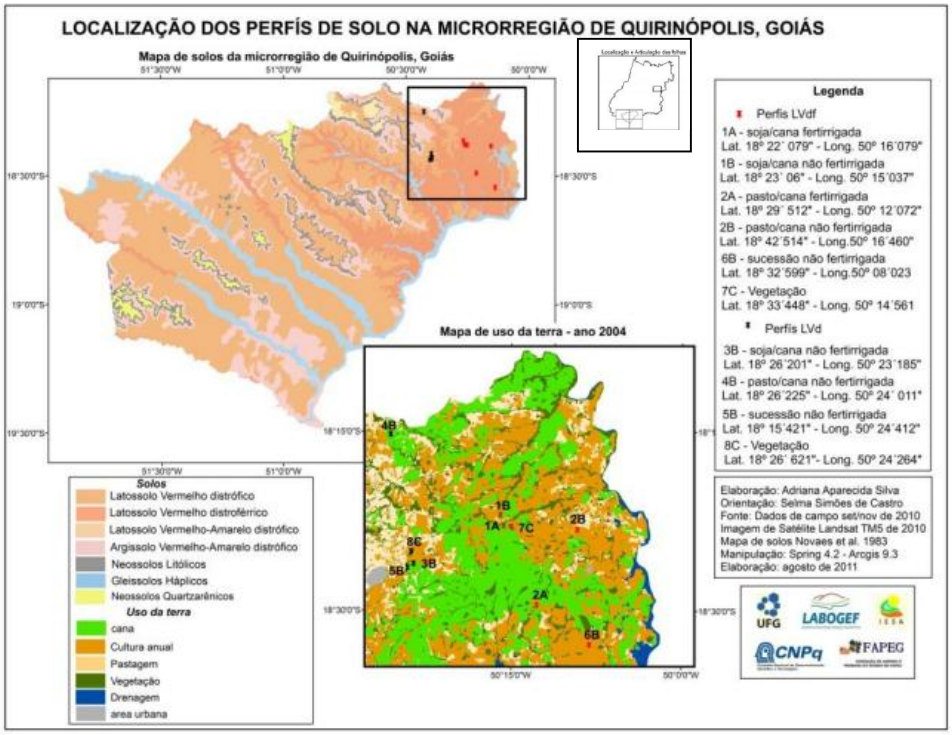
METODOLOGIA

A área de estudo situa-se na região sudoeste de Goiás, microrregião de Quirinópolis (MRQ) (figura 1), onde a expansão da cana-de-açúcar é recente, desde 2004, e vem substituindo inicialmente áreas de grãos, sobretudo soja, e mais recentemente pastagens. Nela, foram selecionados oito sítios amostrais para a abertura de trincheiras e descrição de perfis de solo com cana-de-açúcar, observando características semelhantes em relação ao manejo, todos relativos ao 4º corte do 1º ciclo, plantados com a mesma variedade de cana (SP 8132250) com cultivo e colheita fortemente mecanizada e sem queima (junho 2008, maio 2009, maio 2010), submetido ao mesmo preparo do solo, variando apenas em relação à fertirrigação com vinhaça (quadro 1). As áreas são ocupadas pelo Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) argiloso, antes sob cultivo de grãos, sobretudo soja, onde a expansão se deu inicialmente; e áreas com Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média, antes com pastagem, também convertido em cana-de-açúcar (SILVA; CASTRO, 2011; SILVA, 2012). Acrescentaram-se mais dois perfis em área testemunha, com vegetação nativa, Floresta Semidecidual.

Assim, foram estudados dez perfis de solo (quadros 2 e 3), seis da classe Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf), argiloso, desenvolvido sobre basalto e quatro, da classe Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura média, desenvolvido sobre arenito, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos/SiBCS (EMBRAPA,2006). Arenitos com Basaltos intercalados compõem a geologia regional, pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná, Grupo Bauru, do Cretáceo Superior. Tais solos apresentam aptidão agrícola ao uso intensivo (RAMALHO; BEEK, 1995).

O clima da microrregião de Quirinópolis (MRQ) é Tropical Quente Subúmido, Aw, com duas estações bem definidas e variações sazonais significativas quanto à umidade, precipitação e temperatura, de acordo com a tipologia climática estabelecida por Kõppen (1918). A estação úmida se estende de outubro a março e inverno seco de junho a setembro, com transições entre períodos úmidos e secos. O volume anual de chuvas é de 1700 mm e a amplitude térmica de cerca de 15ºC, ficando a média térmica anual em 24^0C. Tal clima é favorável ao cultivo da cana-de-açúcar.

Figura 1. Mapa da microrregião de Quirinópolis, Goiás com a localização dos perfis de solos estudados.



Quadro 1. Preparo do solo utilizado nos oito pontos amostrais com cultura de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás.

Uso anterior /cana Solo/Sucessão de uso*	Preparo e conservação do solo		
	Atividade	**Quantidade**	**Período/ano**
soja/cana **1A – LVdf** **1B – LVdf** **3B – LVd**	Construção de terraços	-	Agosto/2006
	Subsolagem	-	Agosto/2006
	Grade pesada	-	Agosto/2006
	Calagem	3 t/ha	Set/2006 – jun/2009
	Gessagem	1,5 t/ha	Set/2006 – jun/2009
	Fosfatagem	0,23 t/ha	Setembro/2006
pasto/cana **2A – LVdf** **2B – LVdf** **4B – LVd**	Grade leve	-	Setembro /2006
	Dessecação (glifosato)	5 l/ha	Outubro/2006
	Sulcação e adubação (05-25-25)	0,6 t/ha	Novembro/2006
	Cobrição (regent 800 WG)	0,25 kg/ha	Novembro/2006
pasto/soja/cana **5B – LVd** **6B – LVdf**	Quebra lombo	-	Fevereiro/2007
	Adubação de cobertura (31-00-00)	0,20 t/ha	Jun/2008 – jun/2009
	Herbicida pré-emergente	0,14 kg/ha	Jun/2008 – jun/2009
	Controle de broca (vespa)	4 copos/ha	Dez/2008 – Dez/2009
	Controle de cigarrinha	0,8 kg/ha	Jan/2009 – Jan/2009
soja/cana **1A – LVdf** **Pasto/cana** **2A – LVdf**	Fertirrigação (vinhaça)	150 m^3/ha	Junho/2008

* fertirrigado (A), não fertirrigado (B) Fonte: Adaptado de Borges (2011).

Quadro 2. Caracterização dos perfis de solo estudados.

Perfil	Elementos do meio físico				Uso e manejo	
	Solo	**Geologia**	**Declividade**	**Altitude**	**Uso da terra anterior à cana/vegetação**	**Fertirrigação**
1A	LVdf	Basalto	0 a 3%	576	Soja	Fertirrigada
1B				540		Não fertirrigada
2A				503	Pastagem	Fertirrigada
2B				460		Não fertirrigada
6B				458	Sucessão: pasto/soja/cana	
7C				545	Vegetação natural	-
3B	LVd	Arenito	0 a 3%	558	Soja	Não fertirrigada
4B			3 a 6%	595	Pastagem	
5B			0 a 3%	633	Sucessão: pasto/soja/cana	
8C			3 a 6%	589	Vegetação natural	-

Fonte: Silva (2012)

Os perfis foram analisados em faces de trincheiras abertas (cerca de 2 x 1,5 x 2,5 m) com realização de descrições morfológicas baseadas no protocolo de Santos *et al.* (2005) (quadro 3). As descrições e coletas de amostras foram realizadas em maio de 2010 (perfis 1A, 1B, 2A, 2B e 7C) e setembro de 2010 (3B, 4B, 5B, 6B e 8C). Em cada perfil as amostragens foram realizadas em cinco profundidades (quadro 3) respeitando os horizontes naturais do solo, com três repetições somando 1 Kg cada, as quais foram homogeneizadas e levadas ao Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF/IESA/UFG), onde foram secas à sombra, passadas em peneiras com malha 2,0 mm e em seguida enviadas ao Laboratório Agropecuário Solocria Ltda para as análises de textura e fertilidade.

Quadro 3. Profundidade e manejo dos horizontes e perfis descritos em campo.

Solo	Perfil	Horizonte	Profundidade	Detalhamento do uso/manejo
LVdf	1A	A	0 – 13	Soja/cana-de-açúcar 4º corte fertirrigada
		AB	13 – 50	
		BA	50 – 90	
		Bw_1	90 – 110	
		Bw_2	110 – 150+	
	1B	A	0 -23	Soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	23 – 65	
		BA	65 – 88	
		Bw_1	88 – 116	
		Bw_2	116 – 150+	
	2A	A	0 – 33	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte fertirrigada
		AB	33 – 47	
		BA	47 -77	
		Bw_1	77 – 115	
		Bw_2	115 – 150+	
	2B	A	0 -15	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte não
		AB	15 – 53	

		Bw_2	53 – 102	fertirrigada
		Bw_1	102 – 150+	
	6B	A	0 – 28	Sucessão pasto/soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	28 – 56	
		Bw_2	56 – 90	
		Bw_1	90 – 150+	
	7C	A	0 -20	Vegetação natural (Floresta semidecidual)
		AB	20 – 53	
		BA	53 – 90	
		Bw_1	90 – 130	
		Bw_2	130 – 150+	
LVd	**3B**	A	0 -30	Soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	30 – 70	
		BA	70 – 97	
		Bw_1	97 – 118	
		Bw_2	118 – 150+	
	4B	A	0 -20	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	20 – 44	
		BA	44 – 72	
		Bw_1	72 – 119	
		Bw_2	119 – 150+	
	5B	A	0 – 29	Sucessão pasto/cana-de-açúcar/ cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	29 – 56	
		BA	56 – 73	
		Bw_1	73 – 97	
		Bw_2	97 – 150+	
	8C	A	0 – 13	Vegetação natural (Floresta semidecidual)
		AB	13 – 41	
		BA	41 – 60	
		Bw_1	60 – 88	
		Bw_2	88 – 150+	

A – perfil fertirrigado; B – perfil não fertirrigado; C – vegetação natural

Fonte: Silva (2012)

As análises seguiram os protocolos da Embrapa (1997). Para cada amostra foram efetuadas as seguintes determinações: pH em $CaC1_2$ (1:2,5); P e K (extração com Mehlich^{-1}, determinação de P por colorimetria e K por fotometria de chama); Ca, Mg (extração com KCl a 1 mol L^{-1}, determinação por espectrofotometria de absorção atômica e titulação); M.O/determinação de matéria orgânica (uso de dicromato de sódio/ colorimetria); Acidez potencial (H + Al / potenciômetro); CTC (Capacidade de troca de cátions), conforme método proposto por Embrapa (1997).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas. Para execução do cálculo estatístico foi utilizado o software STATISTICA ® versão 8.0 (Statsoft, Inc). Antes das análises os dados foram logaritmizados para estabilizar as variâncias e o nível de significância assumido foi de $\alpha = 0,05$.

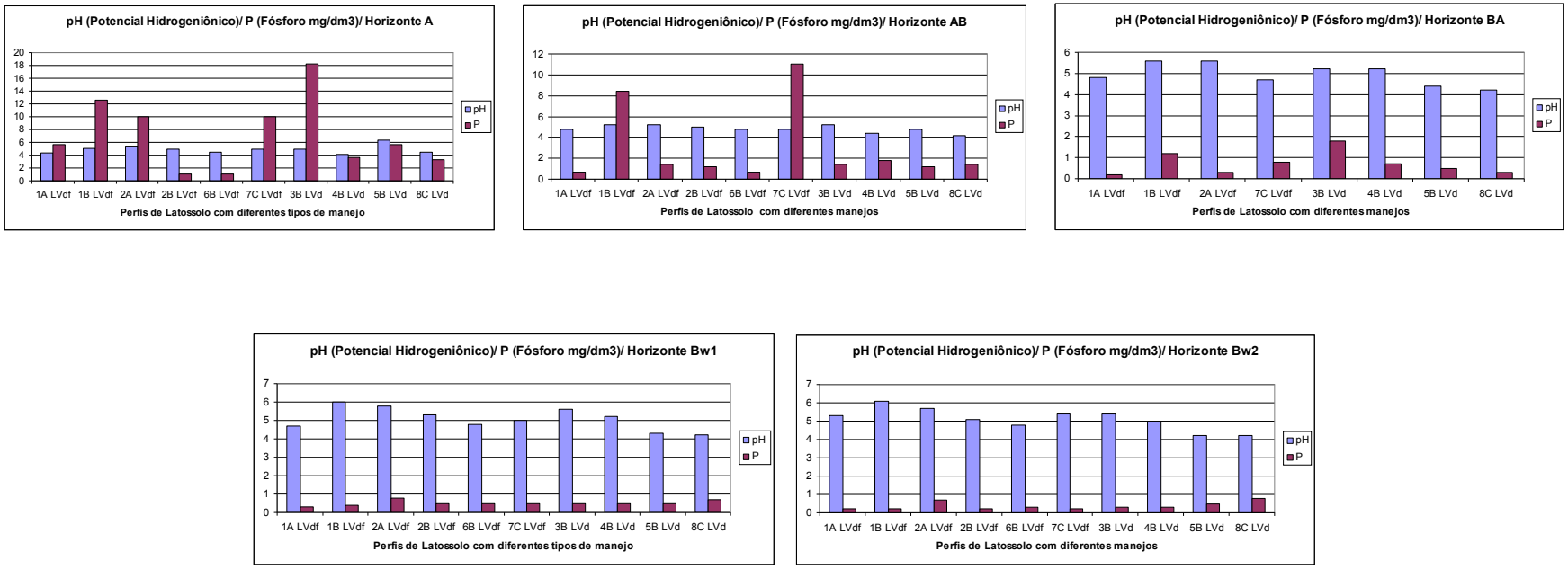
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os perfis que apresentaram maior teor de fósforo foram o 1B e 3B (figura 2), ambos com manejo anterior de soja e atual de cana não fertirrigada. Estes altos teores podem resultar de diferentes fontes anteriores de aplicação de insumos orgânicos e químicos nesses perfis (BRANDY, 1983; EMBRAPA, 2004; ERNANI, 2008; MONTANARI *et al.*, 2011). Os perfis submetidos à fertirrigação com vinhaça não apresentaram concentrações elevadas de P, como o esperado (figuras 2), pois de acordo com Glória; Orlando Filho (1983), Rossetto (1987) e Silva; Ribeiro (1998), dentre outros, a vinhaça, quando aplicada no solo, promove a elevação do pH e com ele a do P, pois com o pH mais elevado ocorreria um incremento na concentração de hidroxilas que deslocariam parte do P adsorvido, tornando-o novamente disponível em solução.

O pH é muito importante devido seu efeito indireto sobre a concentração de elementos nutritivos à disposição do vegetal a atividade da microvida. Em solos ácidos e pobres não há condições de uma vida microrgânica, faltando, pois, a continuação da oxidação que, dai em diante, depende da presença de Ca e P (PRIMAVESI, 2002; MONTANARI *et al.*, 2011). Nas áreas estudadas o pH, apresentou valores baixos (figura 2), logo, as condições de microvida são reduzidas.

A disponibilidade de fósforo varia com a solubilidade e este é dependente de diversos outros fatores, tais como o pH e a temperatura. A concentração de fósforo aumenta em temperaturas mais altas. Consequentemente, a quantidade de fósforo na solução em uma temperatura particular é aproximadamente proporcional ao teor de água no solo. Assim, em condições tropicais, altamente lixiviantes e de temperaturas elevadas, aplicações de fertilizantes fosfatados servem para aumentar a disponibilidade de fósforo de diversas maneiras (BRADY, 1983; TROEH; THOMPSON, 2007; PEDROSO NETO *et al.*, 2008). De um modo geral o P apresenta tendência à diminuição com o tempo (figuras 2), devido à adsorção específica à qual esse elemento está sujeito, bem como, a diminuição em sua concentração no perfil, devido, especialmente à sua baixa mobilidade no solo (LOPES, 1998; MEURER *et al.*, 2000; ERNANI, 2001).

Figura 2. Potencial Hidrogeniônico (pH), concentração de Fósforo (P) em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) - 1A (Soja/cana fertirrigada); 1B (Soja/cana não fertirrigada); 2A (Pasto/cana fertirrigada); 2B (Pasto/cana não fertirrigada); 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); 7C (Vegetação Natural/Floresta semidecidual), Distrófico (LVd) – 3B (Soja/cana não fertirrigada); 4B (Pasto/cana não fertirrigada); 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); 8C (Vegetação Natural/Floresta semidecidual) nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), na região de Quirinópolis, Goiás.



Uma característica marcante na maioria dos Latossolos é a ocorrência de níveis baixos de bases trocáveis, principalmente cálcio e magnésio, o que pode ser atribuído à textura grosseira, baixa CTC, pobreza do material de origem e elevada precipitação predominando no ambiente de formação deste solo (RESENDE *et al.*, 2007).

Nos solos estudados observa-se que o Ca (figura 3) apresentou valores mais altos nos perfis 1B, com manejo anterior soja e atual cana não fertirrigada e 5B, com manejo anterior de sucessão (pasto/soja) e atual cana não fertirrigada até o horizonte BA; a partir do horizonte Bw_1 e Bw_2, apenas o perfil 1B e 2A (pasto/cana fertirrigada) apresentam valor mais alto, os demais não são significativos (figura 3). De acordo com Silva *et al.* (2007) a vinhaça incrementa as concentrações de Ca e Mg, o que explica o alto valor no perfil 2A. Segundo Leal *et al.* (2008), a aplicação de calcário, independentemente do modo de aplicação, promove aumento nos teores de Ca e Mg.

De modo geral, os perfis apresentaram níveis baixos de K (figura 3), o que pode ser explicado pela pobreza do elemento presente no material de origem e pelo elevado índice de intemperismo do solo e lixiviação (RESENDE *et al.*, 2007; PEDROSO NETO *et al.*, 2008).

Como citado por Resende *et al.* (2007) e Côrrea *et al.* (2001), os Latossolos apresentam níveis baixo de Mg e Ca. Tais resultados foram também constatados nos perfis estudados (figura 4). Apenas o horizonte A, apresentou um pequeno aumento de concentração nos perfis 2B (pasto/cana não fertirrigada) e 5B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada) e isso se deve certamente aos manejos anteriores. A acidez potencial (H + Al) encontrados (figura 4) apresentou valores esperados para cada tipo de manejo (SANTOS *et al.*, 2006).

A redução na CTC em profundidade nos solos (figura 4), possivelmente, é devida à menor quantidade de raízes presentes nestes horizontes e a diminuição do teor de matéria orgânica advinda da superfície. Nos Latossolos distróficos, a fração mineral é muito pobre e a maior parte de suas cargas negativas são acrescentadas ao solo pela matéria orgânica. A caulinita, o mineral presente nestes solos, possui uma CTC baixa, entre 3-5 cmolc kg^{-1}, enquanto as substâncias húmicas, entre 400 a 1400 cmoc kg^{-1}. A contribuição da matéria orgânica na CTC total dos solos é tanto maior quanto menor for à contribuição da fração mineral (CANELLAS *et al.*, 1999).

Figura 3. Concentração de Potássio (K) e Cálcio (Ca) em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) - 1A (Soja/cana fertirrigada); 1B (Soja/cana não fertirrigada); 2A (Pasto/cana fertirrigada); 2B (Pasto/cana não fertirrigada); 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); 7C (Vegetação Natural/Floresta semidecidual), Distrófico (LVd) – 3B (Soja/cana não fertirrigada); 4B (Pasto/cana não fertirrigada); 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); 8C (Vegetação Natural/Floresta semidecidual) nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), na região de Quirinópolis, Goiás.

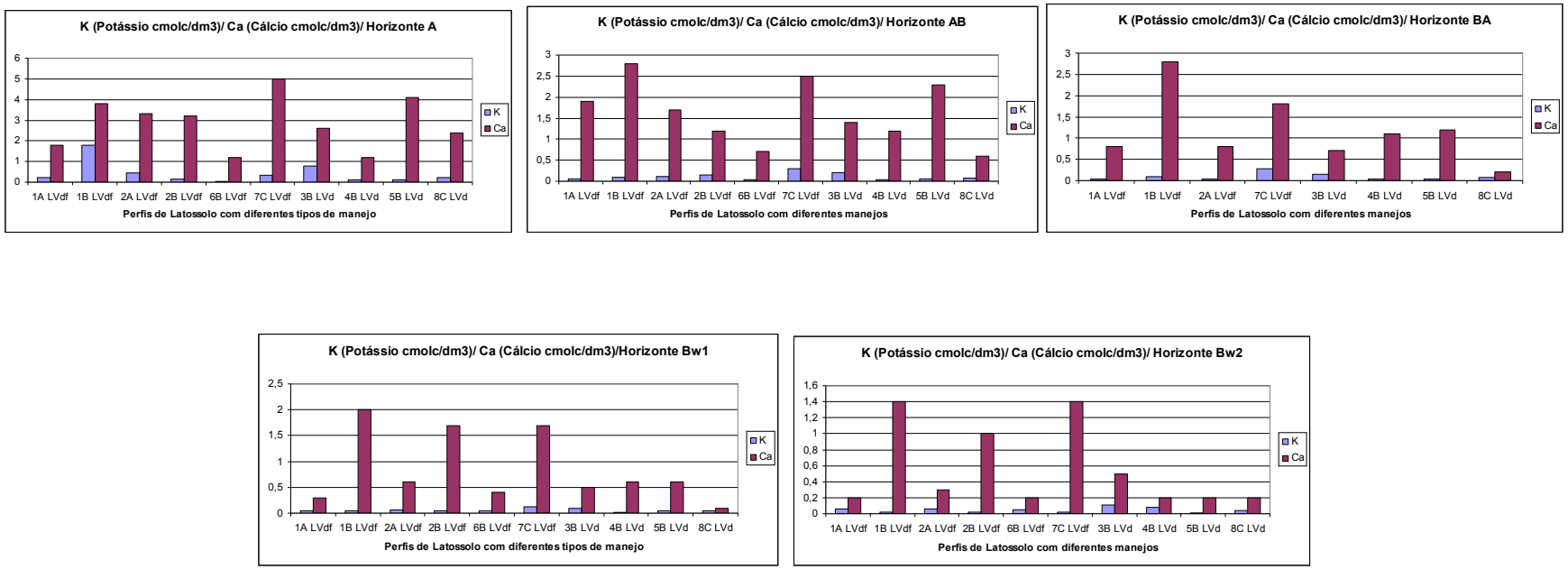
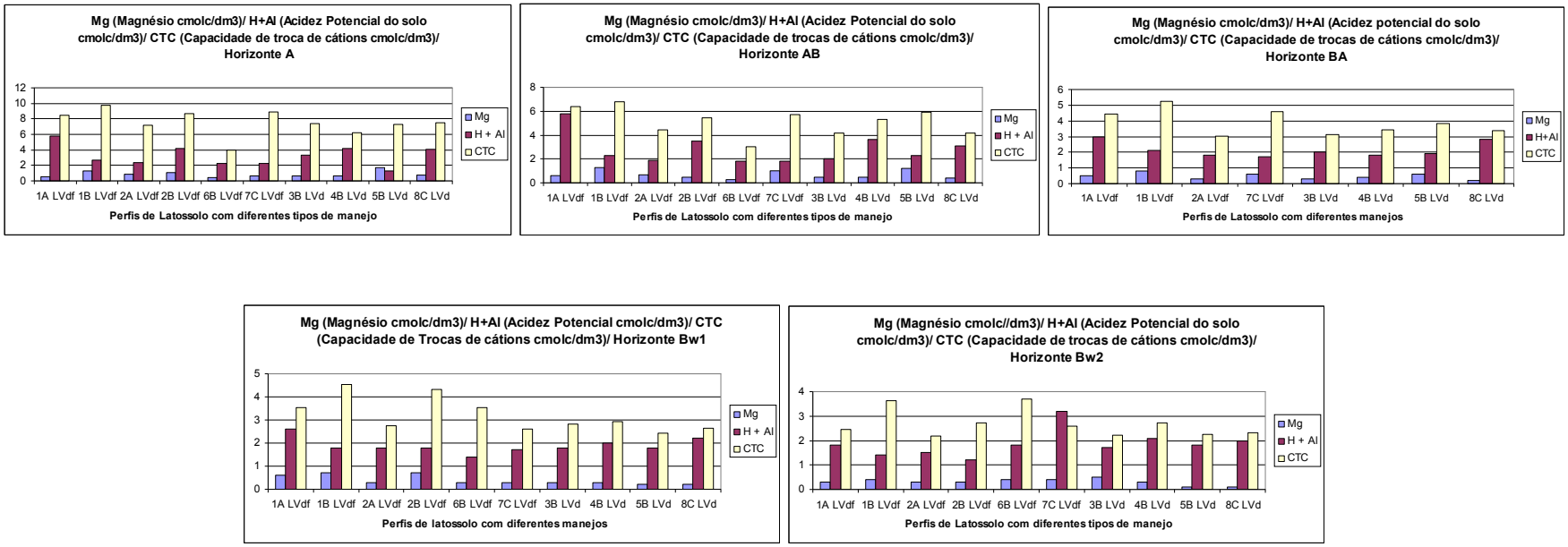


Figura 4. Concentração de Magnésio (Mg), Acidez Potencial do Solo (H + Al) e Capacidade de Troca de Cátions (CTC) em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) - 1A (Soja/cana fertirrigada); 1B (Soja/cana não fertirrigada); 2A (Pasto/cana fertirrigada); 2B (Pasto/cana não fertirrigada); 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); 7C (Vegetação Natural/Floresta semidecidual), Distrófico (LVd) – 3B (Soja/cana não fertirrigada); 4B (Pasto/cana não fertirrigada); 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); 8C (Vegetação Natural/Floresta semidecidual) nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), na região de Quirinópolis, Goiás.



Em relação à concentração de matéria orgânica nos horizontes (figura 5), a diferença observada nos primeiros horizontes dos perfis, já era esperada, pois a maior parte das raízes da vegetação e a boa quantidade de matéria orgânica fornecida pelos resíduos da parte aérea das plantas acumulam-se nos primeiros horizontes (BRAZ *et al.*, 2004).

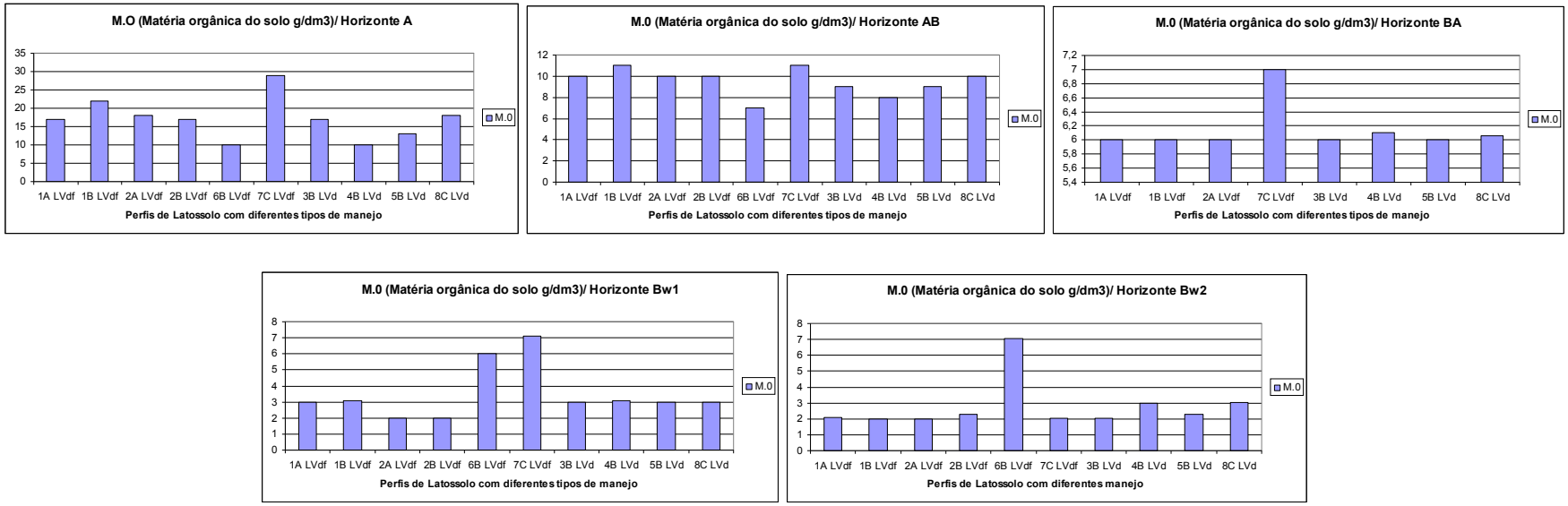
No perfil 6B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada, LVdf), nos horizontes Bw_1 e Bw_2, no entanto, houve um aumento da concentração de matéria orgânica. Isso se deve ao manejo anterior deste perfil de sucessão, pois o sistema inclui a consorciação de soja e braquiária, que proporciona melhorias na qualidade do solo em relação ao carbono orgânico, o que se deve ao maior aporte de resíduos orgânicos de boa qualidade depositados na superfície do solo (FONSECA *et al.*, 2007), evidenciando a importância e a interferência do C nestes atributos e indicando que a adoção de um sistema de manejo do solo que proporcione aumento de carbono orgânico pode condicionar melhorias na qualidade do solo.

O quadro 4, apresenta uma síntese dos resultados encontrados na análise dos atributos químicos nos LVd e LVdf em Quirinópolis, Goiás.

Quadro 4. Quadro síntese dos aspectos físico-químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes tipos de manejos em Quirinópolis, Goiás.

Aspectos Físico-Químicos	
Características observadas	**Justificativa/Observação**
Fósforo (P)	
Maiores teores de P – perfil 1BS e 3BC (ambos com manejo anterior soja e atual com cana não fertirrigada).	O uso anterior sendo soja favoreceu o aumento do P no solo, devido às aplicações anteriores de insumos orgânicos e químicos.
Menores teores de P – quantidade de P pequena nos solos fertirrigados.	Não era o esperado – com pH alto devido a fertirrigação com vinhaça seria esperado maior quantidade de P.
Cálcio (Ca)	
Maior concentração de Ca – 1BS (manejo anterior soja e atual cana não fertirrigada) e 5BC (manejo anterior sucessão pasto e soja e atual cana não fertirrigada.	A concentração de cálcio nestes perfis pode ter sido destacado em função do manejo anterior, com aplicação de insumos orgânicos e químicos e o revolvimento do solo.
Magnésio (Mg) e Potássio (K)	
Menores teores de Mg e K nos perfis estudados.	Essa concentração baixa se deve a lixiviação no solo.
Acidez Potencial do solo (H + Al)	
Apresentaram valores esperados para cada tipo de manejo.	
Capacidade de troca de Cátions (CTC)	
Maiores valores nos primeiros horizontes e menores nos últimos, possivelmente devido à quantidade de matéria orgânica presente nos horizontes.	
Matéria Orgânica	
Matéria orgânica apresentou tendência semelhante a da CTC, maiores valores nos primeiros horizontes e menores nos últimos; Perfil 6B (Sucessão, LVdf) apresentou alto teor de matéria orgânica nos horizontes Bw_1 e Bw_2 – mostrando assim melhoria na qualidade do solo.	
Perfis Fertirrigados	
Não apresentaram melhora alguma no solo	

Figura 5. Matéria Orgânica do Solo (MO) em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) - 1A (Soja/cana fertirrigada); 1B (Soja/cana não fertirrigada); 2A (Pasto/cana fertirrigada); 2B (Pasto/cana não fertirrigada); 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); 7C (Vegetação Natural/Floresta semidecidual), Distrófico (LVd) – 3B (Soja/cana não fertirrigada); 4B (Pasto/cana não fertirrigada); 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); 8C (Vegetação Natural/Floresta semidecidual) nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2), na região de Quirinópolis, Goiás.



CONCLUSÕES

Os solos estudados – LVdf e LVd - são ácidos, pobres em nutrientes e deficientes em P, embora potencialmente apresentem condições de uso e manejo intensivo, desde que corrigidos e adubados. O primeiro tem condições de maior fertilidade potencial que o segundo devido seu maior teor de argila, embora de atividade baixa po ser caulinita. Tais características são compatíveis com os parâmetros dessas classes de solos segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos de 2006. Assim, são solos que apresentam limitações de fertilidade natural.

A disponibilidade de P, com concentrações altas nos perfis 1B (LVdf) e 3B (LVd), ambos com manejo anterior soja e atualmente com cana não fertirrigada, foram atribuídas às aplicações anteriores de insumos orgânicos e químicos. Os menores teores de P nos solos fertirrigados (1A e 2A) chamam atenção. Este resultado pode ser devido à ciclagem da matéria orgânica e resíduos no solo e ao pH.

A MO apresentou tendência semelhante à da CTC, de diminuição em profundidade, com exceção do perfil 6B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada, LVdf), que apresentou alto teor de matéria orgânica, inclusive nos horizontes profundos, Bw_1 e Bw_2, indicando que essa sucessão proporcionou melhoria na qualidade do solo.
Nos perfis de solos fertirrigados 1A (soja/cana fertirrigada) e 2A (pasto/cana fertirrigada) não foram observadas melhoras no solo com a adição da vinhaça. Igualmente, o tipo de manejo anterior e a vinhaça também não melhoraram a qualidade do solo.

De modo geral, verificou-se a importância da interferência do C nos atributos químicos, indicando que a adoção de um sistema de manejo do solo que proporcione o aumento de carbono orgânico, pode condicionar melhoria na qualidade do solo.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, M. I. N; SIQUEIRA, J. O; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 1999, v. 23, n. 3, p. 617-625.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-16.

BORGES, V. M. S. Formação de uma nova centralidade do setor sucroenergético no Cerrado: o caso de Quirinópolis, Estado de Goiás. 2011. 333 f. Tese (Doutorado) Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

BORGES, V. M. S.; SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. de. Caracterização edafoclimática da microrregião de Quirinópolis/GO para o cultivo da cana-de-açúcar. Anais... VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Recife, 2010.

BRADY, N. C. *Natureza e propriedade dos solos*. Rio de janeiro: Freitas Bastos, 1983.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo em sistemas de baixo "input" tecnológico na região dos cerrados. Embrapa, 2004 (Circular técnica, ISSN 1519-7328,9).

CANASAT – Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra. INPE–Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/canasat/> Acesso em 12 dez. 2012.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo*: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999, p. 69-89.

CASTRO, S. S. de, BORGES, R. de O., SILVA, R. A. A. da, BARBALHO, M. G. da S. Estudo da expansão da cana-de-açúcar no Estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: SBPC, II Fórum de C&T no Cerrado. Goiânia: SBPC, 2007.

CASTRO, S. S. de; ADBALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no Estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, 2010, v.30, nº 1. p. 171 – 191.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril. Brasília: Conab, 2012. Disponível em: <www.conab.gov.br> Acesso em 10 dez. 2012.

CORRÊA, M. C. M.; CONSOLINI, F.; CENTURION, J. F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). *Acta Scientiarum*, Maringá, 2001, v. 23, n. 5, p. 1159-1163.

EMBRAPA- Embrapa Cerrados. *Cerrado*: correção do solo e adubação. 2ª ed. Editores Técnicos: SOUZA, D. M. G.; LOBATTO, E. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2004. 416 p.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de solos*. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

ERNANI, P. R. *Notas sobre química do solo*. Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. 2001. 50 p.

ERNANI, P. R. *Química do solo e disponibilidade de nutrientes*. Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. 2008. 230 p.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, GO, 2007, v. 37, p. 22-30.

GLÓRIA, N.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. *Revista Álcool Açúcar*, 1983, v.16, p. 32-39.

GOEDERT, W.; OLIVEIRA,S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 991-1017.

INDICADORES IBGE: estatística da produção agrícola: Levantamento Sistemático *Produção Agrícola*, 2011, v. 24, p. 1-82.

KÕPPEN, W. Klassifications dês klimate nach temperatur, niedershlag und jahrelauf. *Petermans Geographische Mitteilungem*, Goth, 1918, v. 64, p. 193-203.

LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L. R.; MURAISHI, C. T.; BUZETTI, S.; MASCARENHAS, H. A. A. Aplicação de calcário e culturas de cobertura na implantação do sistema plantio direto em Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2008, v. 32, n. 7, p. 2771- 2777.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A.F.; SELBACH, P.A. Indicadores Microbianos de Qualidade do Solo em Diferentes Sistemas de Manejo. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 2012, v. 36, p. 45-55.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (organizadores*). Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; REIS-JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. E. Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade? Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009 (Documentos, 246).

MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; FRANCELINO, C.S.F.; CAVALHEIRO, J.C.T. e OTSUBO, A.A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy*, 2008, v. 34, p. 479-485.

MONTANARI, R.; LIMA, R. C.; BONINI, A. S.; MARQUES, L. S.; MINGUINI, R.; CARVALHO, M. P.; PAZ FERREIRO, J.; COSTA, N. R. Variabilidade dos atributos de um latossolo vermelho sob plantio direto no cerrado brasileiro e produtividade da soja. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña, Espanha, 2011, v. 36, p. 219-237.

PEDROSO NETO, J. C.; SOUZA, J. A. de; PAES, J. M V.; CIOCIOLA A. I. Caracterização química do Latossolo Vermelho da Fazenda Escola Fazu. FAZU em Revista, Uberaba, MG, 2008, n. 5, p.34-38.

PRIMAVESI, A. *Manejo Ecológico do Solo*: a agricultura em regiões tropicais. Ed. Nobel, São Paulo. 2002. 549 p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. 1995. *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS. 65p.

RESENDE, M. *et al. Pedologia*: base para a distinção de ambientes. 5. ed. Lavras, MG: UFLA, 2007. 322 p.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Ed.). Dinâmica da

matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, p. 163-198.

ROSSETTO, A. J. Utilização agronômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). *Cana-de-açúcar*: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 435-504.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SILVA, A. A. Transformações no uso da terra e na estrutura de solos no Cerrado em áreas de expansão da cana-de-açúcar – o caso da microrregião de Quirinópolis, Goiás. 134 f. Tese (Doutorado) Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. Dinâmica de uso da terra e expansão da cana-de-açúcar entre os anos de 2004 a 2010, na microrregião de Quirinópolis, Goiás. In: PIETRAFESA, J. P.; SILVA, S. D. de (org.). *Transformações no Cerrado*: progresso, consumo e natureza. Goiânia: Ed. Da PUC Goiás, 2011. p. 155-170.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1998, v.22, n.2, p.291-299.

SILVA, A. S. M.; NORI, P. G.; LINO, C. B. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, 2007, v.11, n.1, p.108–114.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2010, v. 34, p. 79-88.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. *Solos e fertilidade do solo*. Ed. ANDREI LTDA, São Paulo. 2007. 718 p.

ARTIGO 2

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR E DIFERENTES MANEJOS, QUIRINÓPOLIS, GOIÁS

Georgia Ribeiro Silveira de Sant'Ana (1), Selma Simões de Castro (2)

(1) Doutoranda do Programa de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás. Cx. Postal 131, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás/ Jardim Botânico de Goiânia, Goiás / SENAI, Faculdade de Tecnologia Roberto Mange, Anápolis, Goiás.

(2) Professora Drª./Orientadora do Doutorado em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais e do Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás. Cx. Postal 131, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás.

RESUMO

A expansão da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) no cenário agrícola brasileiro tem sido impulsionada por tecnologias que contribuem para a conservação do solo, a redução de custo de produção e uma maior produtividade. A microrregião de Quirinópolis (MRQ), situada no sudoeste do estado de Goiás, é considerada representativa do processo recente de expansão da cana-de-açúcar no Estado. A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana, por isso, tem sido crescente o interesse nos aspectos relacionados ao funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais e agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos dos diferentes manejos utilizados no cultivo de cana-de-açúcar sobre parâmetros microbiológicos do solo e índices derivados em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) e Distrófico (LVd), na região de Quirinópolis, Goiás. Neste estudo foram selecionados oito sítios amostrais em áreas ocupadas por LVdf e LVd no município de Quirinópolis (GO) e mais dois perfis como referência, com vegetação nativa, do tipo Floresta Semidecidual. A biomassa microbiana do solo com cana-de-açúcar, por responder às alterações causadas pelos dois diferentes tipos de manejo, fertirrigado e não fertirrigado pode ser considerada um bioindicador potencial para a avaliação da qualidade do solo. Os perfis submetidos a uma sucessão de culturas antes do plantio da cana-de-açúcar favorecem a manutenção da comunidade de microrganismos do solo em comparação com outros manejos. O perfil com manejo anterior soja, no LVdf, foi o que mostrou melhor condição físico-química para o

equilíbrio dinâmico da biomassa do solo. Os perfis com vinhaça não apresentaram nenhuma melhoria para o desenvolvimento dos microrganismos no solo, bem como, melhores condições físico-químicas.

Palavras-chave: Qualidade do solo, bioindicadores, matéria orgânica

ABSTRACT

The expansion of the culture of sugar cane (*Saccharum officinarum L.*) in the Brazilian agricultural scenario has been driven by technologies that contribute to soil conservation, reducing production costs and higher productivity. The micro-Quirinopolis (MRQ), located in the southwestern state of Goiás, is representative of the recent expansions of sugar cane in the state. The maintenance of the productivity of agricultural and forest ecosystems depends in large part on the transformation process of organic matter and therefore microbial biomass, so it has been a growing interest in aspects related to biological functioning of the soil under natural and agricultural systems. The objective of this study was to evaluate the effects of different management methods used in the cultivation of sugar cane on soil microbiological parameters and indices derived in Red Oxisol distroferric (ROdf) e dystrophic (Rod) in the region of Quirinopolis, Goiás. In this study eight sampling sites were selected in areas occupied by Rodf and ROd the municipality of Quirinopolis (GO) and two reference profiles, with native vegetation, the type Semidecidual Forest. The soil microbial biomass with sugar cane, to respond to changes caused by the two different types of management, fertilized and not fertilized can be considered as a potential for the assessment of soil quality bioindicator. The profiles undergo a succession of crops before planting of sugar cane favor maintenance of community soil microorganisms compared to other managements. The previous management profile with soy ROdf was what showed better physical and chemical condition for dynamic balance of biomass. Profiles with vinasse showed no no improvement in the development of microorganisms in soil, as well as better physical and chemical conditions.

Key words: Soil quality, bioindicators, organic matter

INTRODUÇÃO

A expansão da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) no cenário agrícola brasileiro tem sido impulsionada por tecnologias que contribuem para a conservação do solo, a redução de custo de produção e uma maior produtividade (SCHULTZ *et al.*, 2010). A expansão recente no cenário agrícola brasileiro vem sendo impulsionada, desde o final da década de 1990, em direção à região Centro-Sul do Cerrado, em particular para os estados de Mato Grosso do Sul (MS) e Goiás (GO), nas paisagens dominadas por grandes extensões aplainadas e condições edafoclimáticas favoráveis, sobretudo, devido a baixos declives e domínio dos Latossolos, considerados de maior aptidão agrícola, dentre outras, à cultura canavieira (MANZATTO, 2009; CASTRO et al, 2007, 2010; SILVA; CASTRO, 2011).

A microrregião de Quirinópolis (MRQ), situada no sudoeste do estado de Goiás, é considerada como representativa desse processo recente de expansão da cana-de-açúcar em Goiás (CASTRO *et al.*, 2010) e se destaca pela elevada concentração de grandes usinas/destilarias de açúcar e álcool, com sete unidades industriais. Na MRQ o cultivo da cana-de-açúcar se iniciou em 2004, com primeira safra colhida em 2006/2007, a qual se destinava antes ao cultivo de grãos (milho e soja) em áreas deLVdf e de pecuária extensiva, nos LVd, (SILVA; CASTRO, 2011; SILVA; CASTRO, 2013).

O solo é um sistema aberto e concentra resíduos orgânicos de origem vegetal e os produtos das transformações destes resíduos, sendo a vegetação a principal responsável pela deposição de materiais orgânicos no solo. O tipo de vegetação e as condições ambientais são fatores que determinam a quantidade e a qualidade do material que se deposita no solo, influenciando a heterogeneidade e a taxa de decomposição do material depositado a superfície (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). O uso contínuo deste recurso natural por atividades humanas pode alterar a estrutura deste ambiente, como no plantio da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*), de destaque no cenário agrícola brasileiro (INDICADORES IBGE, 2011). A conservação da matéria orgânica é essencial para a reciclagem de elementos químicos, regulação do fluxo hídrico e de energia, armazenamento de C, emissão de gases e manutenção da diversidade da fauna e da flora (MENDES *et al.*, 2009).

A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008); por

isso, tem sido crescente o interesse nos aspectos relacionados ao funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais e agrícolas (MATSUOKA, *et al.*, 2003). Como a atividade da microbiota do solo é responsável pela decomposição dos compostos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo, a biomassa microbiana e a atividade têm sido apontadas como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo (TRANNIN *et al.*, 2007), razão pela qual pode ser um bioindicador importante na avaliação da qualidade do solo e consequentemente do ecossistema ou agrossistema.

A biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo, composta por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas. Ela é um importante bioindicador porque atua nos processos de decomposição natural, interagindo na dinâmica dos nutrientes e regeneração da estabilidade dos agregados (FRANZLUEBBERS *et al.*, 1999; DA SILVA *et al.*, 2010). A biomassa microbiana é influenciada pelas variações sazonais de umidade e temperatura, pelo manejo do solo, pelo cultivo e, também, pelos resíduos vegetais. Representa pequena parte da fração ativa da matéria orgânica (DE LUCA, 1998; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005), constituindo apenas 2% a 5% do carbono orgânico do solo. Apesar disso, é mais sensível que os teores de C orgânico e N total para aferir alterações na matéria orgânica causadas pelas práticas de cultivo (GAMA-RODRIGUES, 1999).

A atividade metabólica da população microbiana do solo é medida através da quantidade de CO_2 liberado na respiração dos microrganismos (respiração basal ou C prontamente mineralizável/C-CO_2) (ANDERSON, 1982; ZIBISKE, 1994). Este parâmetro é dependente do estado fisiológico das células e é influenciado por diferentes fatores, tais como umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes. Altas taxas de respiração podem ser interpretadas como uma característica desejável quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas ou também uma situação grave quando a intensa decomposição da matéria orgânica estável provocar uma perda de nutrientes (ROSCOE *et al.*, 2006).

Outro parâmetro a ser considerado é o quociente metabólico (qCO_2), um índice que expressa a relação entre a respiração basal, acima citada, e o conteúdo da biomassa microbiana. Uma biomassa mais eficiente seria aquela que perderia menos carbono na forma de CO_2 com a respiração e incorporasse mais carbono aos tecidos microbianos (REIS JUNIOR; MENDES, 2007). Anderson e Domsch (1990) propõem a utilização deste parâmetro para avaliar o efeito das condições de estresse (diminuição da

quantidade de matéria orgânica, diminuição do pH, redução dos níveis de nutrientes e aumento dos teores de C-orgânico recalcitrante) sobre a atividade e biomassa microbiana. De modo geral, os solos com baixo quociente metabólico estão próximos do estado de equilíbrio.

Há também a relação C microbiano-C orgânico total, conhecido como quociente microbiano (qMIC), sendo um índice que expressa a qualidade nutricional da matéria orgânica. Em solos com matéria orgânica de baixa qualidade nutricional, a biomassa microbiana se encontra em condições de estresse, tornando-se incapaz de utilizar totalmente o C orgânico; neste caso, o quociente microbiano diminui (GAMARODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008). A biomassa microbiana poderá aumentar, ainda que os níveis de C orgânico permaneçam inalterados, quando há adição de matéria orgânica de boa qualidade (WARDLE, 1992).

Neste contexto, atributos microbiológicos, como biomassa microbiana e índices derivados, têm sido propostos para a aferição da qualidade do solo, em função de diferentes práticas de manejo adotadas (DORAN; PARKIN, 1994). Assim, estudos envolvendo a biodinâmica do solo em diferentes sistemas de colheita na cultura da cana-de-açúcar podem apontar formas de manejos mais sustentáveis, amenizando consequências ambientais de impactos negativos.

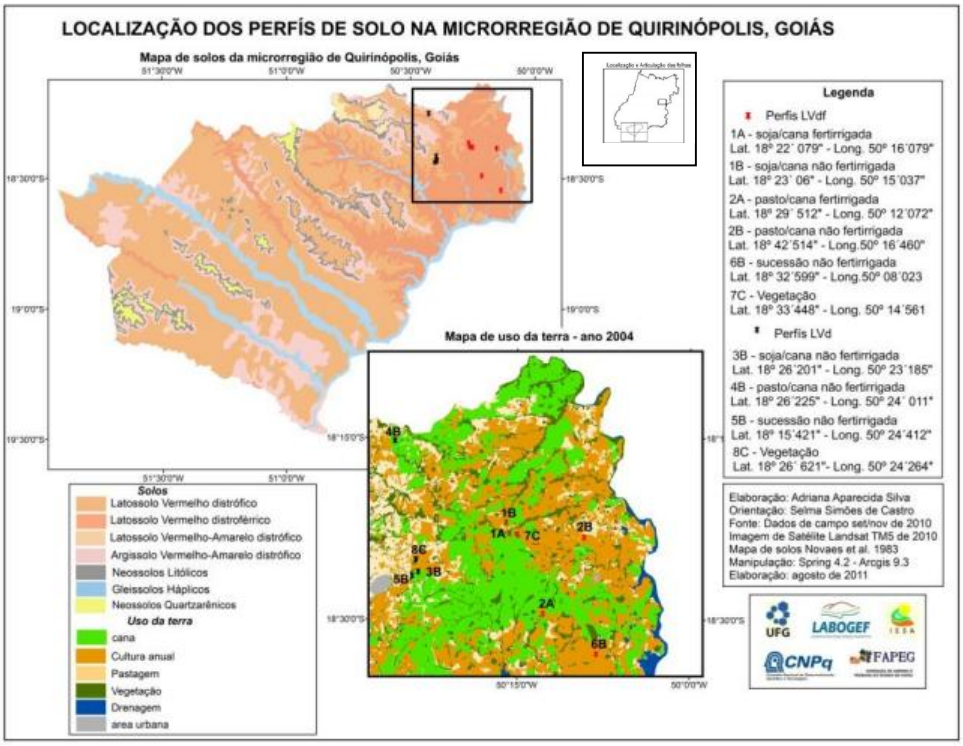
Diante de tais informações, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos dos diferentes manejos utilizados no cultivo de cana-de-açúcar sobre parâmetros microbiológicos do solo e índices derivados em Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico, na região de Quirinópolis, Goiás, cultivados pela primeira vez com cana-de-açúcar estando no 4º corte do ciclo.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo situa-se na região sudoeste de Goiás, na microrregião de Quirinópolis (MRQ), onde a expansão da cana-de-açúcar é recente e alcançou rapidamente destaque como a nova centralidade (*hotspot*) da expansão (BORGES, 2010), substituindo áreas de grãos e pastagens (CASTRO *et al.*, 2010; SILVA, CASTRO, 2011) (figura 1).

Figura 1. Mapa da microrregião de Quirinópolis, Goiás com a localização dos perfis de solos estudados.



Fonte: Silva (2012)

Os terrenos da MRQ se assentam sobre arenitos e basaltos cretáceos da Bacia Sedimentar do Paraná, os quais suportam um relevo bastante suavizado constituído por planaltos nivelados entre 400 e 1000 m, denominados de chapadas, cobertos por Latossolos Vermelhos que variam de textura média e distrófico a argilosa e distroférrico (EMBRAPA, 2006), os quais, por seus atributos, foram preferidos pela expansão canavieira. Tais características favorecem a mecanização intensiva e o manejo do solo para o cultivo.

O clima da microrregião de Quirinópolis (MRQ) é do tipo Tropical Quente Subúmido (Aw) com duas estações bem definidas e variações anuais significativas quanto à umidade, precipitação e temperatura, de acordo com a tipologia climática estabelecida por Koeppen (1918). Apresenta chuvas de outubro a março e inverno seco de junho a setembro, com transições entre períodos úmidos e secos, e precipitação média total de 1700 mm anuais, temperatura média de 24 ºC e uma amplitude térmica de cerca de 15º.

Plano de Amostragem

Foram selecionados oito sítios amostrais em áreas de LVdf (Latossolo vermelho distroférrico) e LVd (Latossolo vermelho distrófico), no município de Quirinópolis (GO), além de mais dois perfis como referência, com vegetação nativa, do tipo Floresta Semidecidual, a qual antes dos anos 1980 ocupava boa parte do sul da microrregião de Quirinópolis (figura 1).

A descrição de perfis de solo cultivados seguiram as recomendações de Santos et al (2005) e sua escolha observou os históricos de manejo estando todos no 4º corte do 1º ciclo, tendo sido plantados com a mesma variedade de cana (SP 8132250), com cultivo e colheita fortemente mecanizada e sem queima (junho 2008, maio 2009, maio 2010) e mesmo preparo do solo, variando apenas em relação à fertirrigação com vinhaça (quadro 1). Ao todo foram descritos e amostrados dez perfis de solo, com características físicas homogêneas (Quadros 2 e 3), sendo seis da classe do solo LVdf e quatro da classe de solo LVd (EMBRAPA, 2006).

Quadro 1. Preparo do solo utilizado nos oito pontos amostrais com cultura de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás.

Uso anterior /cana Perfil/Manejo*	**Preparo e conservação do solo**		
	Atividade	**Quantidade**	**Período/ano**
soja/cana **1A – LVdf** **1B – LVdf** **3B – LVd** **pasto/cana** **2A – LVdf** **2B – LVdf** **4B – LVd** **pasto/soja/cana** **5B – LVd** **6B – LVdf**	Construção de terraços	-	Ag/2006
	Subsolagem	-	Ag/2006
	Grade pesada	-	Agosto/2006
	Calagem	3 t/ha	Set/2006 – jun/2009
	Gessagem	1,5 t/ha	Set/2006 – jun/2009
	Fosfatagem	0,23 t/ha	Set/2006
	Grade leve	-	Set/2006
	Dessecação (glifosato)	5 l/ha	Out/2006
	Sulcação e adubação (05-25-25)	0,6 t/ha	Nov/2006
	Cobrição (regent 800 WG)	0,25 kg/ha	Nov/2006
	Quebra lombo	-	Fev/2007
	Adubação de cobertura (31-00-00)	0,20 t/ha	Jun/2008 – jun/2009
	Herbicida pré-emergente	0,14 kg/ha	Jun/2008 – jun/2009
	Controle de broca (vespa)	4 copos/ha	Dez/2008 – Dez/2009
	Controle de cigarrinha	0,8 kg/ha	Jan/2009 – Jan/2009
soja/cana **1A – LVdf** **Pasto/cana** **2ª – LVdf**	Fertirrigação (vinhaça)	150 m^3/ha	Jun/2008

* (A)- fertirrigado (B) não fertirrigado. Fonte: Adaptado de Borges (2011).

Quadro 2. Caracterização dos perfis de solo estudados.

Perfil	Elementos do meio físico				Uso e manejo	
	Solo	**Geologia**	**Declividade**	**Altitude**	**Uso da terra anterior à cana/vegetação**	**Fertirrigação**
1A	LVdf	Basalto	0 a 3%	576	Soja	Fertirrigada
1B				540		Não fertirrigada
2A				503	Pastagem	Fertirrigada
2B				460		Não fertirrigada
6B				458	Sucessão: pasto/soja/cana	
7C				545	Vegetação natural	-
3B	LVd	Arenito	0 a 3%	558	Soja	Não fertirrigada
4B			3 a 6%	595	Pastagem	
5B			0 a 3%	633	Sucessão: pasto/soja/cana	
8C			3 a 6%	589	Vegetação natural	-

Fonte: Silva (2012)

Quadro 3. Profundidade, manejo dos horizontes e uso anterior de perfis em campo.

Solo	Perfil	Horizonte	Profundidade (cm)	Sucessão do uso/manejo
LVdf	**1A**	A	0 - 13	Soja/cana-de-açúcar 4º corte fertirrigada
		AB	13 - 50	
		BA	50 - 90	
		Bw_1	90 - 110	
		Bw_2	110 – 150+	
	1B	A	0 -23	Soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	23 - 65	
		BA	65 - 88	
		Bw_1	88 - 116	
		Bw_2	116 – 150+	
	2A	A	0 - 33	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte fertirrigada
		AB	33 - 47	
		BA	47 -77	
		Bw_1	77 - 115	
		Bw_2	115 – 150+	
	2B	A	0 -15	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	15 - 53	
		Bw_2	53 - 102	
		Bw_1	102 – 150+	
	6B	A	0 - 28	Sucessão pasto/soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	28 - 56	
		Bw_2	56 - 90	
		Bw_1	90 – 150+	
		A	0 -20	Vegetação natural (Floresta
		AB	20 - 53	

	7C	BA	53 - 90	semidecidual)
		Bw_1	90 - 130	
		Bw_2	130 – 150+	
LVd	**3B**	A	0 -30	Soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	30 - 70	
		BA	70 - 97	
		Bw_1	97 - 118	
		Bw_2	118 – 150+	
	4B	A	0 -20	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	20 - 44	
		BA	44 - 72	
		Bw_1	72 - 119	
		Bw_2	119 – 150+	
	5B	A	0 - 29	Sucessão pasto/cana-de-açúcar/ cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	29 - 56	
		BA	56 - 73	
		Bw_1	73 - 97	
		Bw_2	97 – 150+	
	8C	A	0 - 13	Vegetação natural (Floresta semidecidual)
		AB	13 - 41	
		BA	41 - 60	
		Bw_1	60 - 88	
		Bw_2	88 – 150+	

A – perfil fertirrigado; B – perfil não fertirrigado; C – vegetação natural. Fonte: Silva (2012)

Os perfis foram analisados em faces de trincheiras abertas (cerca de 2 x 1,5 x 2,5 m) onde se procedeu às descrições morfológicas com ênfase da identificação de horizontes compactados. As descrições e coletas de amostras foram realizadas em maio de 2010 (perfis 1A, 1B, 2A, 2B e 7C) estação seca e setembro de 2010 (3B, 4B, 5B, 6B e 8C), estação umida. Em cada perfil, as amostragens foram realizadas em cinco profundidades (quadro 3), compondo três repetições de amostras de solo com aproximadamente 1,5 Kg cada. As amostras de solo foram homogeneizadas e divididas em duas partes: uma parte destinada à caracterização físico-química (1Kg) e o restante para a determinação de variáveis bióticas. As amostras de solo para estudo biológico foram coletadas em recipientes estéreis e colocadas em caixas de isopor no campo (FILIZOLA *et al.*, 2006) e levadas ao laboratório da Faculdade SENAI Roberto Mange, Anápolis, Goiás, onde foram armazenadas em câmara fria (4ºC).

As amostras para a caracterização físico-química foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF) do IESA/UFG, onde foram secas à sombra, passadas em peneiras com malha 2,0 mm e em seguida enviadas ao Laboratório Agropecuário Solocria Ltda para as determinações texturais e de fertilidade (Tabela 1), as quais foram realizadas de acordo com o manual da EMBRAPA (1997).

Para cada área em estudo, efetuaram-se as seguintes determinações: pH em $CaC1_2$ (1:2,5); P e K (extração com Mehlich^{-1}, determinação de P por colorimetria e K por fotometria de chama); Ca, Mg (extração com KCl a 1 mol L^{-1}, determinação por espectrofotometria de absorção atômica e titulação); M.O/determinação de matéria orgânica (uso de dicromato de sódio/ colorimetria); Acidez potencial (H + Al / potenciômetro); CTC (Capacidade de troca de cátions); Percentagem por saturação por bases (V%) conforme método proposto por Embrapa (1997).

Tabela 1. Atributos físico-químicos do Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico com cana-de-açúcar em 8 perfis com diferentes manejos cultivados e 2 perfis com floresta semidecidual, na região de Quirinópolis, Goiás.

Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf)

Perfil	Horizontes	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V	Areia	Silte	Argila
gdm^{-3} mg dm^{-3} ------- ----cmolc dm^{-3} ---------- % ----------g Kg^{-1}----------													
1ª	A	4,4	17	5,6	0,22	1,9	0,5	5,9	8,52	30,75	420	110	470
	AB	4,9	10	0,8	0,06	1,9	0,6	3,8	6,36	40,25	400	100	500
	BA	4,8	6	0,3	0,04	0,9	0,5	3	4,44	32,43	370	120	510
	Bw1	4,7	3	0,3	0,05	0,3	0,6	2,6	3,55	26,76	500	100	400
	Bw2	5,3	2	0,3	0,06	0,2	0,3	1,9	2,46	22,76	570	90	340
1B	A	5,2	22	12,7	1,8	3,9	1,4	2,7	9,8	72,45	470	110	420
	AB	5,2	11	8,5	0,1	2,9	1,4	2,4	6,8	64,71	450	110	440
	BA	5,6	6	1,2	0,06	2,2	0,9	2,1	5,26	60,08	390	110	500
	Bw1	6	3	0,3	0,04	2	0,7	1,8	4,54	60,35	370	120	510
	Bw2	6,1	2	0,3	0,03	1,5	0,6	1,5	3,63	58,68	420	110	470
2ª	A	5,5	18	10	0,43	3,4	0,9	2,4	7,13	66,34	540	90	370
	AB	5,3	10	1,5	0,12	1,7	0,7	1,9	4,42	57,01	470	110	420
	BA	5,6	6	0,3	0,04	0,8	0,4	1,8	3,04	40,79	460	110	430
	Bw1	5,8	2	0,8	0,06	0,6	0,3	1,8	2,76	34,78	570	90	340
	Bw2	5,8	2	0,8	0,07	0,4	0,2	1,5	2,17	30,88	690	70	240
2B	A	5	17	1,2	0,15	3,2	1,1	4,2	8,65	51,45	300	130	570
	AB	4,7	10	10	0,15	1,2	0,5	3,6	5,45	33,94	350	120	530
	Bw1	5,4	7	0,5	0,04	1,7	0,8	1,8	4,34	58,53	450	110	440
	Bw2	5,2	2	0,3	0,03	1	0,5	1,2	2,73	56,04	500	100	400
6B	A	4,6	10	1,2	0,04	1,2	0,4	2,3	3,94	41,62	470	110	420
	AB	4,8	7	0,8	0,03	0,8	0,3	1,9	3,03	37,29	400	120	480
	Bw1	4,9	6	0,5	0,03	0,4	0,2	1,8	2,43	25,93	420	110	470
	Bw2	4,9	7	0,3	0,05	0,2	0,1	1,9	2,25	15,56	420	110	470

7C	A	5,1	29	10	0,33	5	1,3	2,3	8,93	74,24	500	100	400
	AB	4,9	11	1,8	0,3	2,6	1	1,8	5,7	68,42	470	110	420
	BA	4,7	7	0,8	0,28	1,9	0,6	1,8	4,58	60,7	370	120	510
	Bw1	5	3	0,5	0,13	1,7	0,3	1,4	3,53	60,34	360	120	520
	Bw2	5,5	2	0,3	0,11	1,5	0,3	1,8	3,71	51,48	390	110	500
Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)													
3B	A	5	17	18,3	0,76	2,6	0,7	3,3	7,36	55,16	640	80	280
	AB	5,3	9	1,5	0,2	1,5	0,5	2	4,2	52,38	620	80	300
	BA	5,2	6	1,8	0,15	0,7	0,3	2	3,15	36,51	570	90	340
	Bw1	5,7	3	0,5	0,1	0,5	0,3	1,7	2,6	34,62	570	90	340
	Bw2	5,5	2	0,3	0,09	0,5	0,2	1,8	2,59	30,5	570	90	340
4B	A	4,2	10	3,7	0,11	1,3	0,6	4,2	6,21	32,37	590	90	320
	AB	4,4	8	1,8	0,03	1,2	0,5	3,6	5,33	32,46	580	90	330
	BA	5,3	6	0,8	0,03	1,1	0,4	1,9	3,43	44,61	570	90	340
	Bw1	5,2	3	0,5	0,02	0,6	0,4	1,8	2,82	36,17	560	80	360
	Bw2	5	3	0,3	0,02	0,3	0,2	1,7	2,22	23,42	540	90	370
5B	A	6,4	14	5,6	0,1	4,1	1,7	1,4	7,3	80,82	570	90	340
	AB	4,9	9	1,2	0,05	2,3	1,3	2,3	5,95	61,34	570	90	340
	BA	4,4	6	0,5	0,04	1,3	0,6	1,9	3,84	50,52	550	100	350
	Bw1	4,3	3	0,5	0,04	0,6	0,3	2	2,94	31,97	540	90	370
	Bw2	4,3	2	0,5	0,03	0,2	0,4	2,1	2,73	23,08	540	90	370
8C	A	4,5	18	3,4	0,21	2,5	0,7	4,1	7,51	45,41	570	90	340
	AB	4,2	10	1,5	0,08	0,6	0,4	3,1	4,18	25,84	570	80	350
	BA	4,3	6	0,3	0,08	0,2	0,2	2,9	3,38	14,2	550	100	350
	Bw1	4,2	3	0,8	0,04	0,2	0,2	2,2	2,64	16,67	540	90	370
	Bw2	4,3	3	0,8	0,03	0,2	0,1	2	2,33	14,16	540	90	370

A – perfil fertirrigado; B – perfil não fertirrigado; C – vegetação natural; 1 – sucessão soja/cana; 2 – sucessão pasto/cana; 3 – sucessão soja/cana; 4 – sucessão pasto/cana; 5 e 6 – sucessão pasto/soja.

No laboratório, os microrganismos (fungos e bactérias) foram quantificados e submetidos a análises de Biomassa microbiana, de acordo com Moreira; Siqueira, 2006. A quantificação de fungos e bactérias foi realizada pela técnica *pour plate* (FILHO; OLIVEIRA, 2007).

A determinação da Biomassa de Carbono (C-BMS) foi realizada através da técnica de irradiação em forno de microondas e seguida por dicromatometria ($K_2Cr_2O_7$ 0,066 mol. L-1 e depois titulação com $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ 0,033 mol. L-1. O cálculo da C-BMS (mg kg-1de C-BMS no solo) foi realizado por meio da fórmula BMS($mg.kg^{-1}$) = $FC.kc^{-1}$ sendo BMC= biomassa de carbono microbiano do solo em mg de C por kg de terra (ou $\mu g.kg^{-1}$); FC= fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C ($mg.kg^{-1}$) recuperada no extrato da amostra irradiada e a recuperada na amostra não irradiada; kC= fator de correção (MENDONÇA; MATOS, 2005). Determinou-se ainda, a respiração basal ($C\text{-}CO_2$), obtida pela incubação das amostras com captura de CO_2, em NaOH, durante sete dias, proposto por Jenkinson e Powlson (1976).

Após a realização das análises de C-BMS e C-CO2, foram determinados os quocientes metabólicos (qCO_2), conforme Anderson e Domsch (1990), sendo esse atributo obtido a partir da relação C-CO_2/C-BMS, e o quociente microbiano (qMIC), pela relação C-BMC/C-orgânico total. A tabela 2 apresenta os valores microbiológicos.

Tabela 2. Atributos Microbiológicos dos Latossolos Vermelhos Distroférrico e Distrófico com cana-de-açúcar em 8 perfis com diferentes manejos cultivados e 2 perfis com floresta semidecidual, na região de Quirinópolis, Goiás.

Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf)

Perfil	Horizontes	C-BMS mg kg-1	C-CO_2 µg kg-1 h-1 C-CO2	qCO2 µg-1h-1 de C-CO2 do C-BMC	Quantidade de Bactérias UFC/ml	Quantidade de Fungos UFC/ml	qMIC %
1ª	A	275	6,5	0,02	9700	3950	0,101
	AB	412,5	19,5	0,05	1500	40	0,13
	BA	112,5	19	0,17	8400	300	0,035
	Bw1	125	18	0,14	1480	150	0,04
	Bw2	125	17,5	0,14	1950	0	0,041
1B	A	337	14	0,04	2370	1600	0,113
	AB	375	12,5	0,03	1800	200	0,105
	BA	450	15,5	0,03	2230	0	0,13
	Bw1	437	10	0,02	600	0	0,267
	Bw2	350	9,5	0,02	2750	0	0,104
2ª	A	234,85	7,5	0,032	5475	3100	0,092
	AB	237,51	13	0,055	3085	300	0,078
	BA	37,52	12,5	0,33	1459	600	0,012
	Bw1	287,51	10	0,035	1459	650	0,087
	Bw2	150	9,5	0,063	1650	0	0,046
2B	A	225	13,5	0,06	1190	250	0,077
	AB	299,76	17,5	0,058	7870	250	0,104
	Bw1	212,5	8	0,03	5150	0	0,072
	Bw2	112,5	12	0,1	3600	0	0,036
6B	A	250	31	0,124	2465	6600	0,125
	AB	125	30	0,24	2920	8700	0,051
	Bw1	512,5	27,5	0,053	755	2200	0,253
	Bw2	250	24	0,096	505	200	0,081
7C	A	400	18	0,045	5495	1350	0,135
	AB	250	20,5	0,082	6720	1550	0,063
	BA	201,3	22	0,1	6030	1500	0,102
	Bw1	112,5	15	0,13	2805	100	0,033
	Bw2	112,5	14,5	0,12	1390	50	0,039
Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)							
3B	A	212,5	25	0,11	5170	1060	0,076
	AB	75	22,5	0,3	1015	1250	0,026
	BA	76,89	22,5	0,29	3550	7550	0,023
	Bw1	87,5	21	0,24	6460	3850	0,024
	Bw2	125	22,5	0,18	2435	6300	0,047
	A	375	22,5	0,06	3350	8450	0,112

4B	**AB**	87,5	20	0,22	1465	1550	0,017
	BA	687,48	22,5	0,033	3060	1800	0,693
	Bw1	312,5	20	0,064	3725	200	0,123
	Bw2	137,5	14	0,1	2860	1375	0,069
5B	**A**	50	27,5	0,55	3140	6100	0,048
	AB	300	22,5	0,075	1520	6050	0,12
	BA	250	20	0,08	2455	3800	0,147
	Bw1	257,19	22,5	0,087	2290	1300	0,233
	Bw2	125	19	0,152	6850	4200	0,063
8C	**A**	275,22	27,5	0,099	1030	2950	0,145
	AB	262,5	25	0,092	9680	2350	0,059
	BA	550	25	0,045	7970	3045	0,194
	Bw1	225	25	0,11	9580	2100	0,039
	Bw2	87,5	27,5	0,31	1255	500	0,023

A – perfil fertirrigado; B – perfil não fertirrigado; C – vegetação natural; 1 – sucessão soja/cana; 2 – sucessão pasto/cana; 3 – sucessão soja/cana; 4 – sucessão pasto/cana; 5 e 6 – sucessão pasto/soja.

Os parâmetros referentes à biomassa microbiana, índices derivados e aos atributos físico-químicos foram submetidos à análise estatística dos componentes principais (ACP). Este método foi adotado por apresentar características de reduzir a multidimensionalidade de conjuntos de dados e gerar eixos interpretáveis (eixos ACP), encontrando combinações lineares das variáveis, de forma a descrever as fontes mais importantes de variação na ordenação dos dados (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998).

Foram realizadas duas ACPs: uma para os parâmetros biológicos/ diferentes perfis de Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico com diferentes tipos de manejo e outra para os seus atributos químicos. As análises dos componentes principais foram realizadas com o software STATISTICA ® versão 8.0 (Statsoft, Inc).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se observar na figura 2, para o horizonte A, diferentes posições dos perfis de LVd eLVdf e seus diferentes manejos. Os perfis 7C, com vegetação nativa, e o 1B, com manejo anterior soja e atual cana não fertirrigada, agrupou-se com a maioria das variáveis físico-químicas (figura 2). Tais resultados indicam o manejo do perfil 1B como mais favorável a um maior equilíbrio dos componentes químicos do solo, em comparação aos outros perfis avaliados.

Os perfis fertirrigados, 1A, com manejo anterior soja e 2A, com manejo anterior pasto, agruparam-se para as variáveis, H + Al e P (figura 2), mostrando que o uso de vinhaça influencia diretamente na dinâmica do solo, podendo modificar os parâmetros químicos deste ambiente no referido horizonte A.

Na figura 3, no horizonte A, se observa que a vegetação nativa, tanto do LVdf como do LVd, se agrupam com a maioria dos parâmetros biológicos relacionados à biomassa microbiana do solo, mostrando tratar-se de um ambiente favorável à manutenção de comunidades biológicas. Estes resultados corroboram com aqueles observados por Roscoe *et al.* (2006): quanto maior a diversidade de processos nos ecossistemas naturais, mais se reduzem os fatores de desequilíbrio no solo desses ambientes.

Entre os perfis, o perfil 6B (figura 3), com manejo anterior sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada e o 4B, com manejo anterior pasto/cana não fertirrigado, apresentou tendência próxima à observada para a vegetação nativa, favorecendo assim melhores condições ao desenvolvimento da comunidade microbiana do solo, no horizonte A.

A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo e o não revolvimento do solo proporcionam melhores condições à atividade biológica do solo (LISBOA *et al.*, 2012). Por outro lado, os perfis fertirrigados (1A e 2A), não apresentaram nenhum atributo biológico agrupado, mostrando que este sistema, no horizonte A, apresenta condições estressantes para as comunidades biológicas do solo (figura 3).

Observando a figura 4, quanto aos componentes principais dos atributos físico-químicos, o horizonte AB do perfil 7C (LVdf) mostra as variáveis químicas se agrupando com o da vegetação nativa, (figura 4). Este resultado pode ser atribuído à maior reciclagem de nutrientes no sistema natural, condicionado pelo maior aporte de substratos orgânicos ao solo destes ambientes.

A matéria orgânica é uma fonte fundamental de nutrientes para as plantas, disponibilizando elementos como o N, P, K, Ca, Mg e micronutrientes (MIELNICZUK, 2008; SALTON, *et al.*, 2011). Em relação aos perfis com manejos diferentes, o que mais se aproximou da vegetação nativa foi o perfil 1B, com manejo anterior soja e atual cana não fertirrigada.

Figura 2. Análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte A, em Quirinópolis, Goiás.

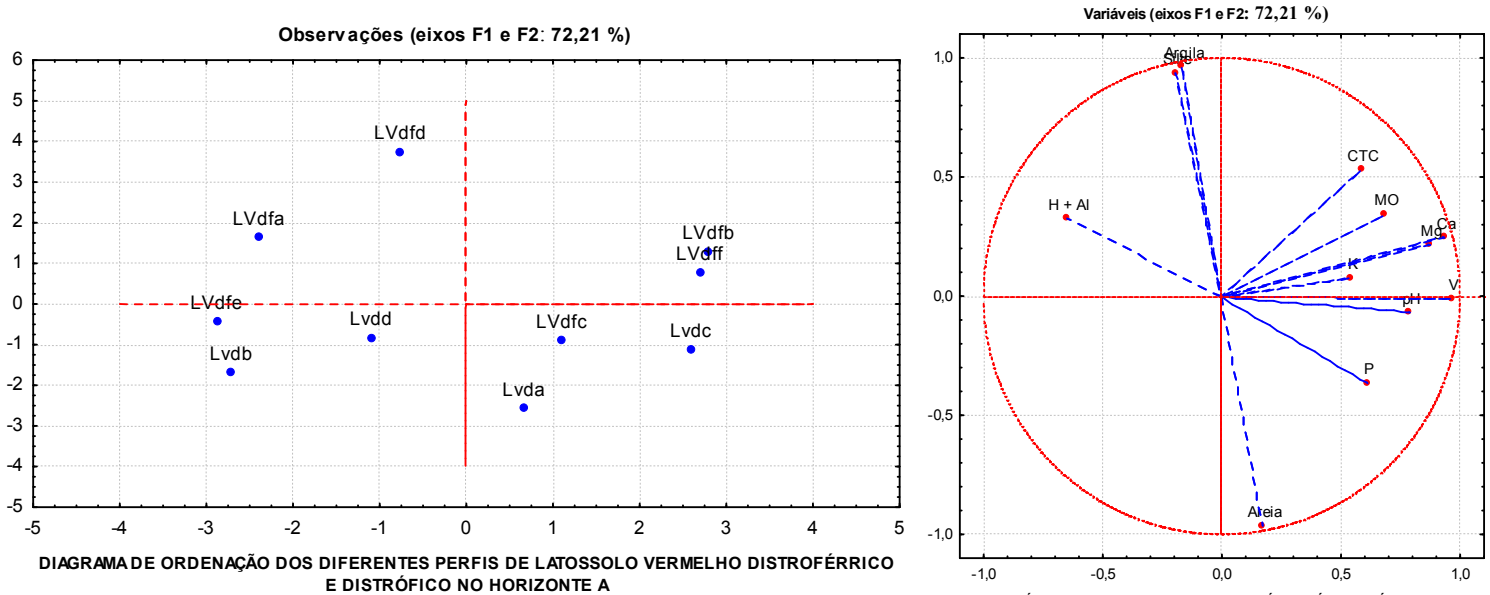


DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS DIFERENTES PERFIS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO NO HORIZONTE A

Lvdfa: 1A (Soja/cana fertirrigada); **LVdfb:** 1B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdfc :**2A (Pasto/cana fertirrigada) ; **LVdfd:** 2B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdfe :** 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdff:** (Floresta semidecidual) ; **LVda :** 3B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdb :** 4B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdc:** 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdd:** 8C (Floresta semidecidual)

CÍRCULO DE AUTOVETORES DAS VARIÁVEIS FÍSICO- QUÍMICAS

Variáveis físicas: areia, silte e argila; **Variáveis químicas:** H+Al (acidez potencial); CTC (capacidade de troca de cátions); MO (matéria orgânica); K (potássio); Ca (Cálcio); pH (potencial hidrogeniônico); V (percentagem por saturação de base); Mg (Magnésio); P(fósforo)

Figura 3. Análise dos componentes principais dos atributos Biológicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte A, em Quirinópolis, Goiás.

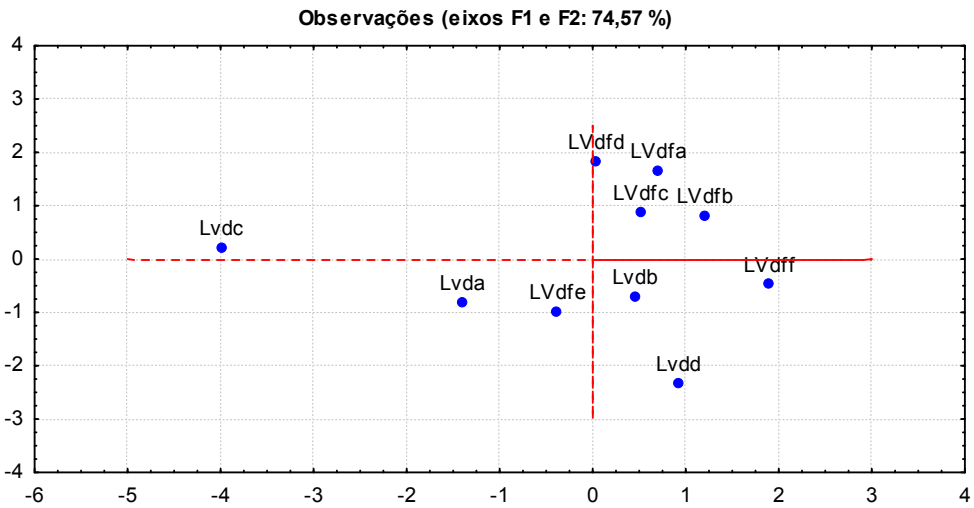
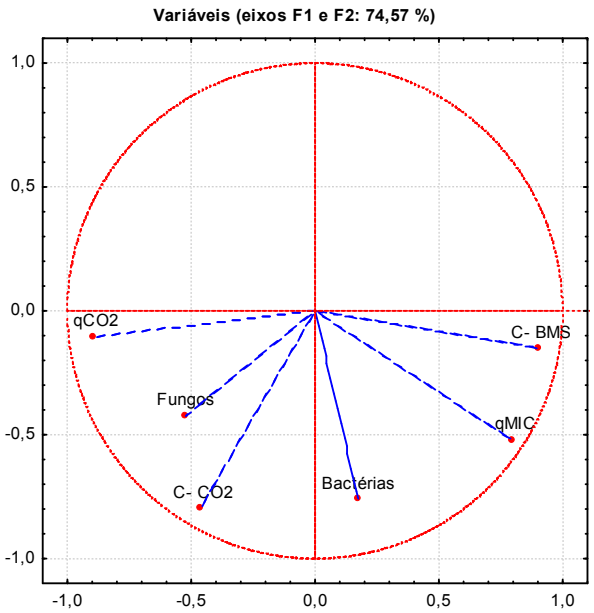


DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS DIFERENTES PERFIS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO NO HORIZONTE A

Lvdfa: 1A (Soja/cana fertirrigada); **LVdfb:** 1B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdfc :** 2A (Pasto/cana fertirrigada); **LVdfd:** 2B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdfe :** 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdff:** (Floresta semidecidual) ; **LVda :** 3B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdb :** 4B (Pasto /cana não fertirrigada); **LVdc:** 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdd:** 8C (Floresta semidecidual)



CÍRCULO DE AUTOVETORES DAS VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

qCO2: quociente de dióxido de carbono; **C-CO2:** respiração basal; **qMIC:** quociente microbiano; **C-BM:** Biomassa Microbiana; Bactérias (UFC); Fungos (UFC)

Os componentes principais dos atributos biológicos da figura 5, no horizonte AB, apresenta novamente os atributos agrupados nos perfis com vegetação nativa (7C e 8C). Provavelmente, a ausência de interferência antrópica, aliada ao acúmulo de serrapilheira na superfície do solo, tenham contribuído para este resultado. Entre os sistemas de manejo avaliados observa-se o perfil 6B (sucessão/pasto/soja/cana não fertirrigada, LVdf) e 5B (sucessão/pasto/soja/cana não fertirrigada, LVd), com melhores condições, indicando uma matéria orgânica de maior qualidade nos perfis.

No horizonte BA, os componentes principais dos atributos físico-químicos (figura 6) estão agrupados no perfil 7C (Vegetação Nativa, LVdf) e 1B (soja/cana não fertirrigada). Com intenção de quantificar a qualidade do solo, atributos químicos como pH, nitrogênio, fósforo e potássio disponíveis são utilizados como indicadores de qualidade do solo. Em relação aos nutrientes, os elementos nitrogênio (N), fósforo (P) e (S), por serem constituintes da matéria orgânica, tem sua disponibilidade às plantas diretamente influenciada pelo processo de mineralização (VEZZANI, *et al.*, 2008).

A matéria orgânica não é uma fonte inesgotável destes elementos e que a quantidade anual mineralizada de cada um deles precisa ser resposta ao solo, seja através da fixação biológica, no caso do N, ou através de adubações, no caso de N, P, e S. A MO é, então, um reservatório desses elementos e de fundamental relevância para as ciclagens biológicas, habilitando o solo exercer a função de estocar e promover a ciclagem de elementos na atmosfera (DUXBURY *et al.*, 1989; SANCHEZ,1976; PÔRTO, 2009).

Como observado, o perfil 1B, mesmo não sendo vegetação nativa, em função de manejo anterior, com adubações e outras técnicas, apresenta uma melhor condição para o desenvolvimento da matéria orgânica e em consequência a ciclagem de nutrientes.

Na análise dos componentes principais, quanto aos atributos biológicos (figura 7), eles se agrupam novamente, no horizonte BA do perfil 8C (, LVdf) e 7C (LVd), ambos com vegetação nativa. O perfil 4B, com manejo anterior pasto/cana não fertirrigada, apresenta alto teor de matéria orgânica, em função de alta correlação com o qMIC e a B-BMC. Neste perfil, por se tratar do horizonte BA e o fato de o manejo anterior ter sido pasto, favorecem a ausência de revolvimento do solo, conservando sua estruturação, aliada ao sistema radicular agressivo e abundante das gramíneas, confere ao perfil, neste horizonte, estas características, o que confirma resultados encontrados em outros estudos (ANGERS *et al.*,1992; MARCHIORI-JÚNIOR, 1998; MATSUOKA *et al.*, 2003).

Figura 4. Análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte AB, em Quirinópolis, Goiás.

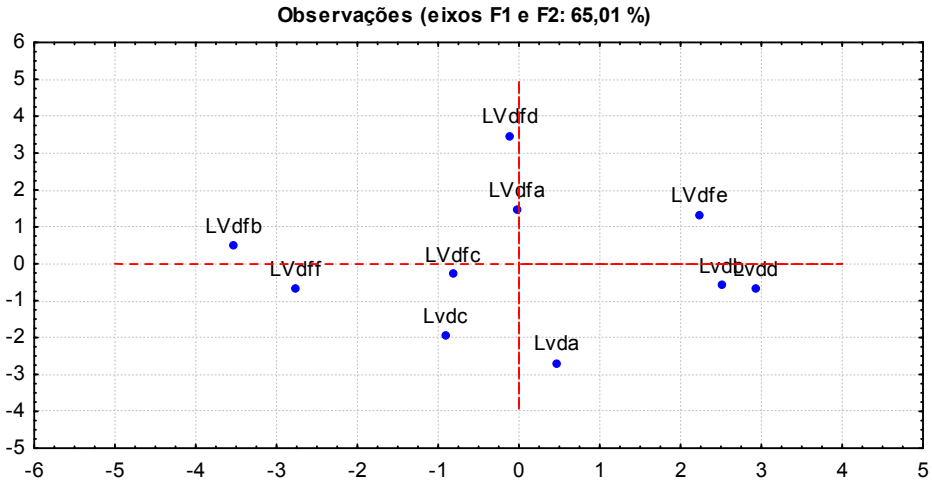
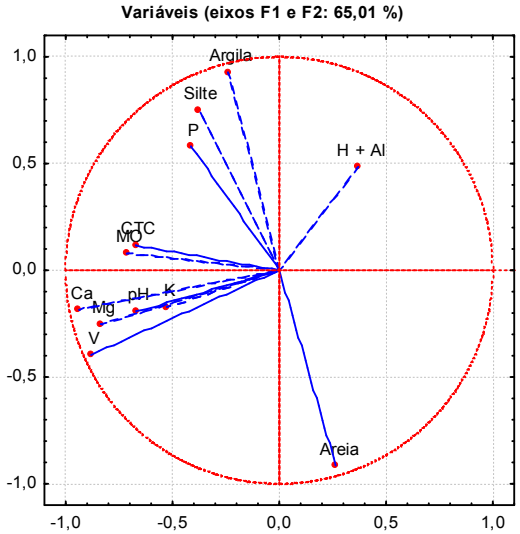


DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS DIFERENTES PERFIS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO NO HORIZONTE AB

Lvdfa: 1A (Soja/cana fertirrigada); **LVdfb:** 1B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdfc :** 2A (Pasto/cana fertirrigada); **LVdfd:** 2B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdfe :** 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdff:** (Floresta semidecidual) ; **LVda :** 3B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdb :** 4B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdc:** 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdd:** 8C (Floresta semidecidual)



CÍRCULO DE AUTOVETORES DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS

Variáveis físicas: areia, silte e argila; **Variáveis químicas:** H+Al (acidez potencial); CTC (capacidade de troca de cátions); MO (matéria orgânica); K (potássio); Ca (Cálcio); pH (potencial hidrogeniônico); V (percentagem por saturação de base); Mg (Magnésio); P(fósforo)

Figura 5. Análise dos componentes principais dos atributos Biológicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte AB, em Quirinópolis, Goiás.

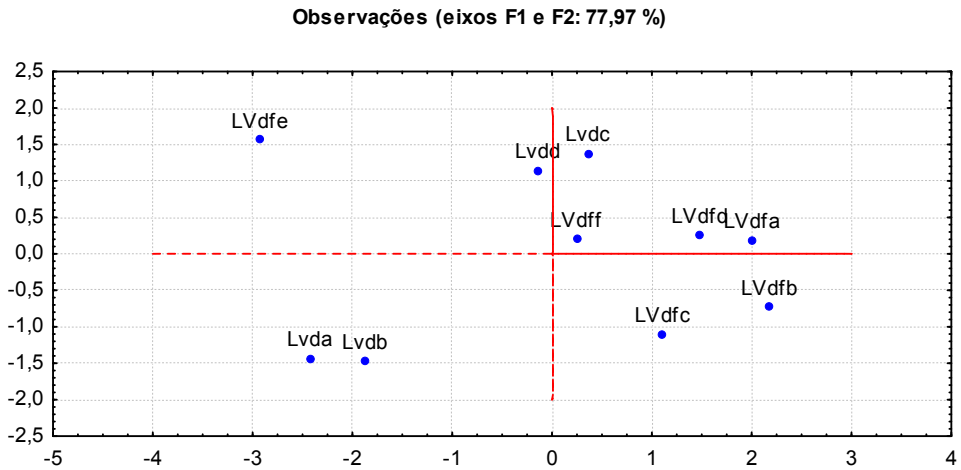
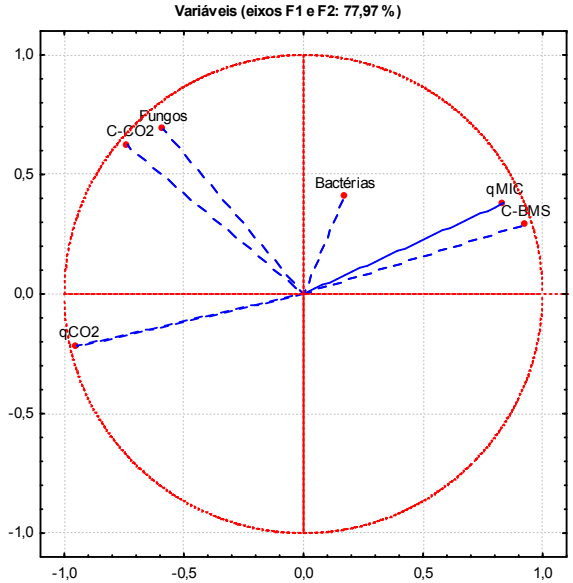


DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS DIFERENTES PERFIS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO NO HORIZONTE AB

Lvdfa: 1A (Soja/cana fertirrigada); **LVdfb:** 1B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdfc :** 2A (Pasto/cana fertirrigada); **LVdfd:** 2B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdfe :** 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdff:** (Floresta semidecidual) ; **LVda :** 3B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdb :** 4B (Pasto /cana não fertirrigada); **LVdc:** 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdd:** 8C (Floresta semidecidual)



CÍRCULO DE AUTOVETORES DAS VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

qCO2: quociente de dióxido de carbono; **C-CO2:** respiração basal; **qMIC:** quociente microbiano; **C-BM:** Biomassa Microbiana; Bactérias (UFC); Fungos (UFC)

Ainda na figura 7, o perfil 3B (LVd com soja/cana não fertirrigada,) teve uma alta correlação com o qCO_2, o que mostra um ambiente estressante. De acordo com Anderson; Domsch, (1993), o qCO_2 é considerado importante na avaliação dos efeitos das condições ambientais sobre a população microbiana do solo. Quanto maiores os valores em condições estressantes, mais a biomassa gasta carbono para sua manutenção.

No horizonte Bw_1 (figura 8), os componentes principais dos atributos químicos se agruparam no perfil 7C (vegetação nativa, LVdf), 1B (soja/cana não fertirrigada) e 2B (pasto/cana não fertirrigada). Em diferentes sistemas de manejo do solo, a microbiota recebe estímulos diferenciados, devido à composição de resíduos das espécies vegetais e aos métodos de preparo do solo. Isso resulta em diferenças na atividade microbiana, na relação imobilização-mineralização do nitrogênio e nas taxas de decomposição dos resíduos (RESCK *et al.*, 2008).

De acordo com Hernández; Hernandez (2002), a quantidade e a localização das entradas de resíduos orgânicos no solo afetam o compartimento ativo da matéria orgânica. Isso explica o fato de o perfil 1B, com manejo anterior soja e o perfil 2B, com manejo anterior pasto, apresentarem maior concentração de elementos, ou seja, dois tipos de manejos anteriores diferentes apresentando uma ciclagem de nutrientes ativa no mesmo horizonte.

Na figura 8, no horizonte Bw_1, o P apresentou uma alta correlação com o perfil 2A (pasto/ cana fertirrigada, Lvdf) e 3B (soja/cana não fertirrigada, LVd). Cambuim; Cordeiro (1986) estudando a utilização de vinhaça como fertilizante e condicionador de solos, observaram que a acumulação de fósforo foi inexpressiva, enquanto que a do potássio, cálcio e magnésio ocorreu quase que em proporção direta às doses de vinhaça. Esta alta correlação do fósforo com esses perfis, pelo estudado, por Cambuim; Cordeiro (1986), não é devido à vinhaça, e sim aos manejos anteriores dos perfis, o que explica o perfil 3B, também apresentar uma alta correlação com o fósforo.

Os componentes principais dos atributos biológicos, na figura 9, mostram o agrupamento das variáveis no perfil 8C (vegetação nativa, LVd). Os perfis 4B (pasto/cana, LVd), 5B (sucessão/pasto/soja/cana/ não fertirrigado, LVd) e o 6B (sucessão/pasto/soja/cana/ não fertirrigado, LVdf) apresentam tendência próxima a observada na vegetação nativa no horizonte Bw_1, com o agrupamento dos parâmetros de biomassa microbiana e quociente microbiano nos perfis. Estes resultados corroboram com a afirmativa de maior equilíbrio e diversidade de fatores nos ecossistemas naturais, podendo atenuar impactos negativos no solo destes ambientes (JÚNIOR, 2012).

Figura 6. Análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte BA, em Quirinópolis, Goiás.

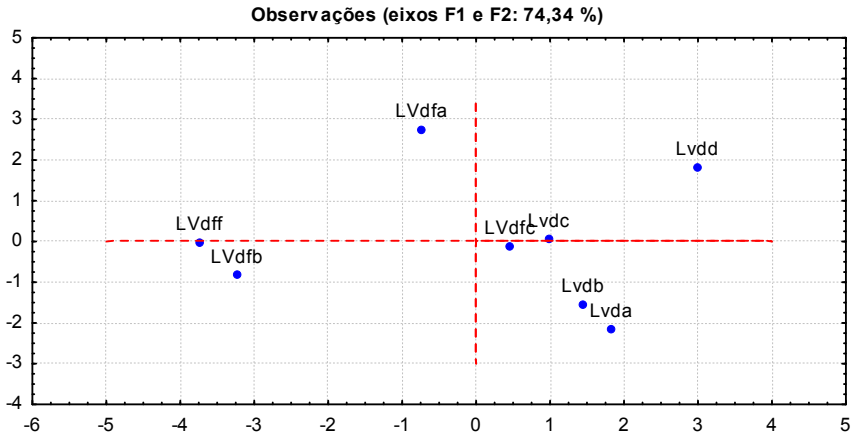
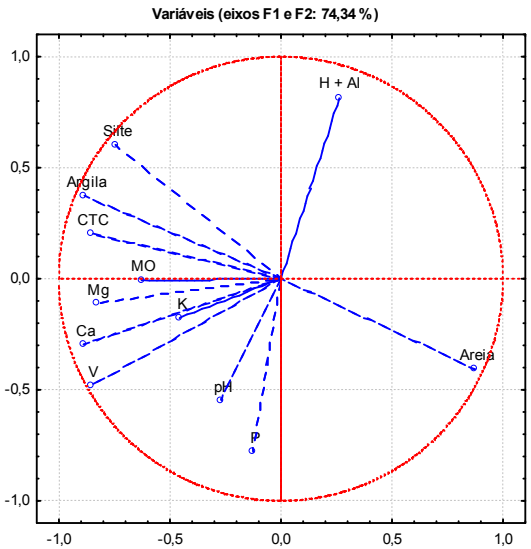


DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS DIFERENTES PERFIS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO NO HORIZONTE BA

Lvdfa: 1A (Soja/cana fertirrigada); **LVdfb:** 1B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdfc :** 2A (Pasto/cana fertirrigada); **LVdfd:** 2B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdfe :** 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdff:** (Floresta semidecidual) ; **LVda :** 3B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdb :** 4B (Pasto /cana não fertirrigada); **LVdc:** 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdd:** 8C (Floresta semidecidual)



CÍRCULO DE AUTOVETORES DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS

Variáveis físicas: areia, silte e argila; **Variáveis químicas:** H+Al (acidez potencial); CTC (capacidade de troca de cátions); MO (matéria orgânica); K (potássio); Ca (Cálcio); pH (potencial hidrogeniônico); V (percentagem por saturação de base); Mg (Magnésio); P(fósforo)

Figura 7. Análise dos componentes principais dos atributos Biológicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte BA, em Quirinópolis, Goiás.

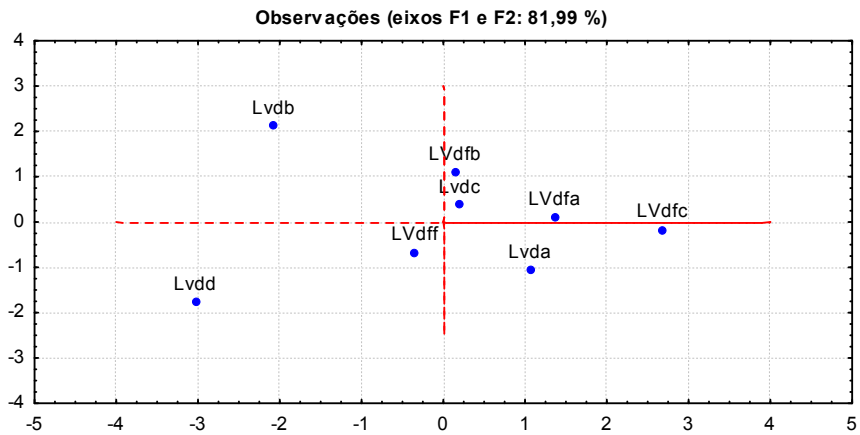
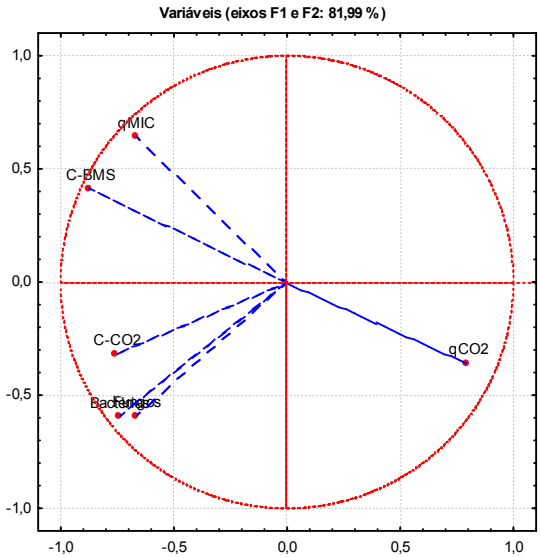


DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS DIFERENTES PERFIS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO NO HORIZONTE BA

Lvdfa: 1A (Soja/cana fertirrigada); **LVdfb:** 1B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdfc :** 2A (Pasto/cana fertirrigada); **LVdfd:** 2B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdfe :** 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdff:** (Floresta semidecidual) ; **LVda :** 3B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdb :** 4B (Pasto /cana não fertirrigada); **LVdc:** 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdd:** 8C (Floresta semidecidual)



CÍRCULO DE AUTOVETORES DAS VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

qCO2: quociente de dióxido de carbono; **C-CO2:** respiração basal; **qMIC:** quociente microbiano; **C-BM:** Biomassa Microbiana; Bactérias (UFC); Fungos (UFC)

Por outro lado, o perfil 3B (soja/cana não fertirrigada, LVd) agrupou-se com o quociente metabólico (qCO_2), mostrando que este sistema apresenta condições ambientais estressantes para as comunidades biológicas do solo no horizonte Bw_1 (figura 9).

No horizonte Bw_2, figura 10, houve o agrupamento das variáveis CTC, Ca, V, Mg, K e pH nos perfis 1B (soja/cana não fertirrigada, LVdf) e 2B (pasto/cana não fertirrigada, LVdf), próximos a vegetação nativa, LVdf (7C) e a argila e silte se agrupou no perfil 7C. Estes resultados mostram que estes perfis apresentam uma maior capacidade de trocas catiônicas, favorecendo as relações química, físicas e biológicas do solo e consequentemente estes sistemas tornam-se favoráveis a um maior equilíbrio dos componentes químicos e físicos do solo.

O fósforo e a areia (figura 10) tiveram maior correlação com o perfil 2A (Pasto/cana fertirrigada, LVdf). Estes resultados mostram, como observado por Cambuim; Cordeiro (1986), que esta alta correlação do fósforo com o perfil 2A, não é da entrada da vinhaça no solo e sim devido aos métodos de preparo do solo e da entrada de resíduos e outros elementos, de manejos anteriores a cana.

A matéria orgânica (figura10) agrupou-se no perfil 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada, LVdf). Este resultado sugere, que quanto mais dinâmico o manejo do solo, como ocorre na sucessão, mais complexas as interações bióticas, maior a probabilidade de resultar propriedades emergentes importantes na regulação do solo e se aproximar das condições naturais (BEARE *et al.*, 1995).

Os componentes principais dos atributos biológicos (figura 11) do horizonte Bw_2 agruparam-se no perfil 4B (pasto/cana não fertirrigada, LVd) e no perfil 1B (soja/cana não fertirrigada, LVdf). Em solos sob pastagem, a preservação da matéria orgânica tende a ser maior, pois o revolvimento do solo é mínimo, sendo o aporte de carbono, mais elevado que em áreas cultivadas (LATHEWELL; BOULDIN, 1981; CARNEIRO, 2008). Segundo Silveira *et al.* (2005), as leguminosas exercem papel de substancial importância como fornecedoras de nutrientes, uma vez que estas têm a vantagem de disponibilizar, prontamente, nutriente para as culturas sucessoras devido à rápida decomposição dos resíduos. Como citado por Carneiro (2008) e Silveira (2005), tanto o manejo anterior com soja, como pasto proporcionaram o aumento da matéria orgânica e em consequência o aumento de microrganismos, devido aos preparos dos solos anteriores, os perfis 4B e 1B apresentaram esta característica no horizonte Bw_2.

Figura 8. Análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte Bw_1, em Quirinópolis, Goiás.

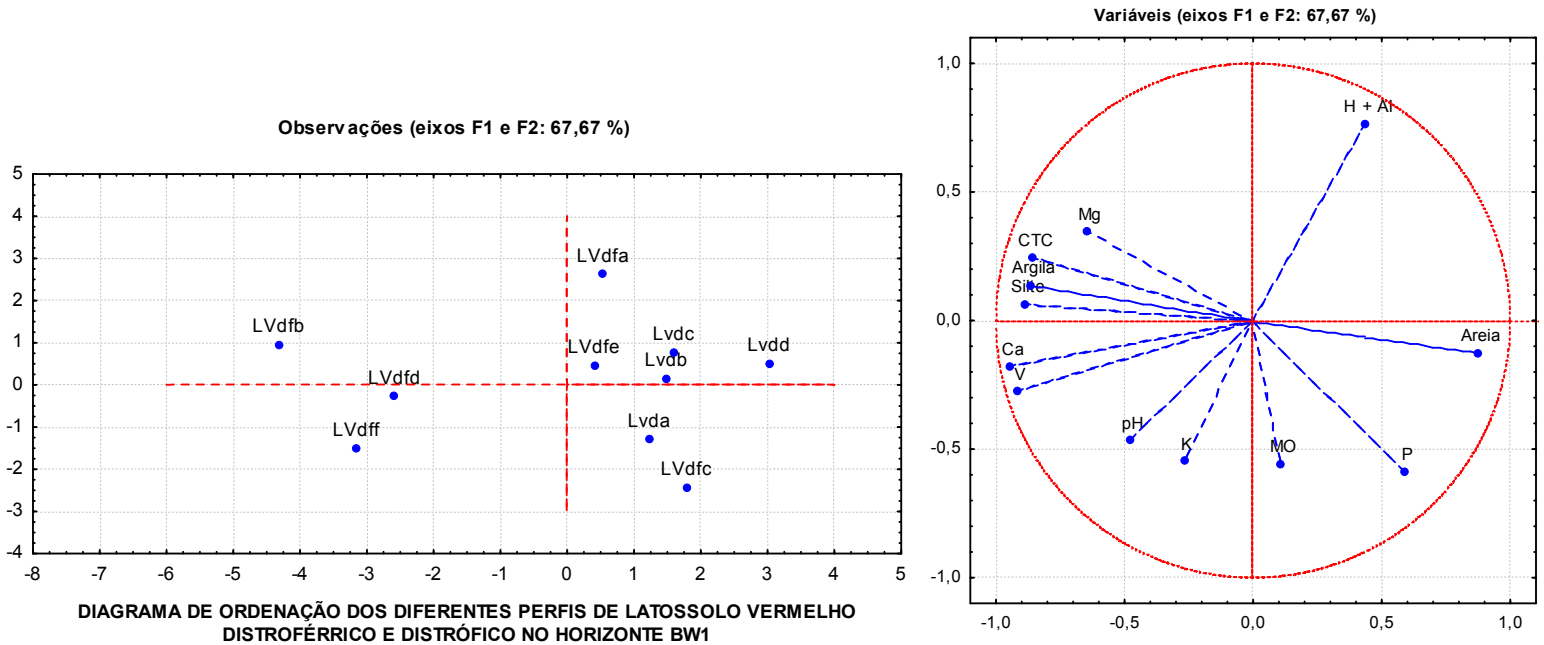


DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS DIFERENTES PERFIS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO NO HORIZONTE BW1

Lvdfa: 1A (Soja/cana fertirrigada); **LVdfb:** 1B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdfc :** 2A (Pasto/cana fertirrigada); **LVdfd:** 2B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdfe :** 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdff:** (Floresta semidecidual) ; **LVda :** 3B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdb :** 4B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdc:** 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdd:** 8C (Floresta semidecidual)

CÍRCULO DE AUTOVETORES DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS

Variáveis físicas: areia, silte e argila; **Variáveis químicas:** H+Al (acidez potencial); CTC (capacidade de troca de cátions); MO (matéria orgânica); K (potássio); Ca (Cálcio); pH (potencial hidrogeniônico); V (percentagem por saturação de base); Mg (Magnésio); P(fósforo)

Figura 9. Análise dos componentes principais dos atributos Biológicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte Bw_1, em Quirinópolis, Goiás.

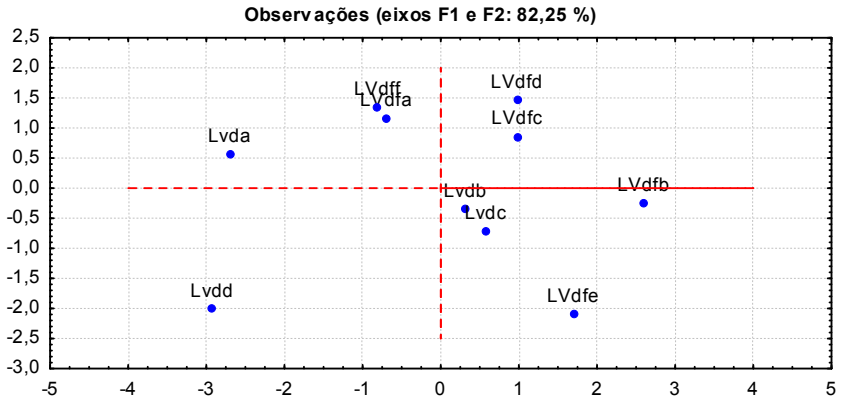
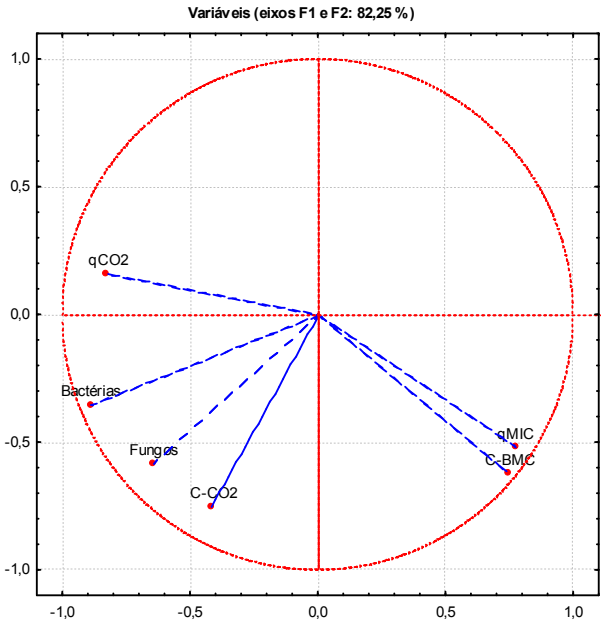


DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS DIFERENTES PERFIS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO NO HORIZONTE BW1

Lvdfa: 1A (Soja/cana fertirrigada); **LVdfb:** 1B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdfc :** 2A (Pasto/cana fertirrigada); **LVdfd:** 2B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdfe :** 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdff:** (Floresta semidecidual) ; **LVda :** 3B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdb :** 4B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdc:** 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdd:** 8C (Floresta semidecidual)



CÍRCULO DE AUTOVETORES DAS VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

qCO2: quociente de dióxido de carbono; **C-CO2:** respiração basal; **qMIC:** quociente microbiano; **C-BM:** Biomassa Microbiana; Bactérias (UFC); Fungos (UFC)

Figura 10. Análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte Bw_2, em Quirinópolis, Goiás.

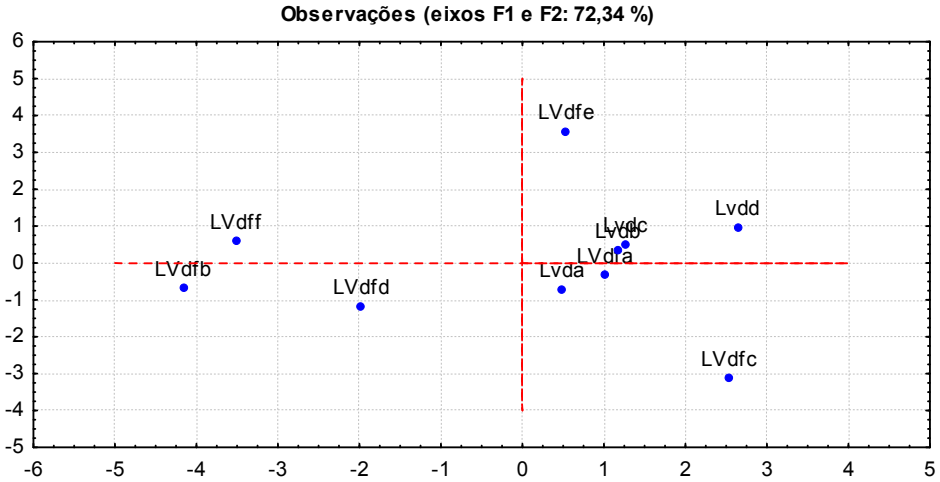
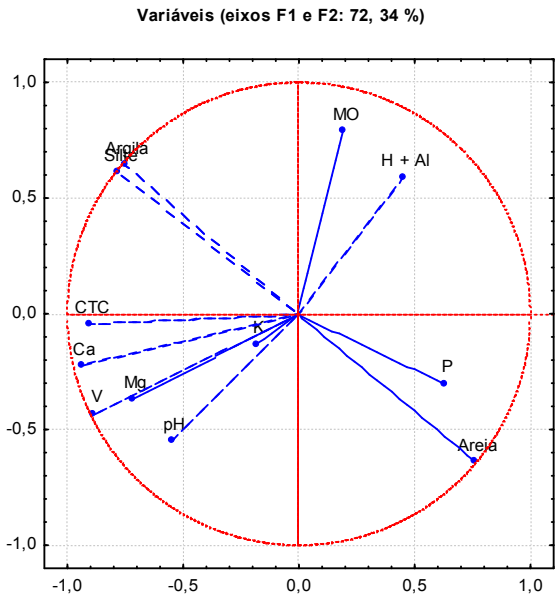


DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS DIFERENTES PERFIS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO NO HORIZONTE BW2

Lvdfa: 1A (Soja/cana fertirrigada); **LVdfb:** 1B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdfc :** 2A (Pasto/cana fertirrigada); **LVdfd:** 2B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdfe :** 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdff:** (Floresta semidecidual) ; **LVda :** 3B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdb :** 4B (Pasto /cana não fertirrigada); **LVdc:** 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdd:** 8C (Floresta semidecidual)



CÍRCULO DE AUTOVETORES DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS

Variáveis físicas: areia, silte e argila; **Variáveis químicas:** H+Al (acidez potencial); CTC (capacidade de troca de cátions); MO (matéria orgânica); K (potássio); Ca (Cálcio); pH (potencial hidrogeniônico); V (percentagem por saturação de base); Mg (Magnésio); P(fósforo)

Figura 11. Análise dos componentes principais dos atributos Biológicos dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes manejos no Horizonte Bw_2, em Quirinópolis, Goiás.

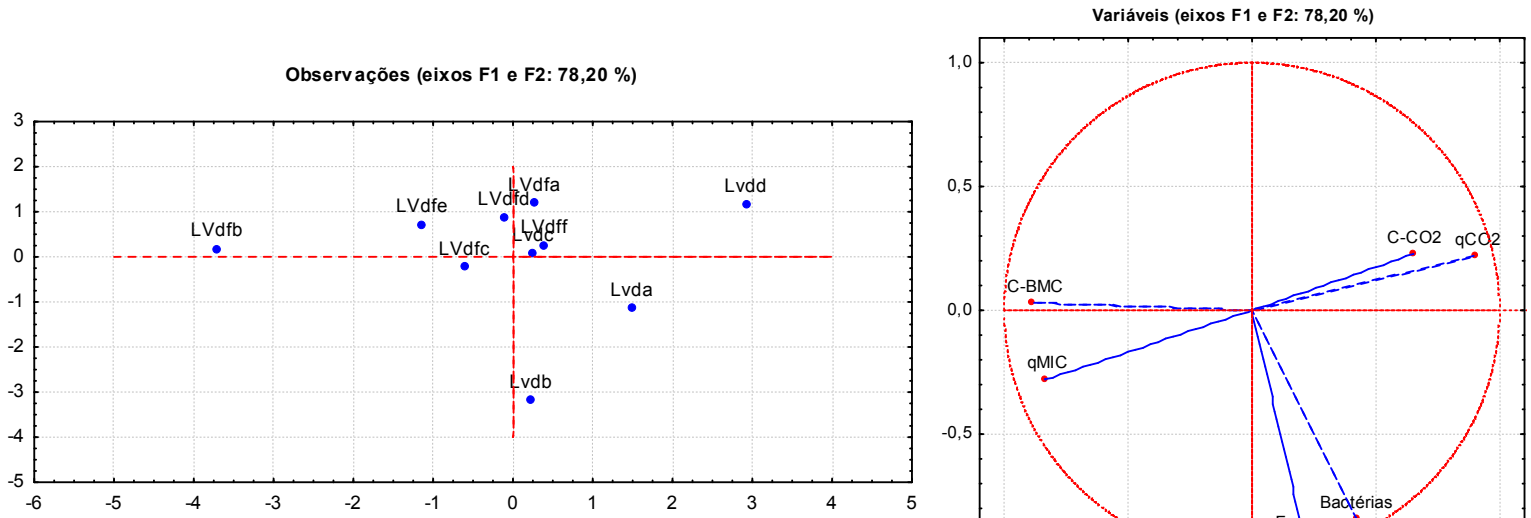


DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO DOS DIFERENTES PERFIS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO NO HORIZONTE BW2

Lvdfa: 1A (Soja/cana fertirrigada); **LVdfb:** 1B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdfc :** 2A (Pasto/cana fertirrigada); **LVdfd:** 2B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdfe :** 6B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdff:** (Floresta semidecidual) ; **LVda :** 3B (Soja/cana não fertirrigada); **LVdb :** 4B (Pasto/cana não fertirrigada); **LVdc:** 5B (Sucessão Pasto/soja/cana não fertirrigada); **LVdd:** 8C (Floresta semidecidual)

CÍRCULO DE AUTOVETORES DAS VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

qCO2: quociente de dióxido de carbono; **C-CO2:** respiração basal; **qMIC:** quociente microbiano; **C-BM:** Biomassa Microbiana; Bactérias (UFC); Fungos (UFC)

Outra observação refere-se ao agrupamento das variáveis respiração basal ($C-CO_2$) e quociente metabólico (qCO_2) no perfil 8C (vegetação nativa, LVd) (figura 11). Este comportamento, segundo Silva *et al.* (2010), pode ter ocorrido devido a grande quantidade de raízes, ou mesmo deposição de substratos orgânicos neste horizonte.

O quadro 4, apresenta uma síntese dos resultados encontrados na análise dos componentes principais dos atributos Físico-Químicos e Biológicos nos Latossolos Vermelhos Distróficos (LVd) e Distroférricos (LVdf) em Quirinópolis, Goiás:

Quadro 4. Quadro síntese das Variáveis Físico-Químicas e Biológicas nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), com diferentes tipos de manejo em Quirinópolis, Goiás.

VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS	
Observações principais	**Justificativa/ observação**
Manejos com equilíbrio dinâmico	
1B (Manejo anterior soja e atual cana não fertirrigada) / todos os horizontes	Bom equilíbrio em função do preparo do solo e seu revolvimento. A matéria orgânica não é uma fonte inesgotável dos elementos; a quantidade anual mineralizada de cada um deles precisa ser resposta ao solo, seja através da fixação biológica, no caso do N, ou através de adubações, no caso de N, P, e S.
2B (manejo anterior pasto e atual cana não fertirrigada)/ horizontes Bw_1 e Bw_2	Os horizontes Bw_1 e Bw_2 tiveram bom equilíbrio, em função de nos primeiros horizontes ter ocorrido maior compactação e os últimos horizontes ficarem mais preservados, devido ao uso anterior pasto.
Manejos sem contribuição para a conservação do ecossistema	
1A (soja/cana fertirrigada) e 2A (pasto/cana fertirrigada)	Uso de vinhaça influencia diretamente na dinâmica do solo, podendo modificar os parâmetros químicos deste ambiente no referido horizonte A; os demais horizontes não apresentaram melhorias
VARIÁVEIS BIOLÓGICAS	
Manejos com equilíbrio dinâmico	
6B (Manejo anterior sucessão pasto/soja/ cana não fertirrigada, LVdf) todos os horizontes	Quanto mais dinâmico o manejo do solo, como ocorre na sucessão, mais complexas as interações bióticas, maior a probabilidade de resultar propriedades emergentes importantes na regulação do solo e se aproximar das condições naturais
5B (Manejo anterior sucessão pasto/soja/ cana não fertirrigada, LVd) todos os horizontes	Matéria orgânica de maior qualidade nos perfis
4B (Manejo anterior pasto/ atual cana não fertirrigada, LVd) todos os horizontes	A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo e o não revolvimento do solo proporcionam melhores condições à atividade biológica do solo
Manejos sem contribuição para a conservação do ecossistema	
1A (soja/cana fertirrigada) e 2A (pasto/cana fertirrigada)	Horizonte A, apresenta condições estressantes para as comunidades biológicas do solo; os demais horizontes não apresentaram melhorias

CONCLUSÕES

A biomassa microbiana do solo com cana-de-açúcar, por responder às alterações causadas pelos dois diferentes tipos de manejo, fertirrigado e não fertirrigado pode ser considerada um bioindicador potencial para a avaliação da qualidade do solo.

Os perfis submetidos a uma sucessão de culturas antes do plantio da cana-de-açúcar favorecem a manutenção da comunidade de microrganismos do solo em comparação com outros manejos. O perfil com manejo anterior soja, no LVdf, foi o que mostrou melhor condição físico-química para o equilíbrio dinâmico da biomassa do solo.

Os perfis com vinhaça não apresentaram nenhuma melhoria para o desenvolvimento dos microrganismos no solo, bem como, melhores condições físico-químicas.

Assim, os usos anteriores revelaram-se importantes para a identificação das condições da qualidade do solo, indicando melhores condições para os solos que foram submetidos a uma sucessão e culturas antes da cana.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). Methods of soil analysis. 2nd. ed. Madison: American Society of Agronomy: *Soil Science Society of Agronomy*, 1982. p. 831-872. (Agronomy, 9). part 2: Chemical and microbiological properties.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (qCO2) as a specific activity parameter to asses the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistery*, v. 25, p. 393-395,1993.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of ecophysiological quotients (qCO2and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology*; Biochemistry, v.22, p.251-255, 1990.

ANGERS, D. A.; PESANT, A.; VIGNEUX, J. Erly cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter, and microbial biomass. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 56, n. 1, p. 115-119, 1992.

BEARE, M. H.; COLEMAN, D. C.; CROSSLEY, D. A.; HENDRIX, P. F.; ODUM, E. P. A Hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and soil*, Dordrecht, v. 170, p. 5-22, 1955.

BORGES, V. M. S. Formação de uma nova centralidade do setor sucroenergético no Cerrado: o caso de Quirinópolis, Estado de Goiás. 2011. 333 f. Tese (Doutorado) Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

BORGES, V. M. S.; SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. de. Caracterização edafoclimática da microrregião de Quirinópolis/GO para o cultivo da cana-de-açúcar. Anais... VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Recife, 2010.

CAMBUIM, F. A.; CORDEIRO, D. A. Ação da vinhaça sobre pH, acidez total, acumulação e liviviação de nutrientes em solo arenoso. STB, v. 4, n. 4. 1986, p. 27-33.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; NETO, A. N. S. Atributos Bioquímicos em dois solos de Cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. *Pesquisa Agropecuária tropical*. Goiânia, GO. v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008.

CASTRO, S. S. de, BORGES, R. de O., SILVA, R. A. A. da, BARBALHO, M. G. da S. Estudo da expansão da cana-de-açúcar no Estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: SBPC, II Fórum de C;T no Cerrado. Goiânia: SBPC, 2007.

CASTRO, S. S. de; ADBALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no Estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, 2010, v.30, nº 1. p. 171 – 191.

DA SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L., MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2010, 34: 1585-1592.

DE LUCA, T. H. Relationship of 0,5 M K_2SO_4 extractable anthronereactive carbon to indices of microbial activity in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, v. 30, p. 1293-1299.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; OLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A., ed. Defining soil quality for a

sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124. (Special publication n. 35).

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W.; JORDAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; *et al.* (Ed.). Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: NIFTAL Project, 1989. p. 33-67.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de solos*. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

FILHO, G. N. S.; OLIVEIRA, V. L. *Microbiologia*: Manual de aulas práticas. Florianópolis-SC: Editora UFSC, 2007. 160 p.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. *Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas para Análise da Qualidade Ambiental*: Solo, Água e Sedimentos. Jaguariúna- SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, 169 p.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L.; HONS, F. M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, v. 31, p. 395-405.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo*: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p.7-16.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênesis, 1999. p. 227-244.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2005, 9:893-901.

HERNANDEZ-HERNANDEZ, R. M.; HERNANDEZ, D. L. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in Savana soil aggregates under conventional and no-tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 34, n. 11, p. 1563-1570, 2002.

INDICADORES IBGE - *Estatística da produção agrícola*: Levantamento Sistemático Produção Agrícola, 2011, v. 24, p. 1-82.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology*; Biochemistry, v. 8, p. 209-213, 1976.

JUNIOR, P. P. Bioindicadores de qualidade do solo em cultivos de cana-de-açúcar sob diferentes manejos. Dissertação (Mestrado – Agronomia) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, 95 f., 2012.

KÕPPEN, W. Klassifications dês klimate nach temperatur, niedershlag und jahrelauf. *Petermans Geographische Mitteilungem*, Goth, 1918, v. 64, p. 193-203.

LATHEWELL, D.J.; BOULDIN, D.R. Soil organic matter and soil nitrogen behaviour inoxidizing, thiosulfate producing heterotrophs in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 20, n. 4, p. 577-578, 1981.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. *Numerical ecology*. Amsterdam: Elsevier Science, 1998. 853p.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A.F.; SELBACH, P.A. Indicadores Microbianos de Qualidade do Solo em Diferentes Sistemas de Manejo. *Revista Brasileira Ciência Solo*, v. 36, p. 45-55, 2012.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (organizadores). Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

MARCHIOR-JUNIOR, M. Carbono, nitrogênio, biomassa microbiana e atividade enzimática num solo sob mata natural ou cultivado com pastagem ou algodoeiro 1998. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 1998).

MATSUOKA, M. *et al.* Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste/MT. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 425-433, 2003.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; REIS-JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. E. *Bioindicadores para avaliação da*

qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade? Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009 (Documentos, 246).

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. *Matéria orgânica do solo*: métodos de análises. Viçosa-MG: UFV. 2005. 107 p.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 01-07.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 2002, 626 p.

PÔRTO, M.L.; ALVES, J.C.; DINIZ, A.A.; SOUZA, A.P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano. *Ciência Agrotecnica*, v. 33, p. 1011-1017, 2009.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. *Biomassa microbiana do solo*. Embrapa Cerrados. Planaltina – DF. 2007. Documentos. 40 p.

RESK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 01-07.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. *Biomassa microbiana do solo*: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Ed.). Dinâmica da 20 matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, p. 163-198.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Carbono no solo e em frações da matéria orgânica do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1349-1356, 2011.

SANCHEZ, P. A. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. New York: John Wiley. 1976. 618 p.

SANTOS, R. D. do; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. EMBRAPA. 5ª Ed. Viçosa, 2005.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação de cana planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima de palhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 811-820, 2010.

SILVA, A. A. Transformações no uso da terra e na estrutura de solos no cerrado em áreas de expansão da cana-de-açúcar – O caso da Microrregião de Quirinópolis, Goiás. 2012. 134 f. Tese (Doutorado - Geografia) – Universidade Federal de Goiás/ Instituto de Estudos Socioambientais, Goiânia – GO, 2012.

SILVA, A. A.; CASTRO S. S. Potencial e risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, sudoeste do estado de Goiás. *Revista Territorial*, Cidade de Goiás, Goiás, 2013 v.2, n.1, p.106-127.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. Dinâmica de uso da terra e expansão da cana-de-açúcar entre os anos de 2004 a 2010, na microrregião de Quirinópolis, Goiás. In: PIETRAFESA, J. P.; SILVA, S. D. de (org.). *Transformações no Cerrado*: progresso, consumo e natureza. Goiânia: Ed. PUC Goiás, 2011. p. 155-170.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes, MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SILVEIRA, P. M.; PEREIRA, A. J. B.; KLIEMANN, H. J. Adubação nitrogenada do feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40:377-381, 2005.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA,F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2007, 3: 1173-1184.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria Orgânica e Qualidade do Solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 01-07.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biology Review*, v. 67, p. 321-358, 1992.

ZIBILSKE, L. M. Carbon mineralization. In: WEAVER, R. W.; SCOOT, A.; BOTTOMLEY, P. J. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 836-864. (Special publication, 5). Part 2: Microbiological and biochemical properties.

ARTIGO 3

A FAUNA EDÁFICA EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E DISTRÓFICO CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR, SOB DIFERENTES MANEJOS, QUIRINÓPOLIS, GOIÁS

Georgia Ribeiro Silveira de Sant'Ana [(1)], Selma Simões de Castro [(2)]

[(1)] Doutoranda do Programa de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás. Cx. Postal 131, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás

[(2)] Professora Drª./Orientadora do Doutorado em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais e do Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás. Cx. Postal 131, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás.

RESUMO

A cana-de-açúcar é destaque no cenário agrícola do Brasil, cultivada em vários ambientes e manejos, sem que tenha sido avaliado suficientemente o impacto decorrente na microbiota do solo. Poucos estudos sobre a fauna do solo e as características ambientais das fitofisionomias e fitossociologias do Cerrado foram realizados. A fauna do solo é importante na ciclagem de nutrientes, influenciando direta e indiretamente no ciclo da matéria e no fluxo de energia nos ecossistemas terrestres. Este trabalho teve por objetivo avaliar a abundância da fauna edáfica em área de cana-de-açúcar nos diferentes manejos, bem como, o efeito da cultura sobre os organismos do solo em comparação com área de vegetação nativa, na região de Quirinópolis, Goiás. Foram selecionados oito sítios amostrais mais dois perfis como referência, com vegetação nativa, do tipo Floresta Semidecidual, em áreas de Latossolos Vermelhos distroférrico (LVdf) e distrófico (LVd). As descrições e coletas de amostras foram realizadas em maio e setembro de 2010. As amostragens foram realizadas em cinco profundidades. Os resultados revelaram que os grupos de maior abundância foram os colêmbolos, os himenópteros, os dipluras e os ácaros. Constatou-se maior abundância de fauna edáfica na serrapilheira, do que nos solos, devido à palha ter efeito mais importante do que a vinhaça. O LVd apresentou melhores condições de desenvolvimento para os organismos edáficos e a sucessão de culturas favoreceu o aumento da abundância de indivíduos. As áreas fertirrigadas com vinhaça apresentaram menor quantidade de fauna edáfica, que as demais. Os perfis, com uso anterior soja apresentaram maior abundância de fauna edáfica.

Palavras-chave: Invertebrados do solo, qualidade do solo, agroecossistemas

ABSTRACT

The sugar cane stands out in the agricultural scenario in Brazil, grown in various environments and managements, without having been sufficiently evaluated the impact of the soil microbiota. Few studies on soil fauna and environmental characteristics of the Cerrado physiognomies and fitossociologias were performed. Soil fauna is important in nutrient cycling, influencing directly and indirectly in the cycle of matter and energy flow in terrestrial ecosystems. This study aimed to evaluate the abundance of soil fauna in the area of sugar cane in different managements, as well as the effect of culture on soil organisms compared to native vegetation in the region of Quirinopolis, Goiás were selected eight sites sampled two as reference profiles with native vegetation, forest type Semidecidual in areas of Red Oxisols dystropherric (ROdf) and dystrophic (ROd). Descriptions and sample collections were conducted in May and September 2010. Samples were taken at five depths. The results revealed that the groups were the most abundant collembolans, the Hymenoptera, the dipluras and the mites. There was a higher abundance of soil fauna on litter than in soil due to straw have more important effect than the vinasse. The ROd showed better growth conditions for soil organisms and the succession of cultures favored the increase in abundance of individuals. The fertigated areas with vinasse showed a lower amount of edaphic fauna, than the others. Profiles, with previous use soybeans had greater abundance of soil fauna.

Key words: soil invertebrates, soil quality, agroecosystems

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é destaque no cenário agrícola do Brasil, sendo cultivada em vários tipos de ambiente e manejo, sem que tenha sido avaliado suficientemente o impacto decorrente do manejo na microbiota do solo. A expansão recente do cultivo no cenário agrícola brasileiro vem sendo impulsionada, desde o final da década de 1990, em direção à região Centro-Sul do Cerrado, em particular para os estados de Mato Grosso do Sul (MS) e Goiás (GO), nas paisagens dominadas por grandes extensões aplainadas e condições edafoclimáticas favoráveis.

A expansão ocorre devido a baixos declives e domínio dos Latossolos, considerados de maior aptidão agrícola, dentre outras, à cultura canavieira

(MANZATTO, 2009; CASTRO *et al.*, 2007, 2010; SILVA; CASTRO, 2011), embora sejam altamente suscetíveis à compactação (SILVA, 2012; SILVA; CASTRO, 2013), somada à oferta logística favorável à agroexportação, igualmente em expansão. Entretanto, estudos sobre as respostas dos diferentes cultivares, com tratos culturais diferenciados, poderiam auxiliar a maximizar a exploração econômica da cultura, indicando práticas mais adequadas, de acordo com as propriedades biológicas do solo (BEZERRA, *et al.*, 2008)

Poucos estudos relacionados à fauna do solo e às características ambientais das diversas fitofisionomias e fitossociologias do Cerrado foram realizados, sobretudo onde dominam as grandes chapadas e encostas extensas de declive suave, ambas com predomínio de Latossolos, cultivados, sobretudo, com grãos, em particular soja, e mais recentemente cana-de-açúcar.

Esses solos são, em geral, profundos, permeáveis e quimicamente pobres, devido intenso intemperismo, resultando em baixa soma de bases trocáveis disponíveis para a fauna e flora e com altos teores de ferro e alumínio, muitas vezes com toxidez elevada deste último. Eles apresentam teores variados de argila (embora tendam à textura média a argilosa) e teores de matéria orgânica geralmente baixos e ocorrem em diferentes ecossistemas, desde os florestais até os de campos (EMBRAPA, 1999; VARGAS, 1997).

A fauna do solo exerce importante papel na ciclagem de nutrientes (OSLER; SOMMERKORN, 2007; DUPONT *et al.*, 2009; CARRILLO *et al.*, 2011), uma vez que é responsável pela regulação da comunidade de microrganismos decompositores da matéria orgânica e fragmentação desse material (SOUZA *et al.*, 2008;YANG; CHEN, 2009), influenciando direta e indiretamente no ciclo da matéria e no fluxo de energia ao longo dos ecossistemas terrestres. Além disso, esses organismos apresentam grande contribuição para a agregação do solo (SCHEU, 2003; OYEDELE *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2012; SIDDIKY *et al.*, 2012), por meio de ações mecânicas (construção de ninhos e escavação) e modificando os materiais do solo pela deposição de compostos orgânicos (BIGNELL, 2006).

Os distúrbios físicos associados ao cultivo intensivo de lavouras agrícolas como a cana-de-açúcar podem levar à degradação do solo, com perda da matéria orgânica, redução na diversidade florística e ausência de cobertura vegetal em parte do ano, os quais induzem a diminuição na diversidade da biota edáfica, incluindo a população dos microartrópodos do solo (CORRY; GOOD, 1992).

Outro grande problema ambiental associado à expansão e intensificação da agricultura é a crescente fragmentação dos ecossistemas naturais como as florestas ou similares, causando efeitos deletérios sobre as comunidades bióticas, incluindo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (LAWRANCE *et al.*, 2002).

Este artigo tem como objetivo avaliar a abundância dos grupos taxonômicos da fauna edáfica em área de cana-de-açúcar e seus diferentes manejos, bem como, verificar o efeito da cultura sobre os organismos do solo em comparação com um sistema de vegetação nativa, em Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico, na região de Quirinópolis, Goiás.

METODOLOGIA

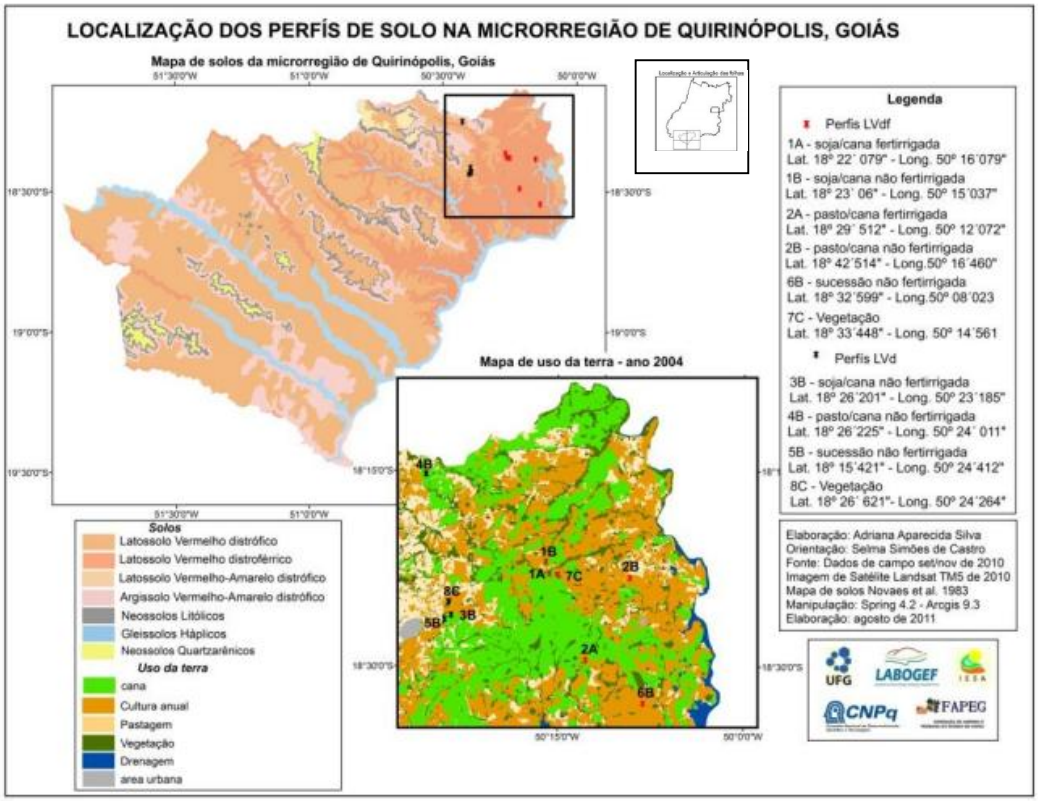
Área de estudo

A área de estudo situa-se na região sudoeste de Goiás, na microrregião de Quirinópolis (MRQ), onde a expansão da cana-de-açúcar é recente e alcançou rapidamente destaque como a nova centralidade (*hotspot*) da expansão (BORGES, 2010), substituindo áreas de grãos e pastagens (CASTRO *et al.*, 2010; SILVA, CASTRO, 2011) (figura 1).

Os terrenos da MRQ se assentam sobre arenitos e basaltos cretáceos da Bacia Sedimentar do Paraná, os quais suportam um relevo bastante suavizado constituído por planaltos nivelados e escalonados entre 400 e 1000 m, denominados de chapadas, cobertos por Latossolos Vermelhos que variam de textura média e distrófico a argilosa e distroférrico (EMBRAPA, 2006), os quais por seus atributos ambientais e de aptidão à cultura foram preferidos pela expansão canavieira. Tais condições são favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar.

O clima da microrregião de Quirinópolis (MRQ) é do tipo Tropical Quente Subúmido, Aw, com duas estações bem definidas e variações anuais significativas quanto à umidade, precipitação e temperatura, de acordo com a tipologia climática estabelecida por Kõppen (1918). Apresenta chuvas (outubro a março) e inverno seco (junho a setembro), com transições entre períodos úmidos e secos, com volume total de 1700 mm e uma amplitude térmica de cerca de 15º. Tais características são consideradas ideais para a cultura canavieira.

Figura 1. Mapa da microrregião de Quirinópolis, Goiás com a localização dos perfis de solos estudados.



Fonte: Silva (2012)

Plano de Amostragem

Foram selecionados oito sítios amostrais em áreas ocupadas por Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) e distrófico (LVd), no município de Quirinópolis (GO) e, paralelamente, mais dois perfis em áreas de referência, com vegetação nativa, do tipo Floresta Semidecidual, a qual antes dos anos 1980 ocupava boa parte do sul da microrregião de Quirinópolis (figura 1).

A descrição de perfis de solo cultivados seguiram as recomendações de Santos et al (2005) e a escolha observou os históricos de manejo, estando todos no 4º corte do 1º ciclo, tendo sido plantados com a mesma variedade de cana (SP 8132250), com cultivo e colheita fortemente mecanizada e sem queima (junho 2008, maio 2009, maio 2010) e mesmo preparo do solo, variando apenas em relação à fertirrigação com vinhaça (quadro 1). Assim, ao todo foram descritos e amostrados dez perfis de solo, com características físicas homogêneas (quadros 2 e 3), sendo seis com o tipo do solo

Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) e quatro, com o tipo de solo Latossolo Vermelho Distrófico (LVd).

Quadro 1. Preparo do solo utilizado nos oito pontos amostrais com cultura de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás.

Uso anterior /cana Perfil/Manejo*	**Preparo e conservação do solo**		
	Atividade	**Quantidade**	**Período/ano**
soja/cana 1A – LVdf 1B – LVdf 3B – LVd	Construção de terraços	-	Ag/2006
	Subsolagem	-	Ag/2006
	Grade pesada	-	Agosto/2006
	Calagem	3 t/ha	Set/2006 – jun/2009
	Gessagem	1,5 t/ha	Set/2006 – jun/2009
	Fosfatagem	0,23 t/ha	Set/2006
pasto/cana 2A – LVdf 2B – LVdf 4B – LVd	Grade leve	-	Set/2006
	Dessecação (glifosato)	5 l/ha	Out/2006
	Sulcação e adubação (05-25-25)	0,6 t/ha	Nov/2006
	Cobrição (regent 800 WG)	0,25 kg/ha	Nov/2006
pasto/soja/cana 5B – LVd 6B – LVdf	Quebra lombo	-	Fev/2007
	Adubação de cobertura (31-00-00)	0,20 t/ha	Jun/2008 – jun/2009
	Herbicida pré-emergente	0,14 kg/ha	Jun/2008 – jun/2009
	Controle de broca (vespa)	4 copos/ha	Dez/2008 – Dez/2009
	Controle de cigarrinha	0,8 kg/ha	Jan/2009 – Jan/2009
soja/cana 1A – LVdf Pasto/cana 2A – LVdf	Fertirrigação (vinhaça)	150 m^3/ha	Jun/2008

* (A)- fertirrigado (B) não fertirrigado. Fonte: Adaptado de Borges (2011).

Quadro 2. Caracterização dos perfis de solo estudados.

Perfil	**Elementos do meio físico**				**Uso e manejo**	
	Solo	**Geologia**	**Declividade**	**Altitude**	**Uso da terra anterior à cana/vegetação**	**Fertirrigação**
1A	LVdf	Basalto	0 a 3%	576	Soja	Fertirrigada
1B				540		Não fertirrigada
2A				503	Pastagem	Fertirrigada
2B				460		Não fertirrigada
6B				458	Sucessão: pasto/soja/cana	
7C				545	Vegetação natural	-
3B	LVd	Arenito	0 a 3%	558	Soja	Não fertirrigada
4B			3 a 6%	595	Pastagem	
5B			0 a 3%	633	Sucessão: pasto/soja/cana	
8C			3 a 6%	589	Vegetação natural	-

Fonte: Silva (2012)

Os perfis foram analisados em faces de trincheiras abertas (cerca de 2 x 1,5 x 2,5 m) com realização de descrições morfológicas baseadas no protocolo de Santos *et al.* (2005) (quadro 3). As descrições e coletas de amostras foram realizadas em maio de

2010 (perfis 1A, 1B, 2A, 2B e 7C) e setembro de 2010 (3B, 4B, 5B, 6B e 8C). Em cada perfil, as amostragens foram realizadas em cinco profundidades (quadro 3). Três amostras de solo com aproximadamente 1,5 Kg cada.

Quadro 3. Profundidade e manejo dos horizontes e perfis descritos em campo.

Solo	Perfil	Horizonte	Profundidade (cm)	Sucessão do uso/manejo
LVdf	1A	A	0 - 13	Soja/cana-de-açúcar 4º corte fertirrigada
		AB	13 - 50	
		BA	50 - 90	
		Bw_1	90 - 110	
		Bw_2	110 – 150+	
	1B	A	0 -23	Soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	23 - 65	
		BA	65 - 88	
		Bw_1	88 - 116	
		Bw_2	116 – 150+	
	2A	A	0 - 33	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte fertirrigada
		AB	33 - 47	
		BA	47 -77	
		Bw_1	77 - 115	
		Bw_2	115 – 150+	
	2B	A	0 -15	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	15 - 53	
		Bw_2	53 - 102	
		Bw_1	102 – 150+	
	6B	A	0 - 28	Sucessão pasto/soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	28 - 56	
		Bw_2	56 - 90	
		Bw_1	90 – 150+	
	7C	A	0 -20	Vegetação natural (Floresta semidecidual)
		AB	20 - 53	
		BA	53 - 90	
		Bw_1	90 - 130	
		Bw_2	130 – 150+	
	3B	A	0 -30	Soja/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	30 - 70	
		BA	70 - 97	
		Bw_1	97 - 118	

LVd		Bw_2	118 – 150+	
	4B	A	0 -20	Pasto/cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	20 - 44	
		BA	44 - 72	
		Bw_1	72 - 119	
		Bw_2	119 – 150+	
	5B	A	0 - 29	Sucessão pasto/cana-de-açúcar/ cana-de-açúcar 4º corte não fertirrigada
		AB	29 - 56	
		BA	56 - 73	
		Bw_1	73 - 97	
		Bw_2	97 – 150+	
	8C	A	0 - 13	Vegetação natural (Floresta semidecidual)
		AB	13 - 41	
		BA	41 - 60	
		Bw_1	60 - 88	
		Bw_2	88 – 150+	

A – perfil fertirrigado; B – perfil não fertirrigado; C – vegetação natural. Fonte: Silva (2012)

As amostras de solo foram homogeneizadas e divididas em duas partes: uma parte foi destinada à caracterização físico-química (1Kg) e o restante à determinação de variáveis bióticas. As amostras de solo para estudo biológico foram coletadas em recipientes estéreis e colocadas em caixas de isopor no campo (FILIZOLA *et al.*, 2006) e levadas ao laboratório da Faculdade SENAI Roberto Mange, Anápolis, Goiás, onde foram armazenadas em câmara fria (4ºC).

Para a estimativa dos componentes da mesofauna edáfica foi realizada a coleta do solo nos perfis estudados, cujas amostras foram acondicionadas em sacos de plástico, identificadas e levadas para o funil de Berlese-Tullgren (MACFADYEN, 1953; AQUINO *et al.*, 2006), no qual os invertebrados foram extraídos. O método de extração consistiu na migração descendente da mesofauna, em decorrência da elevação da temperatura, que chegou a 40ºC, sobre as amostras do solo provocadas pelo calor emanado por lâmpadas de 25 W. Os indivíduos foram coletados em recipientes contendo solução de álcool a 70% + formol 1%, posteriormente coados em papel de filtro e identificados com auxílio de um estereomicroscópio binocular da marca Motic, com lente de aumento de 20 vezes. A identificação da fauna do solo foi baseada em caracteres morfológicos e em chaves de identificação específica para cada grupo (BORROR, *et al.*, 2006; ALMEIDA *et al.*, 1998).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas. Para execução do cálculo estatístico foi utilizado o software STATISTICA ® versão 8.0 (Statsoft, Inc). Antes das análises os dados foram logaritimizados para estabilizar as variâncias e o nível de significância assumido foi de $\alpha = 0,005$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Grupos de organismos Edáficos

Foram contabilizados um total de 697 organismos edáficos, 273 organismos no LVdf e 424 organismos no LVd, distribuídos em 17 grupos: Acar: Acari; Dipte: Diptera; Hemi: Hemiptera; Diplu: Diplura; Diplo: Diplopoda; Hym: Hymnoptera; Coleo: Coleoptera; Isopt: Isoptera; Zorap: Zoraptera; Nemat: Nematóide; Collem: Collembola; Psic: Psicoptera; Arac: Aracnídeo; Crust/Isop: Crustáceo/Isópoda; Derm: Dermaptera; Blatt: Blattodea; Neur: Neuroptera. Os grupos taxonômicos mais presentes no perfis estão na tabela 1 e o número de organismos presentes em cada horizonte e na serrapilheira estão na tabela 2:

Tabela 1. Grupos taxonomicos mais presentes no perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), em Quirinópolis, Goiás

Grupos Taxonômicos	Nº de indivíduos
Colêmbolos	376
Ácaros	75
Diplura	69
Himenópteros	45
Hemipteras	38

Tabela 2. Número de organismos edáficos presentes na serrapilheira e horizontes (A, AB, BA, Bw_1, Bw_2), nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférrico (LVdf), em Quirinópolis, Goiás

Horizontes	Número de organismos edáficos
Serrapilheira	484
Horizonte AB	75
Horizonte BA	41
Horizonte Bw_1	34
Horizonte Bw_2	36

Esses indivíduos registrados neste estudo são comuns nos solos, entretanto, os colêmbolos constituem a maior parte da mesofauna edáfica, sendo importantes fontes de alimento para aranhas e coleópteros, e os fatores que os tornam mais abundantes são a variação de temperatura, disponibilidade de alimento e matéria orgânica (VARGAS; HUNGRIA, 1997).

Os himenópteros aparecem em ambientes com elevada concentração de fósforo, potássio e matéria orgânica, logo, quando se destacam, a presença indica degradação do ambiente, sobretudo perturbações ocasionadas por queimadas e alterações ambientais.

Os dipluros habitam locais úmidos, se alimentam de microrganismos do solo, mas algumas espécies são herbívoras e se alimentam de raízes ou resíduos orgânicos (BARETTA, *et al.*, 2011).

O grupo dos ácaros está amplamente associado com a matéria orgânica do solo. É encontrado em todo o perfil do solo, na serrapilheira, na superfície de gramíneas, nos galhos e nas folhas de árvores (BEHAN-PELLETIER, 1999). A resistência deste grupo à seca e às temperaturas extremas permite a colonização em quase todos os solos (LAVELLE; SPAIN, 2001). Os hemípteros são sensíveis a produtos químicos e indicam distúrbios em cultivos (FAUVEL, 1999). Em resumo, a variedade identificada desses grupos está de acordo com as características do solo do Cerrado, por apresentarem variações de habitats (MARÇAL, 2009).

O quadro 4 apresenta a distribuição dos grupos taxonômicos na serrapilheira e horizontes dos perfis estudados. Verifica-se, que o grupo dos colêmbolos aparece na serrapilheira e em todos os horizontes e o grupo dos himenópteros só não aparecem no horizonte Bw_2.

Observando-se a figura 2, nota-se que os horizontes, que mais apresentaram grupos taxonômicos foram a serrapilheira dos ambientes nativos (Floresta semidecidual), tanto do perfil 8C, como o 7C, seguida da serrapilheira do perfil 3B (Soja/cana não fertirrigada) e este do horizonte A do perfil 2B (Pasto/cana não fertirrigada). Ocorreu uma maior abundância de indivíduos na mata nativa do que nos ambientes cultivados, o que pode ser explicado pela presença de sub-bosque bem desenvolvido, a oferta de nichos ecológicos diversos, a menor incidência de radiação solar e a proteção contra fatores adversos do meio abiótico, dentre outros fatores (RICKLEFS, 2003).

Quadro 4. Distribuição dos grupos taxonômicos na serrapilheira e horizontes, dos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico e Distroférrico em Quirinópolis, Goiás

Horizontes	Organismos edáficos
Serrapilheira	ácaros, diplura, colêmbolos, himenópteros
Horizonte AB	hemípteros, colêmbolos e himenópteros
Horizonte BA	hemípteros, colêmbolos e himenópteros
Horizonte Bw_1	himenópteros, colêmbolos e dipluras
Horizonte Bw_2	colêmbolos, diplura e isopoda

O horizonte A do perfil LVdf submetido ao manejo pasto/cana não fertirrigado (2B) apresentou uma maior quantidade de grupos taxonômicos, do que o equivalente aos outros horizontes, nos outros manejos, principalmente os fertirrigados com vinhaça.

Pasini *et al.* (2004) afirmam que, apesar da diminuição normal e da riqueza taxonômica, as pastagens cultivadas podem não ter efeitos tão negativos sobre a fauna do solo, podendo inclusive favorecer o aumento da biomassa e da população de alguns grupos.

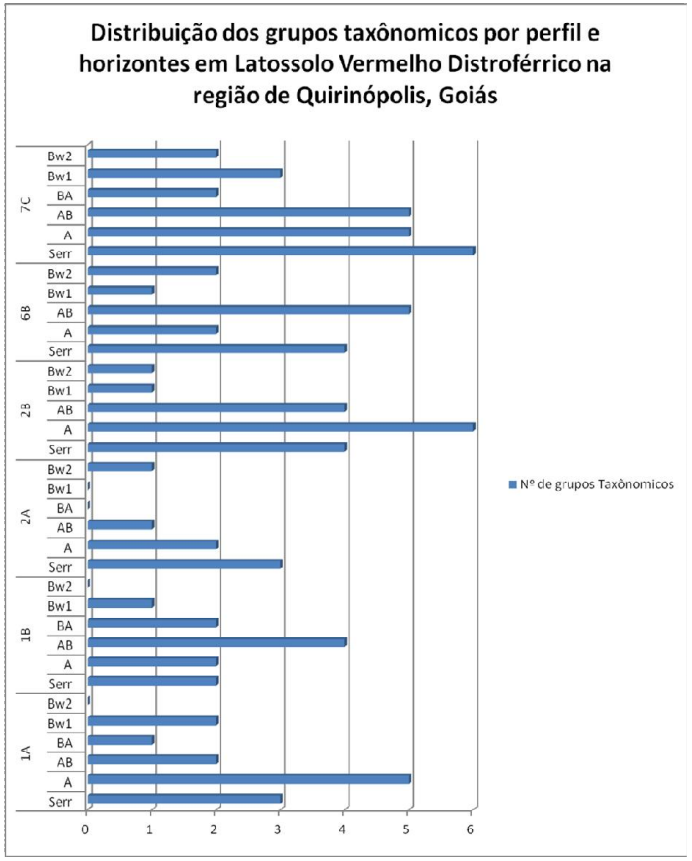
Na figuras 3 e 4 encontra-se a composição relativa da comunidade da fauna edáfica nos diferentes tipos de manejos, para o LVdf e o LVd, respectivamente. No LVdf, os hemípteros, ácaros, coleópteros e himenópteros apareceram em quase todos os tipos de manejos.

Outros grupos, como os psicopteros e aracnídeos foram identificados apenas no perfil da área com Vegetação Natural/Floresta semidecidual (perfil 7C). Outro destaque pode ser dado ao grupo isoptera, que ocorreu somente no perfil 2B (Pasto/cana não fertirrigada).

Quando ocorre redução de recursos alimentares, alguns grupos da macrofauna do solo podem se estabelecer com grande eficiência e dominar a comunidade, isso é bastante característico de insetos sociais como cupins (SILVA *et al.*, 2006).

Outro aspecto que pode ter influenciado a presença dos outros grupos, segundo Lavelle *et al.* (2006) e Baretta *et al.* (2007), é a temperatura, que influencia sua dinâmica populacional, o que explicaria também o fato do maior número de grupos taxonômicos ter sido identificado no perfil 2B e 7C (figura 5).

Figura 2. Distribuição dos grupos taxonômicos da fauna edáfica, por perfil, com diferentes manejos em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) e Distrófico (LVd) e horizontes (Serr: Serrapilheira, A, AB, BA, Bw_1,Bw_2), na região de Quirinópolis, Goiás.



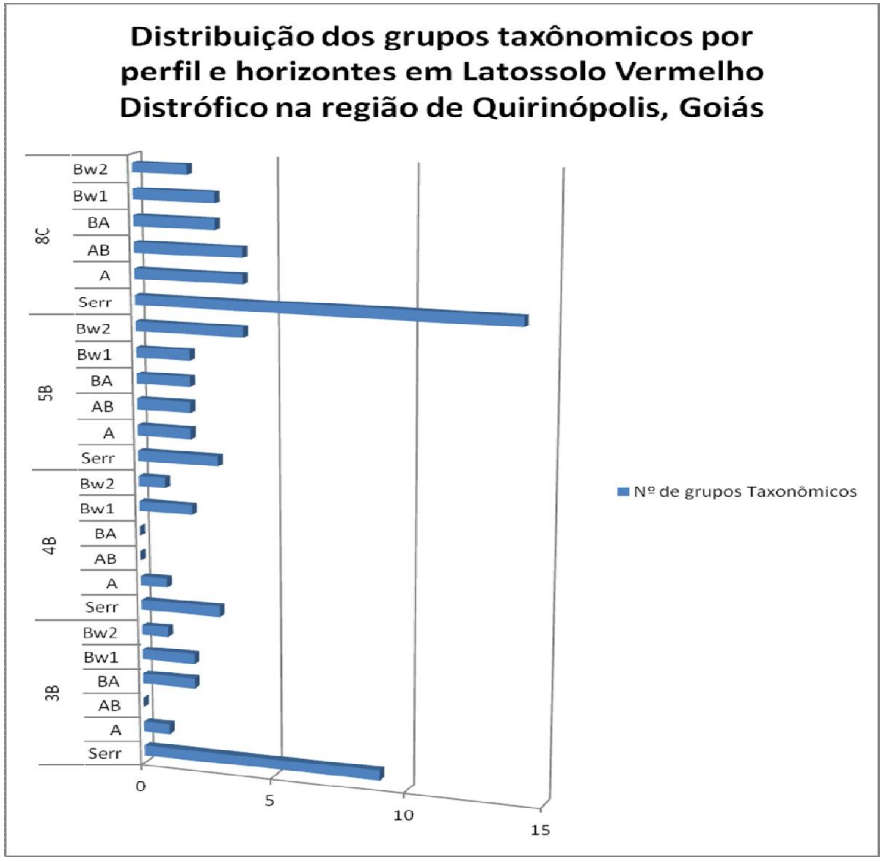


Figura 3. Distribuição da Fauna Edáfica em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) nos diferentes tipos de manejo, na região de Quirinópolis, Goiás.

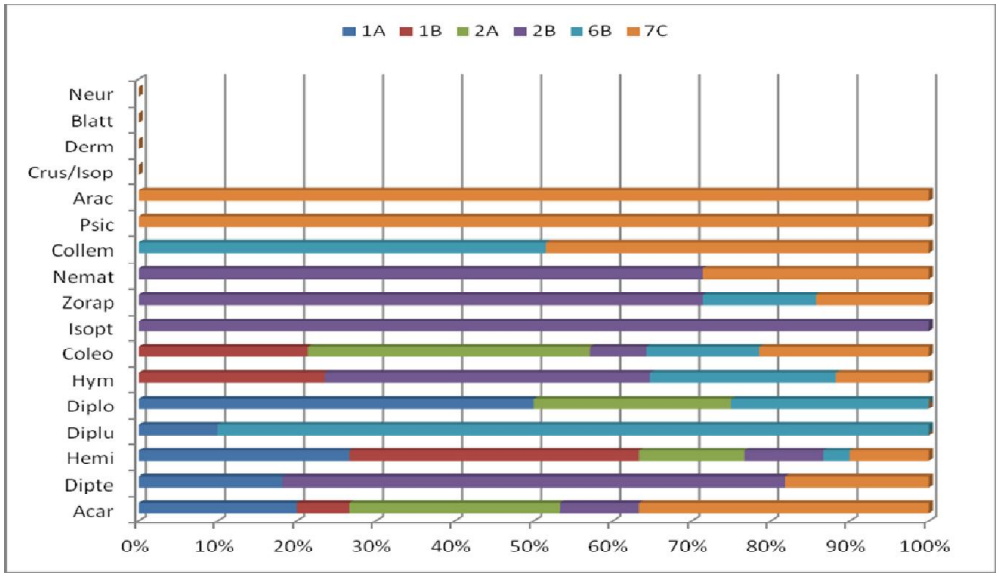
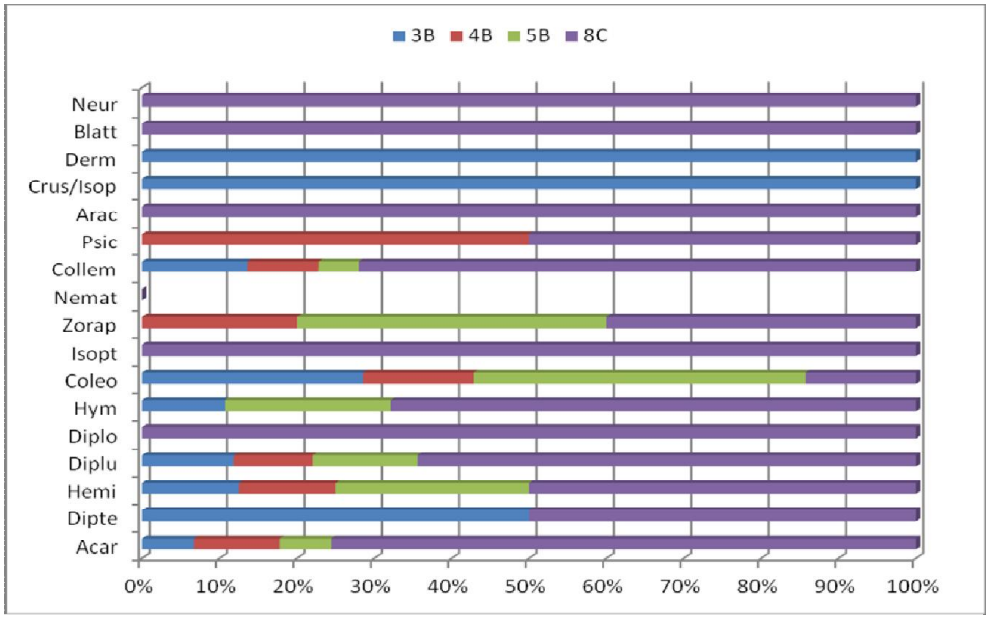


Figura 4. Distribuição da Fauna Edáfica em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) nos diferentes tipos de manejo, na região de Quirinópolis, Goiás.

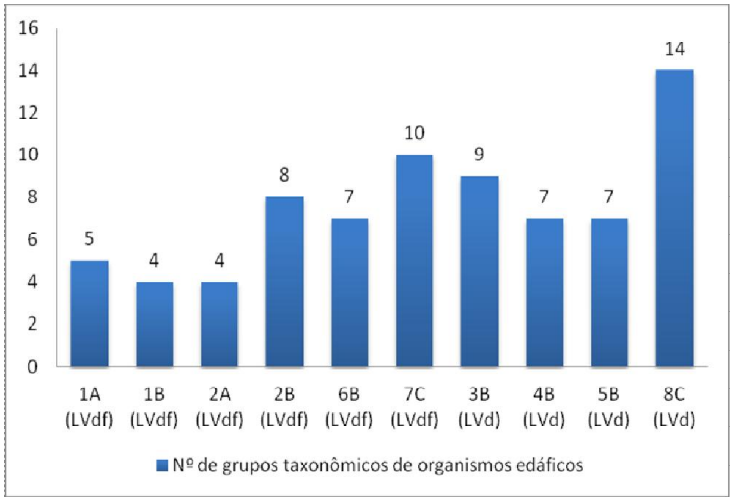


No LVd o grupo dos colêmbolos e acaris apresentaram-se em todos os perfis (figura 4) e os colêmbolos foram os que tiveram maior predomínio. A umidade e a temperatura são fatores que determinam o habitat ideal e influenciam a taxa de reprodução e crescimento dos indivíduos e sua distribuição vertical ao longo do perfil

(ARBEA; BASCO-ZUMETA, 2001). Comparativamente ao LVd, os perfis 1A (Soja/cana fertirrigada) e 2A (Pasto/cana fertirrigada) do LVdf, não apresentaram os colêmbolos. Essa ausência nos solos fertirrigados pode ser devida à incorporação de nutrientes ao solo que modificou as condições físico-químicas, alterando as fontes alimentares da fauna edáfica e consequentemente a distribuição (figura 3 e 4).

Comparando o número de grupos taxonômicos presentes em LVdf e LVd (figura 5), verifica-se que o solo LVd apresentou maior números de grupos. Segundo Benito (2002) e Merlim *et al.* (2005) o ambiente com maior disponibilidade de energia e nutrientes, associada à existência de novos habitats favoráveis à colonização da fauna invertebrada do solo, influencia a densidade e a diversidade de praticamente todos os grupos presentes. A vegetação nativa apresentou a maior diversidade de grupos, sendo significativamente superior aos sistemas cultivados (figura 3, 4 e 5).

Figura 5. Número total de grupos taxonômicos identificados nos perfis em Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) e Distrófico (LVd), na região de Quirinópolis, Goiás.



Os resultados obtidos corroboram os conceitos de Odum (1989), sobre a relação entre estabilidade do sistema e a diversidade de espécies. Para esse autor, em ambientes homogêneos, a densidade tende a ser alta e a diversidade tende a diminuir. Esse aspecto tem sido considerado de fundamental importância para a melhoria da dinâmica da matéria orgânica do solo e favorecimento da ciclagem de nutrientes e do crescimento vegetal (LAVELLE; SPAIN, 2001).

Abundância dos grupos taxonômicos

De modo geral, com exceção da ordem Araneae e ordem Blattodea, todas as ordens reduziram sua abundância da serrapilheira para o horizonte Bw_2 dos perfis estudados. A serrapilheira apresentou 69,4 % dos indivíduos identificados, seguida do horizonte A (10,76%), depois do horizonte AB (5,88%), o horizonte Bw_2 (5,16%), o horizonte Bw_1(4,87%) e o horizonte BA (3,87%).

Para a análise da abundância dos grupos taxonômicos em relação ao tipo de manejo e as profundidades, nos LVdf e LVd foram apresentados os gráficos (figura 6 a 20), nas quais ocorrem diferenças significativas no número de organismos da fauna edáfica. Para a confecção destes gráficos foram consideradas as médias de cada perfil e seus horizontes.

Observando a figura 6**,** nota-se que a abundância do grupo Acari foi maior estatisticamente no perfil 8C e 7C (vegetação nativa). O manejo com menor abundância foi o 1B (soja/cana não fertirrigada) e 6B (sucessão pasto/soja/cana) que não apresentou organismos deste grupo. Em relação ao tipo de solo o grupo Acari se destacou mais no LVd (figura 6). Para Uhlig (2005) e Baretta *et al.* (2011) estes picos podem estar relacionados com maior disponibilidade de alimento para outros integrantes da mesofauna, possíveis presas dos ácaros predadores. Outro fato seria o aumento da umidade, conforme Saultter (2001) proporciona elevação das populações e atividades das bactérias, sendo que, segundo Lavelle e Spain (2001), a maioria dos grupos taxonômicos de Acari alimentam-se de bactérias, fungos e algas.

Em relação à abundância do grupo Díptera (figura 7), os organismos edáficos aparecem apenas na serrapilheira e nos horizontes A e AB. No horizonte A e AB o grupo dos dípteros aparece somente no horizonte A do perfil 2B (pasto/cana/ não fertirrigado) e no perfil 7C (vegetação nativa). Quanto ao tipo de solo, o organismo apareceu mais no LVdf (figura 2). O grupo dos dípteros é importante na decomposição da matéria orgânica. Eles são indicadores de manejo intensivo e uso intensivo de agrotóxico e fertilizante (SOMMAGIO, 1999).

Figura 6. Abundância da Classe Aracnídea/subclasse Acarina (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) -1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.

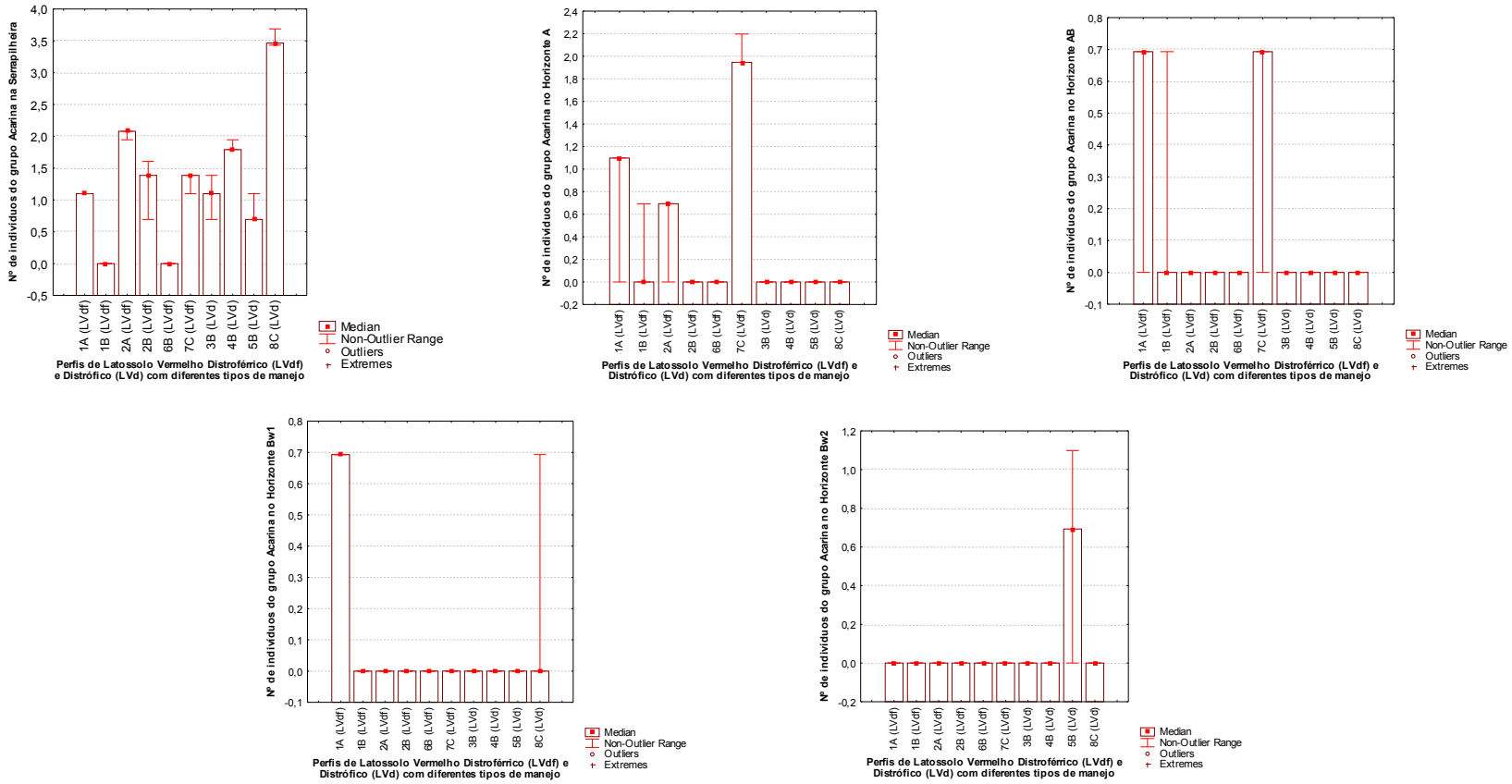
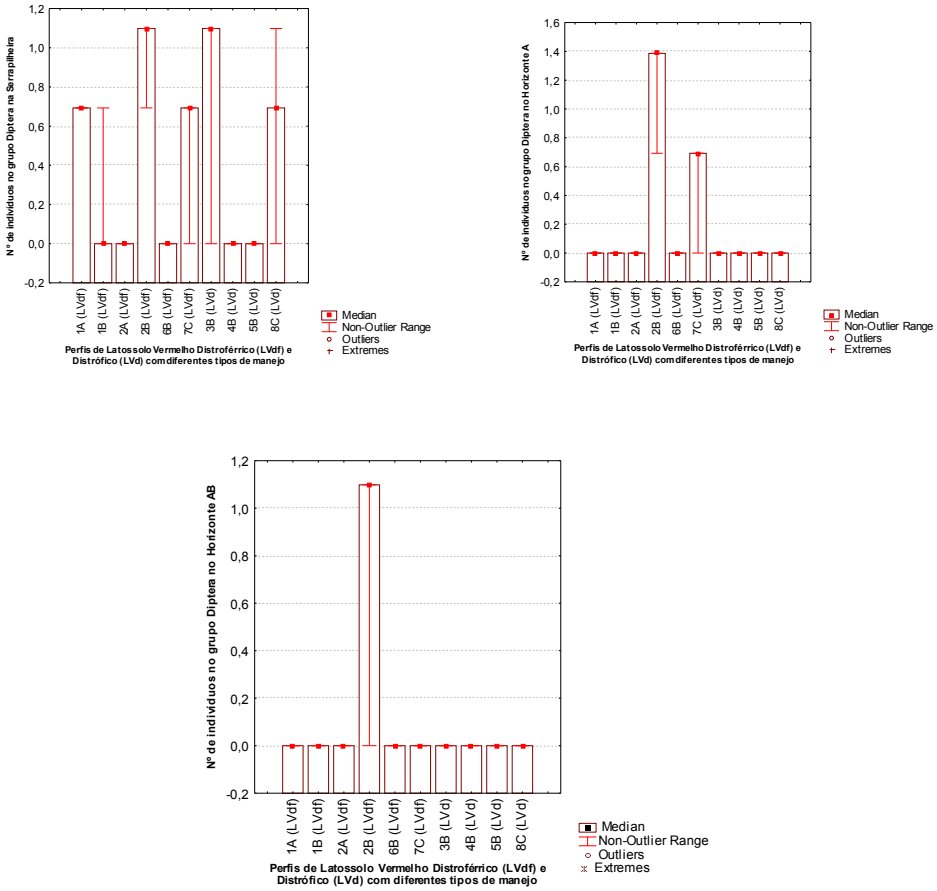


Figura 7. Abundância da Classe Insecta / Ordem Díptera (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) -1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.

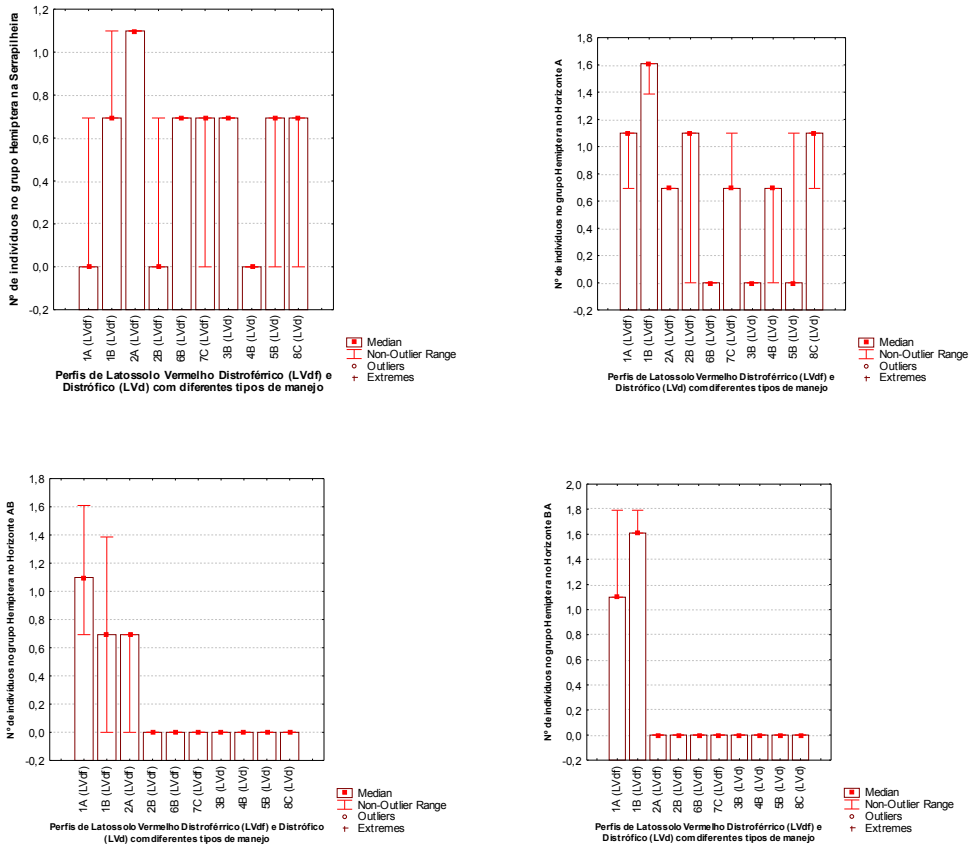


O grupo Hemíptera (figura 8) foi identificado na serrapilheira, com maior destaque no perfil 8C e em seguida o perfil 3B e 1B. No horizonte A apareceu na maioria dos perfis (1B, 2B, 6B, 5B e 8C), com maior destaque no perfil 2B. No horizonte AB apareceu também na maioria dos perfis (1B, 2B, 6B, 7C, 5B e 8C), em menor número com destaque para os perfis 5B e 8C. No horizonte BA houve maior redução da abundância se destacando mais no perfil 8C. Já no perfil Bw_1, o organismo apareceu apenas no perfil 2B.

O perfil que mais teve destaque em quantidade de organismos foi o 1B, com manejo anterior soja e atual cana não fertirrigada. O tipo de solo que mais apresentou o grupo hemíptera foi o LVdf (figura 8). Os Hemípteros são organismos não-edáficos, ou seja, não participam da decomposição da matéria orgânica no solo. Não há nenhum registro da atividade na fragmentação do folhiço ou na utilização de microrganismos

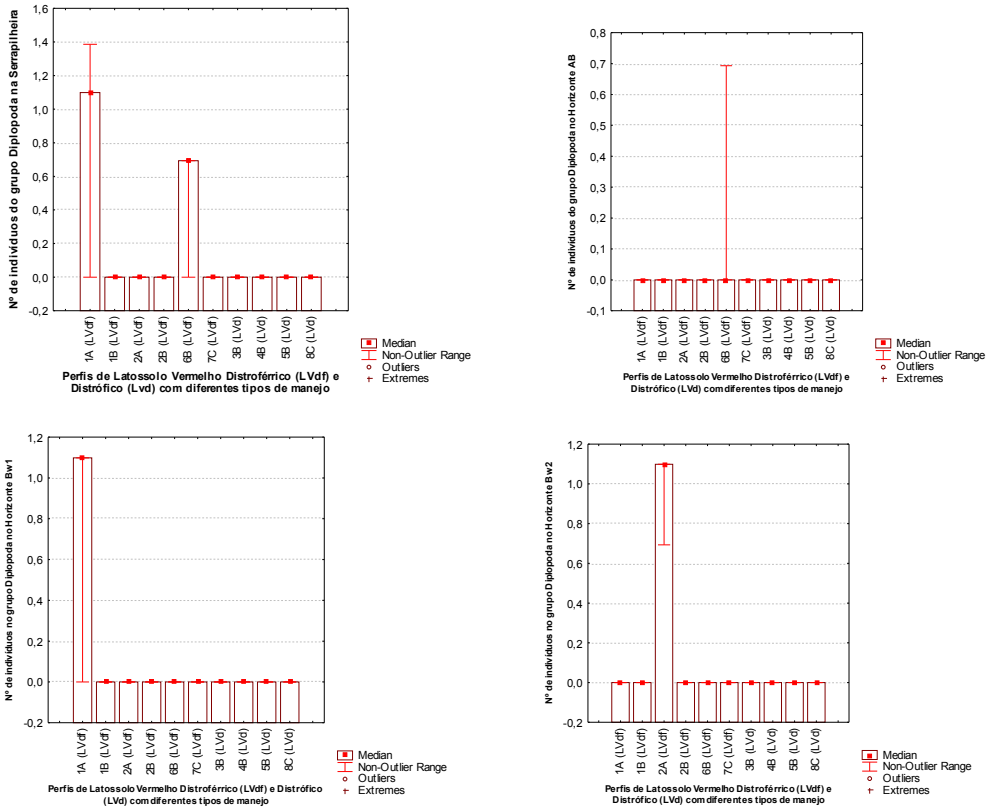
como alimento. Alguns Hemípteros e Homópteros, no entanto, vivem no solo alimentando-se de raízes e micorrizas (CORREIA, 1997).

Figura 8. Abundância da Classe Insecta/ Ordem Hemíptera (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) -1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.



Os diplópodes (figura 9) aparecem apenas nos perfis 1A, 2A, 6B e 8C, com maior abundância no perfil 1A. Quanto aos horizontes (figura 10), eles foram identificados na serrapilheira, no horizonte AB, horizonte Bw_1 e horizonte Bw_2. No tipo de solo, a maior abundância é no LVdf. Os diplópodes são, em sua maioria, frugívoros e detritívoros, alimentando-se de vegetação e madeira em decomposição, desempenhando papel importante na decomposição da matéria orgânica e na formação do solo (COSTA NETO, 2007).

Figura 9. Abundância da Classe Diplopoda (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) -1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.



Na figura 10, observa-se a abundância do grupo Diplura que aparece nos perfis 1A, 6B, 3B, 4B, 5B e 8C, com destaque de aumento de abundância no perfil 8C (Vegetação Nativa – LVd). Em todos os horizontes houve ocorrência dos organismos, com maior destaque na serrapilheira. O tipo de solo que mais teve a presença dos dipluras foi o LVd. Há famílias de diplura que são predadoras de ácaros, Enchytraeidae, esporos e micélios de fungos, pequenos artrópodes e detritos. Outras são predadoras de colêmbolos, isopodas, symphyla e micélios de fungos (DINDAL, 1990).

Observando a figura 11, nota-se que o grupo Hymnoptera foi superior, estatisticamente, no perfil 8C (Vegetação Nativa – LVdf). O perfil 1A, 2A e 4B não apresentaram organismos. O segundo perfil, com maior abundância foi o perfil 2B, com manejo anterior pasto e atual cana não fertirrigada. O horizonte A e AB apresentaram maior abundância e não foram encontrados organismos no horizonte Bw_2.O tipo de solo, que mais teve abundância, do grupo Hymnoptera foi o LVd.

Segundo Wallwork (1970), Merlim (2005) e Baretta *et al.* (2011), flutuações extremas no tamanho das populações são certamente incomuns para insetos sociais como as formigas, porém como elas possuem uma alta capacidade de deslocamento entre diferentes áreas, é possível que se encontrem picos populacionais em épocas diferentes, devido ao deslocamento de uma área para outra, à procura de melhores condições ambientais e maior disponibilidade de alimento, bem como, a época de revoadas.

O grupo Coleoptera (figura 12) apresentou maior abundância no perfil 2A, com manejo anterior pasto e atual cana fertirrigada. Não apresentou nenhum organismo no perfil 1A, com manejo anterior soja e atual cana fertirrigada. O perfil 1B, com manejo anterior soja e atual cana não fertirrigada e o perfil 5B, com manejo anterior sucessão pasto/soja/cana ficou em segundo lugar em abundância de coleópteros.

A serrapilheira apresentou o maior número de indivíduos e em seguida o horizonte Bw_1 e o horizonte AB. Registrou-se presença de organismos no Bw_2 nos perfis 4B e 5B. Em relação ao tipo de solo a maior abundância foi no LVdf. Os coleópteros encontram-se distribuídos por todo o mundo, nos mais diferentes ambientes. No solo, os besouros podem ser divididos em predadores, fitófagos e saprófagos (BARETTA *et al.*, 2011). A quantidade da matéria orgânica incorporada ao solo tem relação direta com o tamanho dos indivíduos (HORGAN, 2001).

Figura 10. Abundância da Classe Insecta/ Ordem Diplura (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) -1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.

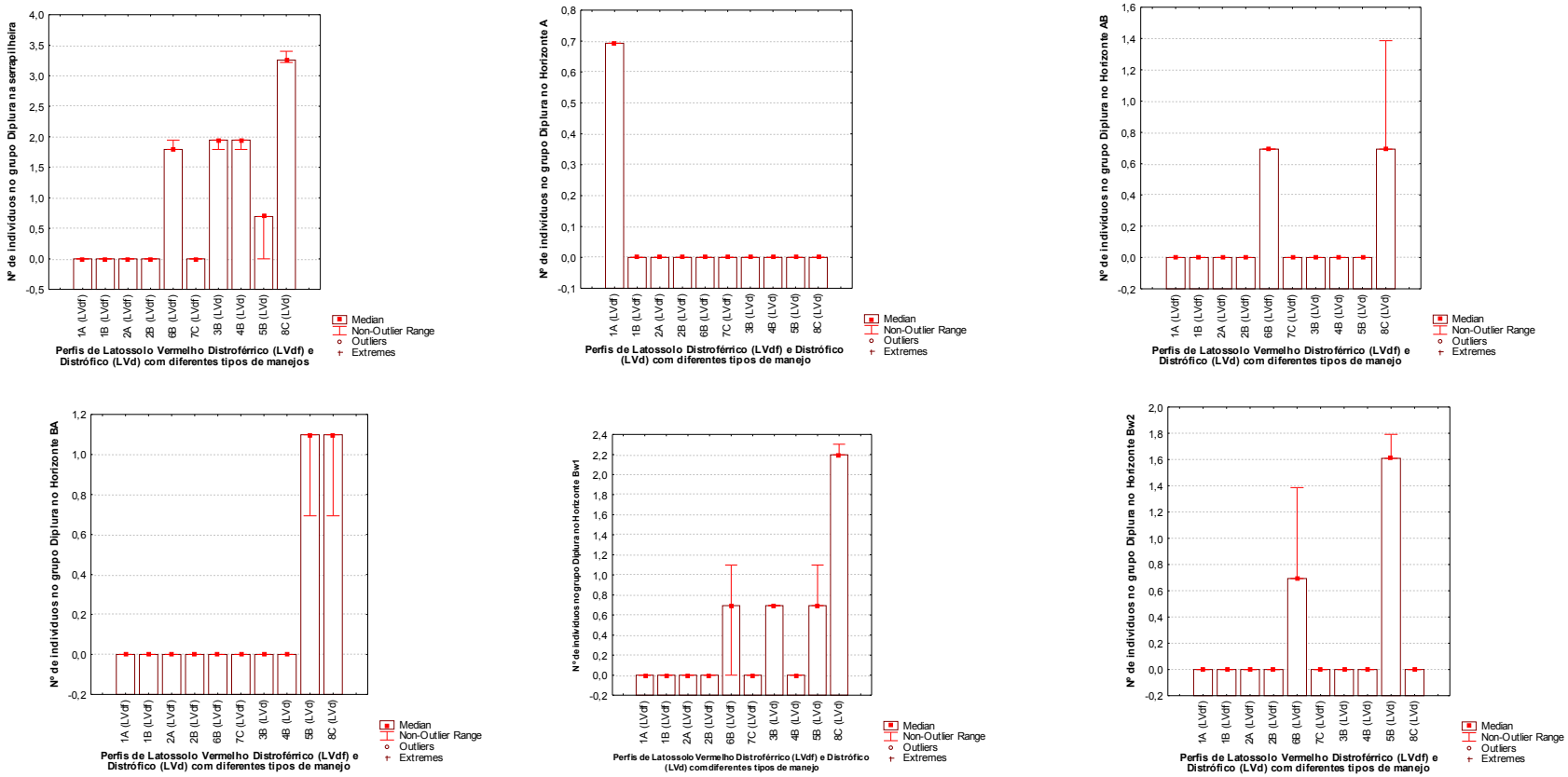


Figura 11. Abundância da Classe Insecta / Ordem Hymnoptera (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) -1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.

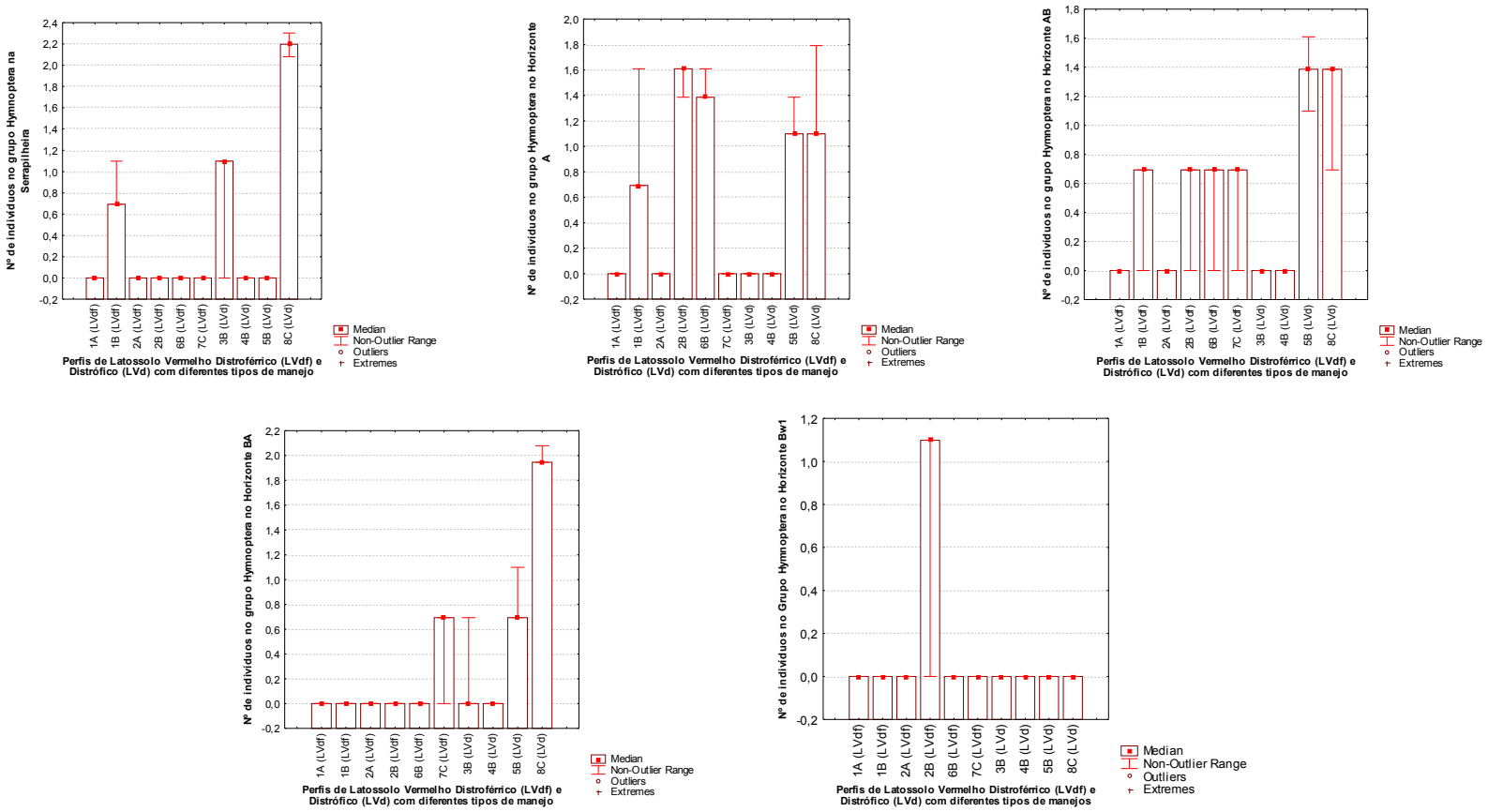
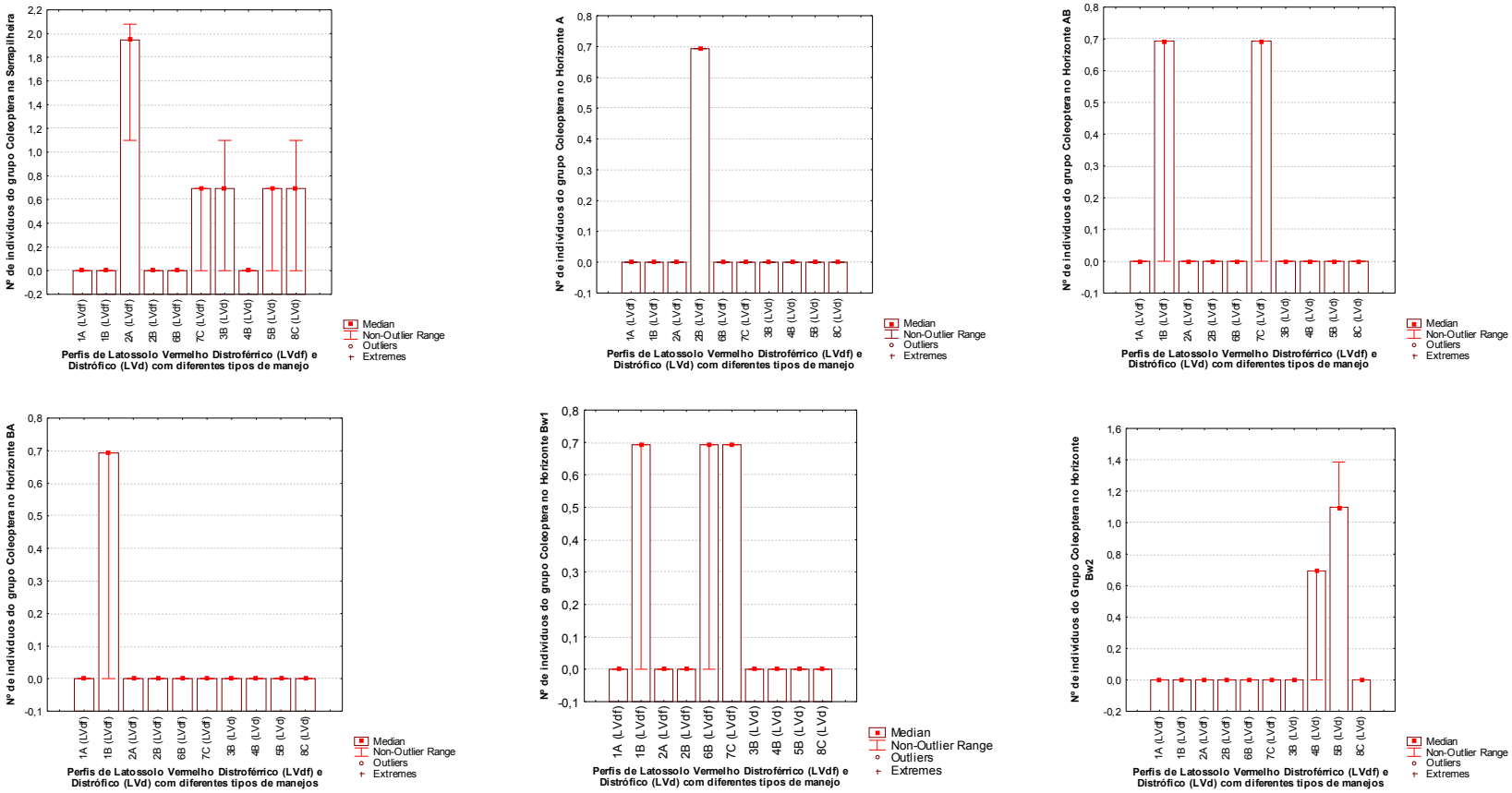
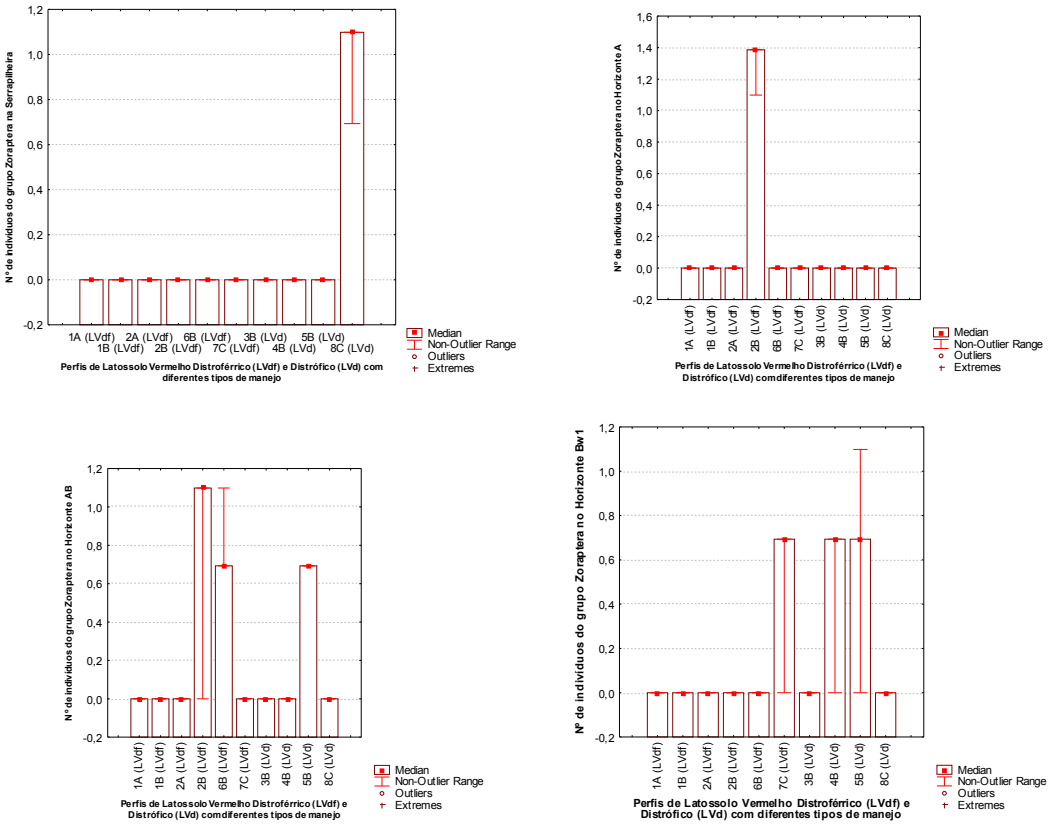


Figura 12. Abundância da Classe Insecta / Ordem Coleóptera (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) -1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.



Na figura 13, o grupo Zoraptera não ocorreu nos perfis 1A, 1B, 2A e 3B. A maior abundância da ordem foi no perfil 2B, com manejo anterior pasto e atual cana não fertirrigada e a segunda maior frequência foi nos perfis 5B (sucessão pasto/soja/ cana) e 8C (vegetação nativa, LVd). Não houve presença de organismos no horizonte Bw_2 e a maior abundância dos organismos foi no horizonte AB. Em relação ao tipo de solo, a maior abundância foi no LVdf. Os zorápteros têm hábitos terrestres e gregários, vivem em ambientes úmidos e com matéria orgânica em decomposição, são predadores de ácaros (GURNEY, 1937).

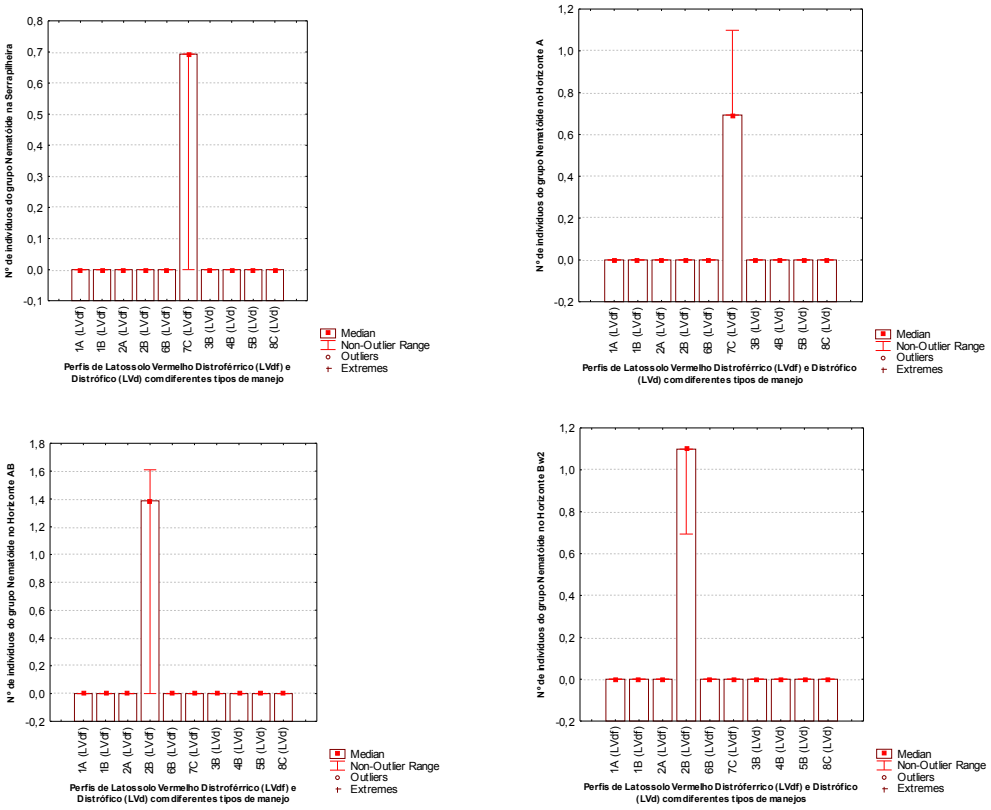
Figura 13. Abundância da Classe Insecta / Ordem Zoraptera (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) -1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.



Observando a figura 14, nota-se que o grupo dos nematoides somente apareceram em dois perfis, o 2B, com uso anterior pasto e atual cana não fertirrigada e 7C, vegetação nativa em LVdf. Apresenta maior abundância no perfil 2B, na

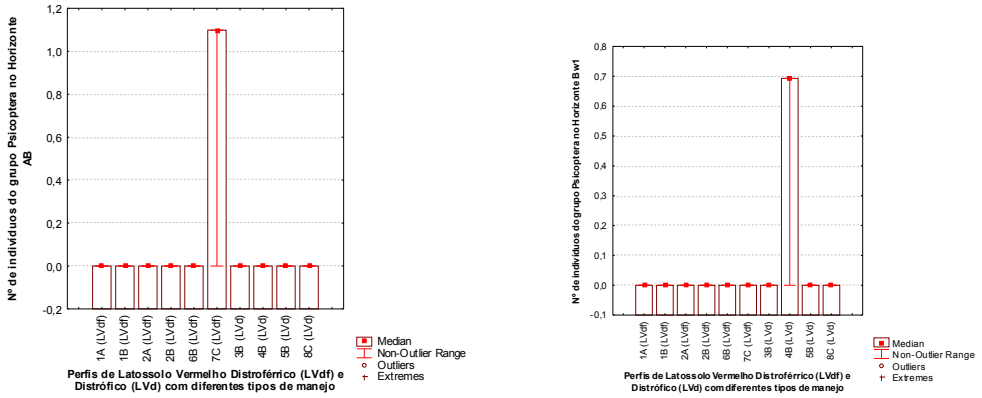
serrapilheira. Não ocorreram organismos no horizonte Bw_1. Quanto ao tipo de solo, a maior abundância desse organismo foi no LVdf. Os nematoides vivem em raízes, que servem como hospedeiras por até 5 anos. Necessitam de um ambiente úmido e de uma temperatura para sobrevivência de 15 ºC a 30ºC (DIAS *et al.*,2007).

Figura 14. Abundância do Filo Nematóide (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) - 1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.



A ordem Psicoptera (figura 15) apresentou maior abundância no perfil 7C (Vegetação nativa, LVdf). Os Psicoptera apareceram apenas nos perfis 7C e 4B (pasto/cana não fertirrigado). Somente os horizontes AB e Bw_1 apresentaram organismos. Em relação ao tipo de solo a distribuição foi igual, tanto no LVdf, quanto no LVd. Os Psicopteros são pequenos com um corpo plano relativamente generalizado. Eles se alimentam principalmente de fungos, algas, liquens e detritos orgânicos (BORROR et al, 2006).

Figura 15. Abundância da Classe Insecta / Ordem Psicoptera (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) - 1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.



Observando a figura 16 nota-se que o grupo dos Isoptera foi registrado apenas nos perfis 2B, com manejo anterior pasto e atual soja e no 8C, com vegetação nativa. A maior abundância desse grupo ocorreu no perfil 2B. Quanto aos horizontes, eles apareceram em todos os horizontes, sendo a serrapilheira o que apresentou maior número de indivíduos. Em relação ao tipo de solo, a maior abundância foi no LVdf. Os Isoptera são sensíveis ao uso de agrotóxicos, indicadores de contaminação química e da degradação ambiental. Em áreas muito perturbadas podem desaparecer (WINK *et al.*, 2005; BANDEIRA *et al.*, 2003).

O grupo dos Colêmbolos (figura 17**)** não apresentou organismos no perfil 1A, 1B, 2A e 2B. O perfil que apresentou maior abundância de Colêmbolos foi o 8C (Vegetação nativa, LVd), em segundo lugar o 7C (Vegetação nativa LVd) e 6B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada, LVdf).

O perfil com menor abundância foi o 5B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada LVd). Na serrapilheira houve a maior distribuição de colêmbolos, depois o horizonte com maior abundância foi o A, seguido do horizonte AB. No horizonte BA e Bw_1 o número de indivíduos foi semelhante e no horizonte Bw_2 ficou em terceiro lugar em termos de abundância de organismos.

Figura 16. Abundância da Classe Insecta /Ordem Isoptera (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) - 1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.

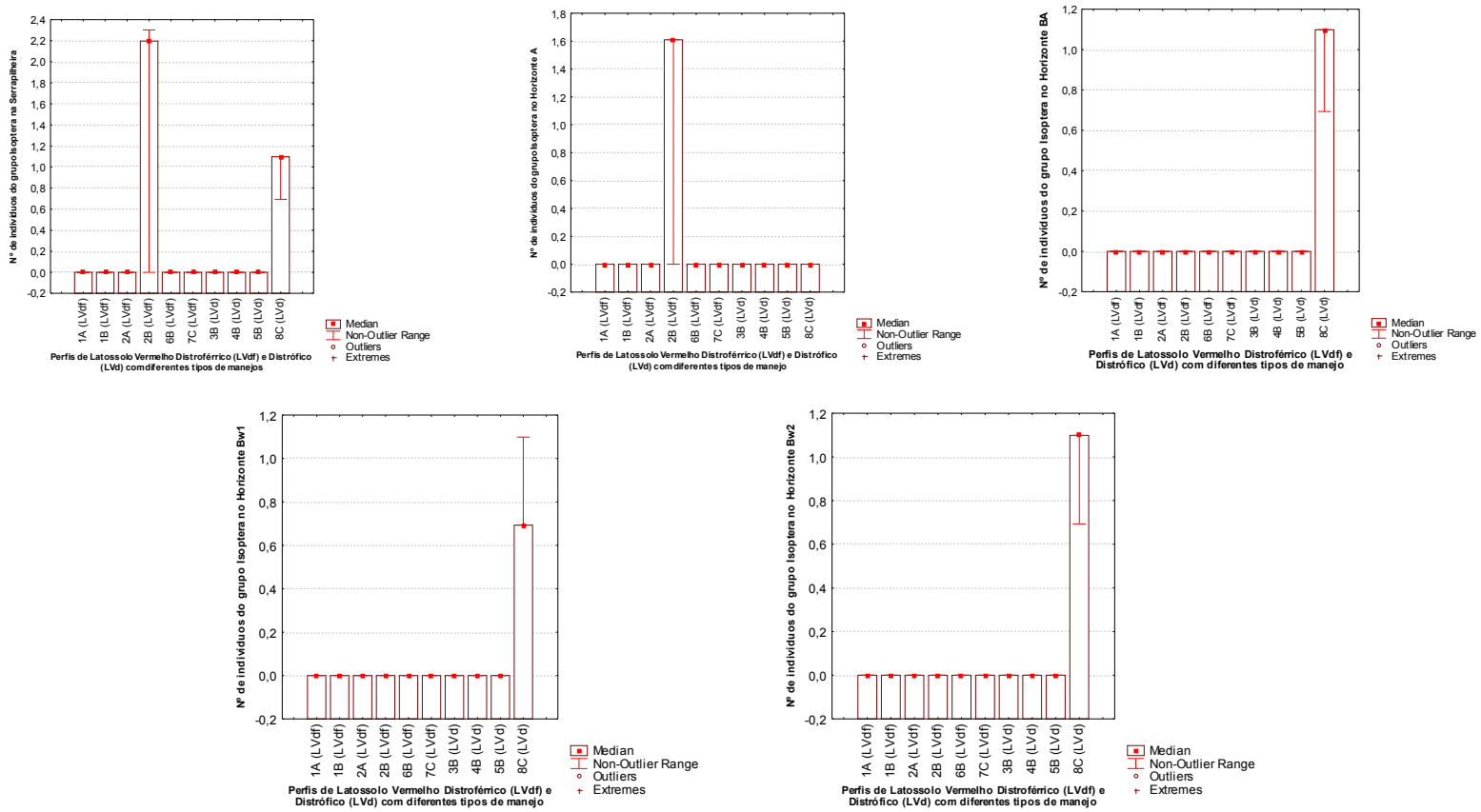
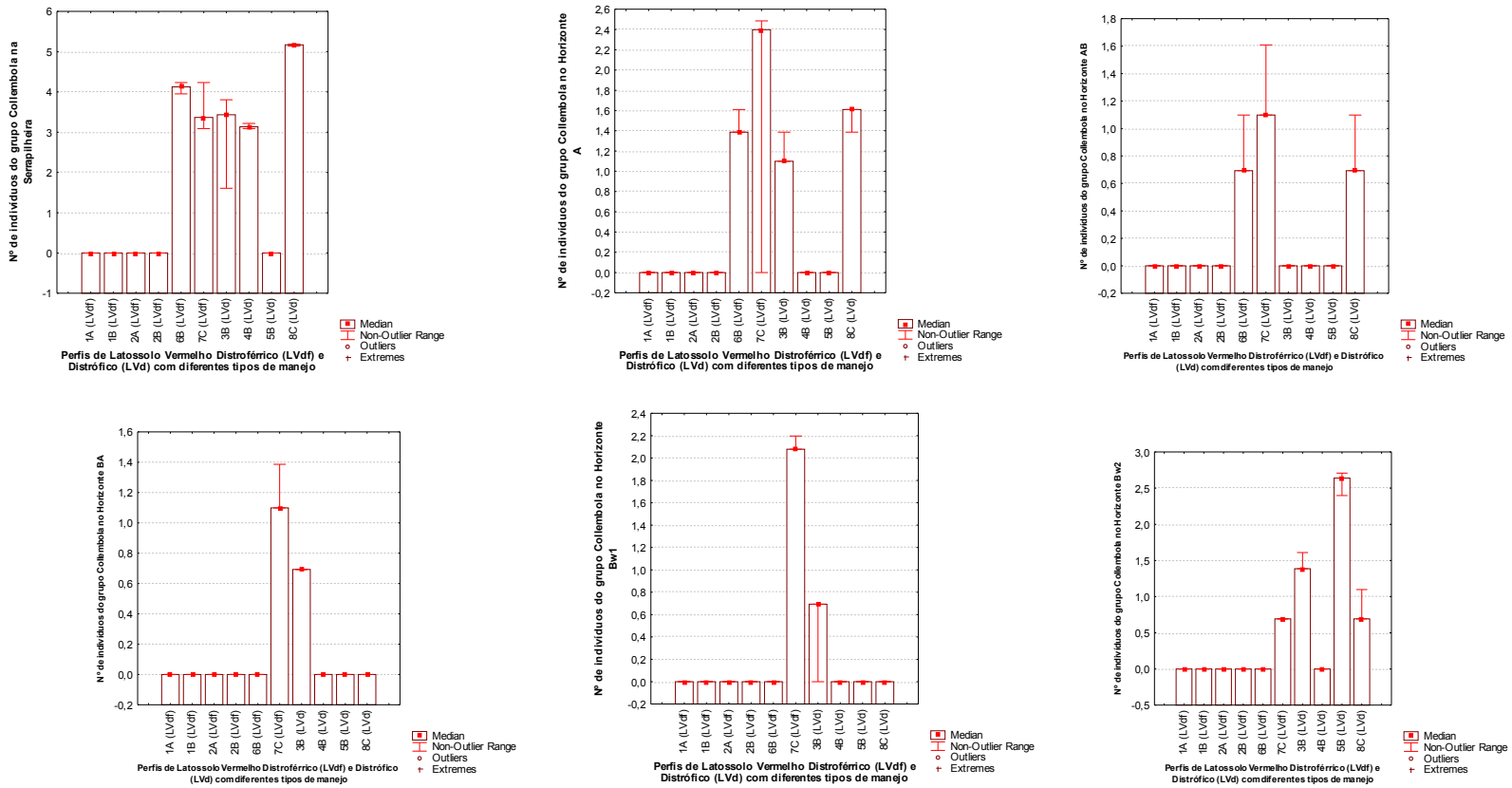
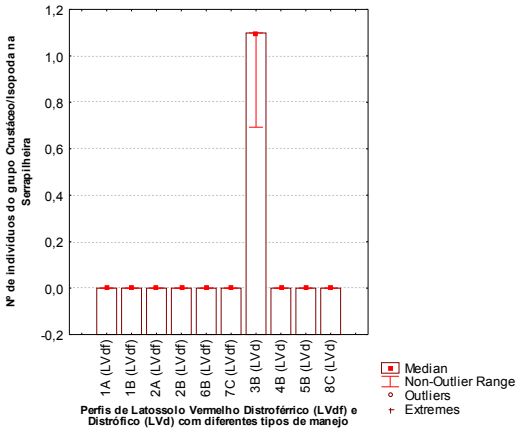


Figura 17. Abundância da Classe Insecta/ Ordem Collembola (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) - 1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilheira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.



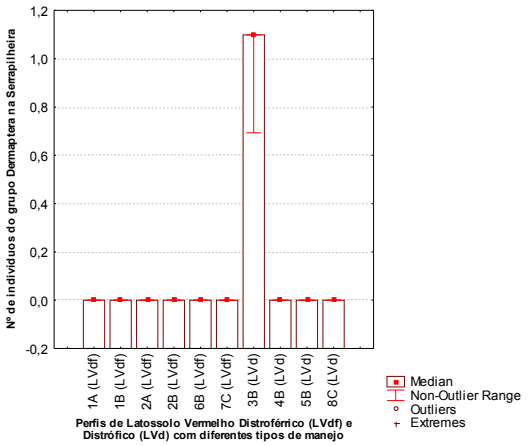
Na figura 18**,** apenas o perfil 3B (soja/cana não fertirrigada) apresentou o grupo Isopoda (classe Crustacea), com representantes apenas na serrapilheira e no LVd. Encontrados em diversos ambientes, principalmente naqueles com elevada umidade, esses organismos são sensíveis a ambientes secos, por terem elevada perda de água, porém são capazes de se adaptar a ambientes não propícios, passando a ter hábitos noturnos e diminuindo a taxa de respiração basal (PAOLETTI; HASSALL, 1999). Existe uma estreita relação entre a presença de Ca (cálcio) e a presença do grupo Isopoda no ambiente, isso pode ser explicado pela estrutura do corpo desses indivíduos (ALVES *et al.*, 2006).

Figura 18. Abundância da Classe Crustácea/ Ordem Isopoda (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) - 1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.



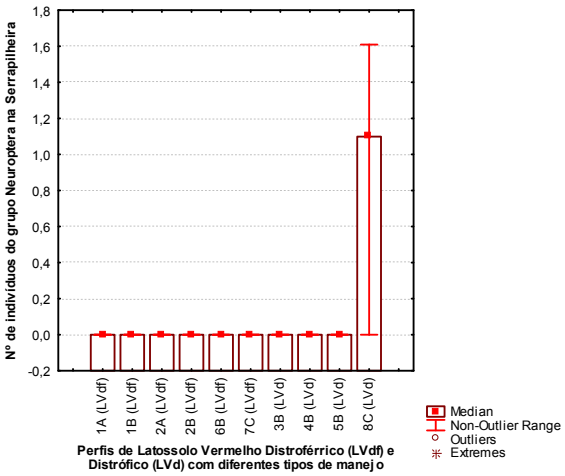
O grupo Dermaptera (figura 19) apresentou-se apenas no perfil 3B (soja/cana não fertirrigada) e na serrapilheira em LVd. Existem cerca de 1800 espécies nessa ordem e são encontrados principalmente em zonas tropicais ou subtropicais, havendo raras ocorrências em zonas temperadas (CRANSTON E GULLAN, 2000). Em sua maioria apresentam hábito noturno, passando o dia escondidos em rachaduras, fendas, sob cascas de arvores e lugares semelhantes, tendo poucas espécies com hábito diurno. São principalmente saprófagas, alimentando-se de folhas em decomposição, várias partes e tipos de vegetais ou carniça, mas podem predar outros insetos (BORROR et al, 2006).

Figura 19. Abundância da Classe Insecta / Ordem Dermaptera (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) - 1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.



O grupo Neuroptera (figura 20) apresenta-se somente no perfil 8C (Vegetação Nativa LVd), na Serrapilheira em LVd. Adultos e larvas, na sua maioria são predadores de algumas espécies (NEW, 2001). Além disso, os insetos pertencentes à ordem neuroptera, por serem vulneráveis a fragmentação de habitats e a contaminação por agroquímicos, constituem indicadores de transformação ambiental e incluem espécies-chaves, que permitem a identificação de áreas, que requerem uma proteção prioritária (MANSELL, 2002).

Figura 20. Abundância da Classe Insecta / Ordem Neuroptera (ind. Kg^{-1} de solo) nos perfis de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – 3B, 4B, 5B, 2B, 8C e Distroférrico (LVdf) - 1A, 1B, 2A, 2B, 7C, na serrapilhreira e nos diferentes Horizontes (A, AB, BA, Bw_1 e Bw_2) em Quirinópolis, Goiás.



Em síntese, os perfis fertirrigados (1A e 2A) não apresentaram boas condições para o desenvolvimento da fauna edáfica, pois dentre os perfis analisados, foram os que apresentaram menor abundância de organismos.

A vegetação nativa apresentou a maior diversidade de grupos, tanto no LVdf, como no LVd, sendo superior aos sistemas cultivados (figura 5). Entre os diferentes tipos de manejo, o 6B (sucessão/pasto/soja/cana não fertirrigada/ LVdf) foi o que apresentou maior abundância de fauna edáfica, indicando que a sucessão de culturas aumenta a diversificação vegetal e a entrada de diferentes tipos de exsudatos e resíduos culturais, promovendo assim, a qualidade de matéria orgânica, o que favorece as condições para o aumento da fauna edáfica. Em segundo lugar, os perfis que mais se destacaram em abundância, foram os perfis com manejo anterior soja, e o maior destaque ficou com o perfil 3B (soja/cana/ não fertirrigada/ LVd).

Com relação à distribuição dos organismos edáficos nos horizontes e serrapilheira, observou-se a existência de distribuição irregular entre eles (figura 2) e maior concentração dos organismos na serrapilheira. Os fatores que justificam esta distribuição seriam a umidade e temperatura do solo, além de a serrapilheira proporcionar um ambiente mais complexo, com maior oferta de nichos ecológicos para os organismos, refúgios contra predadores, disponibilidade de sítios de nidificação e recursos alimentares (VIEIRA; MENDEL, 2002; COPATTI; DAUDT, 2009). O mesmo é observado, em relação à palha sobre o solo. Ela melhora o microclima para os organismos, especialmente nas camadas superiores, diminuindo a temperatura do solo superficial e a perda de umidade, em relação a áreas descobertas.

De acordo com o tipo de solo, o LVd foi o que apresentou maior abundância de fauna edáfica. Os resultados de abundância podem estar relacionados à funcionalidade da cobertura vegetal, em relação à quantidade e diversidade da biota edáfica (JANDL *et al*. 2003).

CONCLUSÕES

Os grupos de maior abundância foram os colêmbolos, os himenópteros, os dipluros e os ácaros, sendo estes muito importantes para a fragmentação dos detritos vegetais.

Registrou-se maior abundância de fauna edáfica na serrapilheira, do que nos horizontes. A presença de palha teve um efeito mais importante, do que a vinhaça.

De modo geral houve perda da abundância da fauna edáfica nos tratamentos com cana-de-açúcar em relação à mata nativa. Contudo, a manutenção de palhada nos tratamentos com cana é muito importante para a sobrevivência dos organismos. Em relação ao tipo de solo, o Latossolo Vermelho Distrófico LVd apresentou melhores condições de desenvolvimento para os organismos edáficos.

A sucessão de culturas favoreceu o aumento da abundância de indivíduos e o aumento do número do colembolos. Os usos anteriores à cana e os manejos interferiram na quantidade da fauna edáfica, pois as áreas fertirrigadas apresentaram menor quantidade de fauna edáfica que as demais, isso devido à modificação da estrutura do habitat e dos recursos alimentares.

Os perfis, com uso anterior soja apresentaram maior abundância, isso devido à alteração do ciclo biogeoquímico de alguns elementos, como o fósforo, pois a adição de fertilizantes (N e P) nestes usos anteriores causa efeitos na fauna edáfica.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. M.; COSTA, C. S. R.; MARINONI, L. *Manual de coleta, conservação, montagem e identificação de insetos*. Ribeirão Preto: Holos, 1998, 78 p.

ALVES, M. V.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. M. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no Estado de São Paulo. *Rev. C. Agrovet.*, 5: 33-43, 2006.

AQUINO, A. M. de; CORREIA, M. E. F.; BADEJO, M. A. Amostragem da mesofauna edáfica utilizando funis de Berlese-Tullgren modificado. Soropédica: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Agrobiologia. Circular Técnica n. 17, 4 p. 2006.

ARBEA, J. I.; BASCO-ZUMETA, J. Ecologia de los Colembolos (Hexapoda, Collembola) en Los Monegros (Zaragoza, España). Aracnet 7 – Bol. SEA., 28:35-48, 2001.

BANDEIRA, A. G.; VASCONCELOS, A. SILVA, M.; CONSTANTINO, R. Effects of habitat disturbance on the térmite fauna in a higland tropical Forest in the Caatinga Domain, Brazil. *Sociobiology*, 42: 117-127, 2003.

BARETTA, D.; BROWN, G. G.; JAMES, S. W.; CARDOSO, E. J. B. N. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic Forests with *Araucaria angustifolia*. *Sci. Agric.*, 64: 384-392, 2007.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; FILHO, L. C. I. O.; ALVES, M. V. Fauna Edáfica e qualidade do solo. In: Tópicos em ciência do solo, 2011, v. VII: p. 141-192.

BEHAN-PELLETIER, VM. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: Role for bioindication. *Agric. Ecosyst. Environ.,* 1999, 74:411-423.

BENITO, N. P. Interferência de sistemas de cultivos sobre a macrofauna invertebrada do solo. 2002. 71 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

BEZERRA, R. G. D.; SANTOS, T. M. C.; ALBUQUERQUE, L. S.; CAMPOS, V. B.; PRAZERES, S. S. Atividade Microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a doses de fósforo. *Revista Verde*, Mossoró, RN, 2008, v. 3, n. 4, p. 64-69.

BIGNELL, D.E. Termites as soil engineers and soil processors. In: KONIG, H.; VARMA, A., eds. *Soil biology*. Intestinal microorganisms of soil invertebrates. 6.ed. Berlin, Springer-Verlag, 2006. p. 183-220.

BORGES, V. M. S.; SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. de. Caracterização edafoclimática da microrregião de Quirinópolis/GO para o cultivo da cana-de-açúcar. Anais... VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Recife, 2010.

BORGES, V. M. S. Formação de uma nova centralidade do setor sucroenergético no Cerrado: o caso de Quirinópolis, Estado de Goiás. 2011. 333 f. Tese (Doutorado) Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

BORROR, D. J.; TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. *An Introduction to the Study of Insects*. Harcourt Brace College Publishers: Fort Worth, 875 p., 2006.

CARRILLO,Y.; BALL, B.A.; BRADFORD, M.A.; JORDAN, C.F.; MOLINA, M. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. *Soil Biol. Biochem.*, 43:1440-1449, 2011.

CASTRO, S. S. de, BORGES, R. de O., SILVA, R. A. A. da, BARBALHO, M. G. da S. Estudo da expansão da cana-de-açúcar no Estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: SBPC, II Fórum de C; T no Cerrado. Goiânia: SBPC, 2007.

CASTRO, S. S. de; ADBALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no Estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, 2010, v.30, nº 1. p. 171 – 191.

COPATTI, C. E.; DAUDT, C. R. Diversidade de artrópodes na serrapilheira em fragmentos de mata nativa e *Pinnus elliottii* (Engelm. Var elliottii). *Revista Ciência e Natura*, Santa Maria, RS, Universidade Federal de Santa Maria, 2009, v. 31(1), p. 95-113.

CORREIA, M. E. F. Organização de comunidades da fauna do solo: o papel da densidade e da diversidade como indicadores de mudanças ambientais. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, jul. 1997, Rio de Janeiro. CDRom... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. Palestras, seção 3. 20 p.

CORRY, J. P.; GOOD, J. A. Soil fauna degradation and restoration. *Advances in Soil Science*, New Jersey, v. 17, p. 171-215, 1992.

COSTA NETO, E. M. The perception of diplopoda (Arthropoda, Myriapoda) by the inhabitants of the county of Pedra Branca, Santa Teresinha, Bahia, Brazil. *Acta Biol. Colomb.*, 12: 123-134, 2007.

CRANSTON, P. S.; GULLAN, P. J. *The insects*: an outline of entomology. Oxford, Blackwell Science, USA. 2000.

DIAS, W.P.; SILVA, J.F.V.; GARCIA, A.; CARNEIRO, G.E.S. Nematóides de importância para a soja no Brasil. In: Boletim de Pesquisa de Soja 2007. Rondonópolis: Fundação MT (org.), 2007. P.173-183.

DINDAL, D. L. *Soil biology guide*. New York: John Wiley, 1990. 1349 p.

DUPONT, S.T.; FERRIS, H.; van HORN, M. Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. *Appl. Soil Ecol.*, 41:157-167, 2009.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. *Centro Nacional de Pesquisas de Solos*. 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

FAUVEL, G. Diversity of Heteroptera in agroecosystems: Role of sustainability and bioindication. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 1999, 74:275-303.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. *Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas para Análise da Qualidade Ambiental*: Solo, Água e Sedimentos. Jaguariúna- SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 169 p.

GURNEY, A. B. A synopsis of the order Zoraptera with notes on the biology of Zorotypus hubbardi. *Proc. Ent. Soc. Wash*. 1937 40: 57-87.

HORGAN, F. G. Burial of bovine dung by coprohagous beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from horse and cow grazing sites in El Salvador. *European Journal of soil Biology*, Montrouge, 2001, v.37, n. 2, p. 103-111.

JANDL, R. *et al.* Forest soil chemistry and mesofauna 20 years after an amelioration fertilization. *Restoration Ecology*, Malden, 2003, v. 11, n. 2, p. 239-246.

KÕPPEN, W. Klassifications dês klimate nach temperatur, niedershlag und jahrelauf. *Petermans Geographische Mitteilungem*, Goth, 1918, v. 64, p. 193-203.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. *Soil ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001. 654p.

LAVELLE, P.; DECAENS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J. P. Soil invertebrates and ecosystem services. *Eur. J. Soil Biol.*, 42:S3-S15, 2006.

LAWRANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; VASCONCELOS, H. L.; BRUNA, E. M.; DIDHAM, R. K.; STOUFFER, P. C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R. O.; LAURANCE, S. G.; SAMPAIO, E. Ecosystem decay of Amazonian Forest fragments: a 22-year investigation. *Conservation Biology*, Boston, v. 13, n. 3, p. 605-618, 2002.

MACFADYEN, A. Notes on methods for the extration of small soil arthropods. *The Journal of Animal Ecology*, London, v. 22, n. 1, p. 65-77, 1953.

MANSSEL, M. W. Monitoring Lacewings (Insecta: Neuroptera) in Southbern Africa *Acta Zoologica Academiae Hungaricae*, Budapest, v. 48, n. 2, p. 165-173, 2002.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (organizadores). *Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

MARÇAL, C. T. Efeitos da cultura da cana-de-açúcar e seu manejo (uso de vinhaça e método de colheita) sobre a mesofauna do solo. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)

MERLIM, A. de O. Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de araucária no parque estadual de Campos do Jordão, SP. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas).

MERLIM, A. de O.; GUERRA, J. G. M.; JUNQUEIRA, R. M.; AQUINO, A. M. de. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. *Scientia Agrícola*, v. 62, p. 57-61, 2005.

NEW, T. R. Introduction to the systematic and distribution of Coniopterigydae, Hemerobiidae, and Chrysopidae used in pest management In**:** MCEWEN, P.; NEW, T. R.; WHATTINGTON, A. E.; Lacwing in the crop environment New York: Cambridge University, 2001, p. 6-28.

ODUM, E. P. *Ecologia*. 3 ed. La Habana, Cuba: Edición Revolucionária, 1989. 639 p.

OLIVEIRA, M.I.L.; BENITO, N.P.; CAMARGO, A.J.A.; GUIMARÃES, M.F.; BROSSARD, M. Atividade de colônias de Cornitermes cumulans (Isoptera, Nasutitermitinae) sobre estruturas edáficas macro e microagregadas em casa de vegetação. *Semina Ci. Agrar.*, 33:1733-1744, 2012.

OSLER, G.H.R.; SOMMERKORN, M. Toward a complete soil C and N cycle: Incorporating the soil fauna. *Ecology*, 88:1611-1621, 2007.

OYEDELE, D.J.; SCHJENNING, P.; AMUSAN, A.A. Physicochemical properties of earthworm casts and uningested parent soil from selected sites in southwestern Nigeria. *Ecol. Eng.*, 28:106-113, 2006.

PAOLETTI, M. G.; HASSALL, M. Woodlice (Isopoda: Oniscidea) their potencial for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agric. Ecosyst. Eviron.*, 74: 157-165, 1999.

PASINI, A.; BENTO, N. P.; ROESSING, M.; BROWN, G. Macrofauna invertebrada do solo em pastagens do norte do Estado do Paraná. In: FERTIBIO, 2004. Lages. Anais. Lages, SBCS; CNPq, 2004. CD ROM.

RICKLEFS, R.E. *A Economia da Natureza.* 5º ed., São Paulo: Guanabara Koogan S. A., 2003. 505p.

SANTOS, R. D. do; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. EMBRAPA. 5ª Ed. Viçosa, 2005.

SAUTTER, K. D. Efeito da compactação de um latossolo vermelho-escuro, causada pela colheita de Eucalyptus grandis, sobre alguns organismos do solo. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curiba, 2001.

SCHEU, S. Effects of earthworms on plant growth: Patterns and perspectives. *Pedobiologia* 47:846-856, 2003.

SIDDIKY, M.D.; REZAUL, K.; KOHLER, J.; COSME, M.; RILLIG, M.C. Soil biota effects on soil structure: Interactions between arbuscular mycorrizal fungal mycelium and collembolan (Repost*). Soil Biol. Biochem.*, 50:33-39, 2012.

SILVA, A. A.; CASTRO S. S. Potencial e risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, sudoeste do estado de Goiás. *Revista Territorial*, Cidade de Goiás, Goiás, 2013 v.2, n.1, p.106-127.

SILVA, A. A. Transformações no uso da terra e na estrutura de solos no cerrado em áreas de expansão da cana-de-açúcar – O caso da Microrregião de Quirinópolis, Goiás. 2012. 134 f. Tese (Doutorado - Geografia) – Universidade Federal de Goiás/ Instituto de Estudos Socioambientais, Goiânia – GO, 2012.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. Dinâmica de uso da terra e expansão da cana-de-açúcar entre os anos de 2004 a 2010, na microrregião de Quirinópolis, Goiás. In: PIETRAFESA, J. P.; SILVA, S. D. de (org.). *Transformações no Cerrado*: progresso, consumo e natureza. Goiânia: Ed. PUC Goiás, 2011. p. 155-170.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCADANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2006, v. 41, p. 697-704.

SOMMAGIO, D. *Syrphidae*: Can they be used as environmental bioindicators? *Agric. Ecosyst. Environ.*, 74:343-356, 1999.

SOUZA, R.C.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; PAULA, R.R.; MENEZES, L.F.T. Estrutura da comunidade da fauna edáfica em fragmentos florestais na Restinga da Marambaia, RJ. *R. Bras. C. Agrárias*, 3:49-57, 2008.

UHLIG, V. M. Caracterização da mesofauna edáfica em área de regeneração natural da floresta ombrófila densa submontanha, no município de Antonia, Paraná. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2005. 97 p. (Dissertação Mestrado)

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. *Biologia dos Solos dos Cerrados*. Brasília – DF: EMBRAPA, 1997. 524p.

VIEIRA, L. M.; MENDEL, S. M. Riqueza de artrópodes relacionados à complexidade estrutural da vegetação: uma comparação entre métodos. Ecologia de Campo – Curso de Campo 2002. UFMS. Campo Grande-MS. In: VENTICINQUE, E.; HOPKINS, M. (Eds.), 2002.

WALLWORK, J. A. *Ecology of soil animals*. London: MacGraw-Hill, 1970.

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores de qualidade ambiental. *R. C. Agrovet.*, 4:60-71, 2005.

YANG, X.; CHEN, J. Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China. *Soil Biol. Biochem.*, 41:910-918, 2009.

ARTIGO 4

Submetido e aceito na *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (*RBCiAmb)

ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DOS CÓRREGOS LIMEIRA E DO LAJEADO EM ÁREA DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR, QUIRINÓPOLIS-GO

Georgia Ribeiro Silveira de Sant'Ana [(1)], Selma Simões de Castro [(2)]

[(1)] Doutoranda do Programa de Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás. Cx. Postal 131, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás

[(2)] Professora Drª./Orientadora do Doutorado em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais e do Doutorado em Ciências Ambientais (CIAMB) da Universidade Federal de Goiás. Cx. Postal 131, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás.

RESUMO

O processo de expansão da cana-de-açúcar no estado de Goiás tem apresentado um incremento bastante representativo em temos de área, abrangendo preferencialmente áreas onde já havia cultivo de grãos e, em segundo lugar, substituindo áreas de pastagem. Tais substituições geram impactos diretos nos recursos hídricos, os quais estão associados ao manejo dos solos e da própria água. O presente trabalho teve como objetivo analisar os aspectos físico-químicos e biológicos da água dos córregos Do Lajeado (Bacia do Rio dos Bois) e Limeira (Bacia do Rio Preto), localizados no município de Quirinópolis/Goiás, que estão sob a interferência do cultivo de cana-de-açúcar, a fim de compará-los com os valores preconizados pela Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. As coletas aconteceram à montante e à jusante de cada canal, no período de setembro de 2010 e março de 2011. As metodologias utilizadas para as análises dos parâmetros foram de acordo com *Standard Methods for the examination of Water and wastewater*. Mediante as análises, principalmente nas porções à jusante dos córregos onde há mais interferência do cultivo da cana-de-açúcar, constataram-se indícios de impactos negativos decorrentes desse uso.

Palavras-chave: *Saccharum spp*; CONAMA; qualidade da água.

ABSTRACT

The process of expansion of sugar cane in the state of Goiás has displayed a fairly representative increment in terms of area, covering preferably areas where there was already growing grain and, secondly, replacing pasture areas. Such substitutions generate direct impacts on water resources, which are associated with the management of soil and water itself. The present study aimed to analyze the physical, chemical and biological aspects of water from streams Do Lajeado (River Basin of Bois) and Limeira (Black River Basin), located in municipality of Quirinopolis / Goiás, which are under the interference of growing sugar sugar cane in order to compare them with the values recommended by Resolution n º 357/2005 of the National Council for the Environment - CONAMA. Sampling occurred upstream and downstream of each channel, between September 2010 and March 2011. The methods used for the analyzes of parameters were according to Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Through the analyzes, especially in the downstream portions of streams where there is more interference cultivation of sugar cane sugar, is found evidence of negative impacts arising from such use.

Keywords: *Saccharum spp*; CONAMA; water quality.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico tem sido caracterizado pelo constante uso dos recursos naturais sem planejamento adequado (VANZELA *et al.*, 2010). Nas últimas décadas, não somente a região noroeste paulista, mas, boa parte dos estados brasileiros mudou drasticamente suas principais culturas agrícolas para dar lugar à produção de cana-de-açúcar, sendo que muitos municípios aderiram ao novo sistema agrícola, promovendo substituição de áreas onde antes se cultivava café, citrus, banana, milho, algodão, além de pastagens plantadas para pecuária bovina, entre outros (PINATTI, 2011).

CASTRO *et al.* (2007) e MANZATTO *et al.* (2009) afirmaram que o estado de Goiás possui boa aptidão agrícola para a cultura da cana. Além disso, tais autores revelaram que tanto as usinas em operação quanto as demais, que se encontra em diferentes etapas de implantação, seguem os principais eixos rodoviários federais e

estaduais no estado, o que já era esperado em razão da necessidade de escoamento da produção. CASTRO *et al.* (2007, 2010) ressaltam, no entanto, que a aptidão agrícola das terras, associada à logística, o conhecimento tecnológico e novas variedades de plantas, bem como o momento favorável de mercado, seriam os principais responsáveis pela expansão da cultura da cana-de-açúcar na atualidade.

Segundo dados do CANASAT/INPE (2009), o município de Quirinópolis, situado no Sudoeste goiano, na última safra, em relação à área total cultivada, superou o município de Santa Helena de Goiás, o qual durante muito tempo liderou o *ranking* da produção de cana-de-açúcar no estado de Goiás. Desse modo, Quirinópolis, que não possuía usinas de etanol e açúcar de grande envergadura até 2004, juntamente com Gouvelândia (município limítrofe e que ocupa o sétimo lugar na produção do Estado), somaram juntos 56.642 mil ha de área cultivada com cana na safra de 2009/2010, o que coloca essa região em lugar de destaque no cenário goiano e nacional.

CASTRO *et al.* (2010) assinalam que a principal expansão da cana está ocorrendo no Sul Goiano, onde a aptidão se estende por área mais contínua. SILVA e MIZIARA (2011) indicam que, num raio de 40 km das usinas em Goiás, está havendo substituição de culturas de grãos e pastos, sobretudo no Sul Goiano, enquanto que no Centro-Norte está havendo substituição de pastagens e remanescentes do Cerrado. Essas substituições geram impactos diretos nos recursos hídricos associados ao manejo dos solos e da própria água.

O ambiente hídrico e toda a estrutura biótica e abiótica que o compõe tem sofrido elevadas pressões antrópicas nas últimas décadas, onde diversas técnicas de agricultura utilizadas têm provocado grande degradação ambiental (TUNDISI, 2003; PRADO *et al.*, 2010; JUNIOR, 2012). Para KIRA e SAZANAMI (1995) e OLIVEIRA (2009), as alterações que ocorrem no meio ambiente provocado pelo crescimento urbano e populacional, podem afetar a quantidade e qualidade das características físicas, químicas e biológicas dos corpos d`água e o seu entorno. Segundo FRANCO (2008) e VANZELA *et al.* (2010), a redução da qualidade e disponibilidade hídrica está relacionada à má conservação do solo e o uso irracional dos recursos naturais.

A análise da água de um manancial pode evidenciar o uso inadequado do solo, os efeitos do lançamento de efluentes, suas limitações de uso e seu potencial de autodepuração (GRABOW, 1996; MENDONÇA e MARQUES, 2011), isto é, sua capacidade de restabelecer o equilíbrio após recebimento de efluentes. Dentre os parâmetros utilizados para qualificar a água estão os físico-químicos (pH, cloretos,

alcalinidade, nitratos, fosfatos, turbidez, condutividade, etc.), os biológicos (clorofila-a, etc.) e microbiológicos (coliformes fecais e totais) (SPERLING, 2005).

O presente trabalho teve como objetivo analisar os fatores físico-químicos e biológicos da água dos córregos Do Lajeado e Limeira, localizados no município de Quirinópolis, Goiás, que está sob interferência de expansão acelerada da área de cultivo de cana-de-açúcar, sob substituição de área de grãos e pastos, a fim de compará-los com os valores preconizados pela Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido em dois córregos localizados no município de Quirinópolis, referente à mesorregião Sul Goiano e região de Planejamento Sudoeste Goiano (IBGE, 2012). Situa-se às margens do lago São Simão, no rio Paranaíba, distante 280 km de Goiânia. Encontra-se interligado às principais regiões do estado de Goiás e do país por uma malha rodoviária constituída principalmente pelas GO 164, que se liga a BR 452 e a GO 206 que se liga a BR 384. Possui uma área de 3.780 Km^2, correspondendo a 1,11 % do território goiano e faz divisas com os municípios de Bom Jesus de Goiás, Cachoeira Alta, Castelândia, Gouvelândia, Paranaiguara, Rio Verde e o Estado de Minas Gerais, sendo um dos 125 municípios que compõem a Bacia do Rio Paranaíba. Seu clima é Tropical quente Sub-úmido, Aw de acordo com a tipologia climática de KÕPPEN (1918), com duas estações bem definidas e variações anuais significativas quanto à umidade, temperatura e pluviosidade.

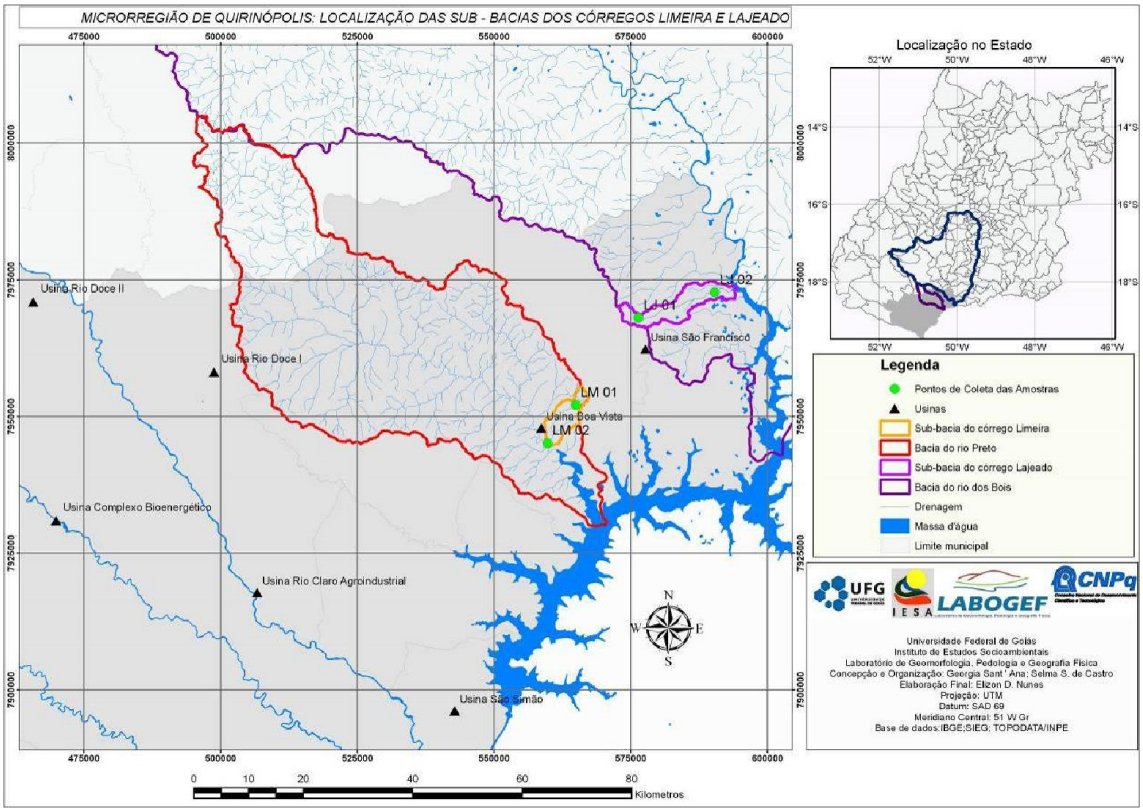
O município de Quirinópolis está localizado nas sub-bacias do Rio dos Bois, Rio São Francisco e Rio Preto (IBGE, 2012). Nele foram amostrados dois córregos, sendo um referente à bacia do Rio Preto, com 2340,83 km^2, sub-bacia do Córrego Limeira, com 40,25 Km^2 e extensão de 22,243 Km, estando localizado próximo à Usina sucroalcooleira Boa Vista. Outro córrego amostrado foi da bacia do Rio dos Bois, com 34.812,06 Km^2, sub-bacia do Córrego Do Lajeado, com 70,59 Km^2 e extensão de 33,43 Km, localizado próximo à Usina sucroalcooleira São Francisco (figura 1).

O município de Quirinópolis encontra-se na unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, sobre rochas basálticas e areníticas, compondo relevos aplainados e extensos (chapadas) (LATRUBESSE e CARVALHO, 2006), com baixos valores de declividade, onde predominam solos espessos, ácidos, homogêneos, porosos

e bem drenados, classificados como Latossolos. Foram encontrados Latossolos Vermelho distróficos e distroférricos, sendo os primeiros desenvolvidos sobre os arenitos, argilo-arenosos, predominam na maior parte da microrregião e se encontram nas superfícies geomórficas intermediárias do relevo, e os segundos, de característica argilosa, desenvolvidos sobre os basaltos e posicionados na superfície geomórfica mais baixa (NOVAES *et al.*, 1983).

As sub-bacias estudadas estão localizadas em posição montante a uma altitude de 506 e 542 e a jusante entre 405 e 542. Quanto à declividade, a montante apresenta uma declividade de 5 a 13 % e a jusante uma declividade de 13 a menor que 7,8 % (figuras 2 e 3).

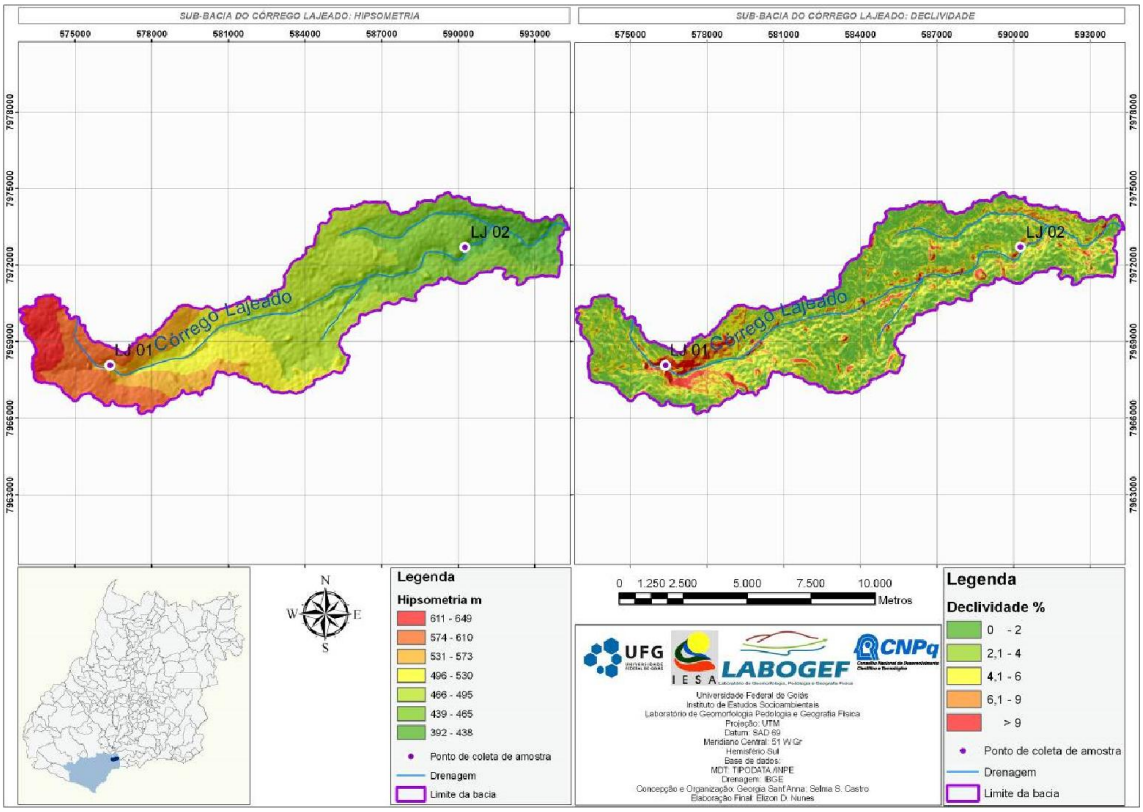
Figura 1. Localização das áreas das bacias dos córregos amostrados: bacia do Rio Preto/sub-bacia do Córrego Limeira; bacia do Rio dos Bois/sub-bacia do Córrego Do Lajeado.



Já o Córrego Limeira, a montante, apresenta água transparente e leito argiloso, estando situado em área de mata galeria, com presença de muito material em suspensão. O córrego é sombreado pela vegetação marginal. Não possui um grande volume de

água, variando entre 0,40 e 0,60 cm de profundidade, o fundo do córrego é argiloso. A jusante do Córrego Limeira, a água é turva com leito argiloso e presença de algumas rochas. Possui pouca vegetação nativa em seu entorno, estando próximo à área de cultivo de cana-de-açúcar e uma pequena porção de pasto. A profundidade do córrego é de 0,60 a 0,70 cm. O fundo do córrego é argiloso, com pouca presença de seixos e rocha.

Figura 2. (a) Mapa de hipsometria da sub-bacia do Córrego Do Lajeado (b) Mapa de declividade da sub-bacia do Córrego Do Lajeado.

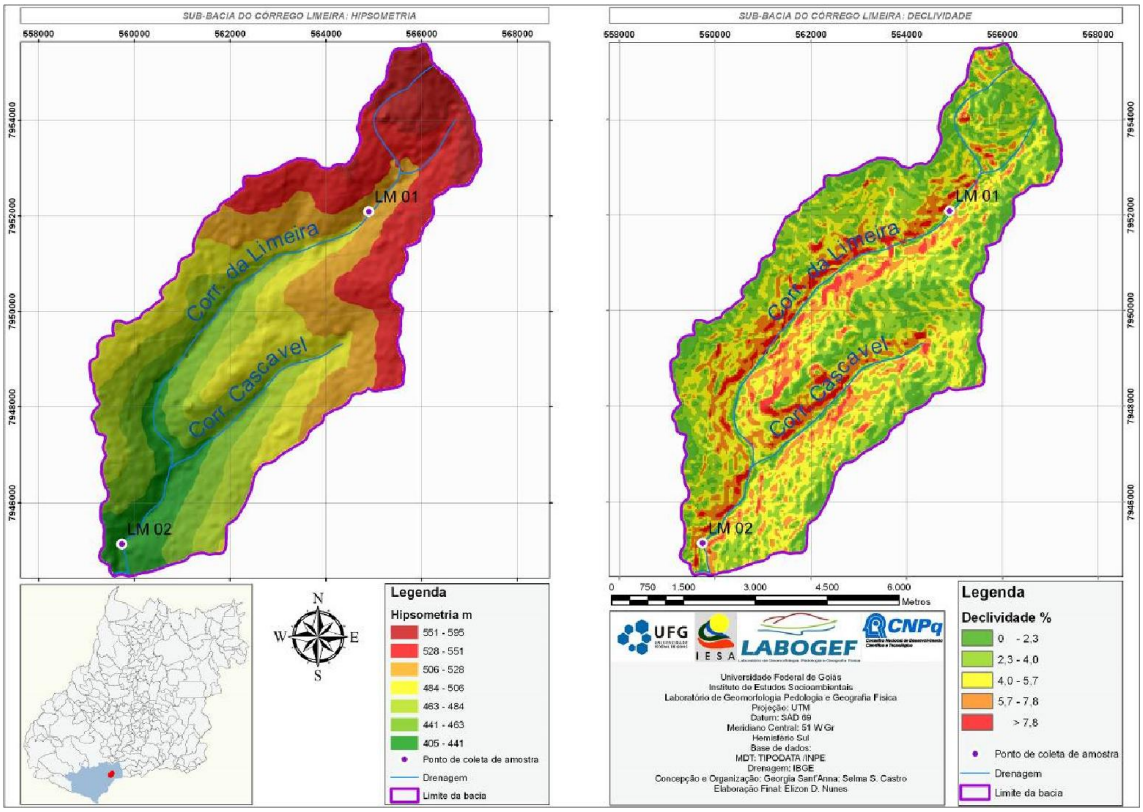


Em cada córrego foram amostrados dois pontos (figura 1), escolhidos por permitirem o acesso aos córregos pela existência de trilhas próximas. A localização dos pontos amostrados: Córrego Do Lajeado a montante - LJ1 (S 18º22’32,9” e W 0,50º 16’37,5”); a jusante – LJ2 (S 18º20’02,4” e W 0,50º08’43,0”); Córrego Limeira a montante – LM1 (S 18º31’14,4” e W 0,50º23’06,5”); a jusante – LM2 (S 18º35’01,0” e W 0,50º26’01,8”).

Em relação à ordem dos córregos, o ponto LJ1 do Córrego Do Lajeado e o ponto LM1 do Córrego Limeira estão em trecho de 1ª ordem. O ponto LJ2, do Córrego Do

Lajeado e o ponto LM2 do Córrego Limeira estão em trecho de 2ª ordem (STRAHLER, 1957). Os córregos foram amostrados em dias consecutivos em dois períodos nos meses de setembro de 2010 e março de 2011, relativos às estações seca e chuvosa, respectivamente. A amostragem dos pontos mais a jusante sempre foram feitas antes da amostragem nos pontos mais a montante.

Figura 3. (a) Mapa de hipsometria da sub-bacia do Córrego Limeira (b) Mapa de declividade da sub-bacia do Córrego Limeira.



Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos da estação meteorológica da Usina São Francisco, localizada em Quirinópolis (GO). A temperatura da água e do ar foram medidas em campo e as coletas foram realizadas conforme Conte e Leopoldo (2001). As amostras foram acomodadas em frascos apropriados e acondicionadas em caixas de isopor.

Foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos e biológicos: condutividade elétrica, alcalinidade, turbidez, clorofila-a, nitrato, nitrogênio total, íon amônio, fosfato, fósforo total, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, potássio, sódio, teor de cloretos, sólidos totais, cobre, cadmo, cobalto, cromo total,

zinco, manganês, ferro total e glicofosato. As metodologias utilizadas para as análises dos parâmetros requeridos são recomendadas pelo *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (CLESCERI *et al.*, 2003).

Os parâmetros analisados nos pontos LJ1, LJ2, LM1 e LM2 foram comparados com os parâmetros estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 357 – 17 de março de 2005 – para águas de Classe 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A retirada da vegetação natural da bacia para a ocupação por agricultura representa, usualmente, uma etapa intermediária no processo de deterioração de um corpo d'água. Para compensar esta retirada, e para tornar a agricultura mais intensiva, são adicionados artificialmente, fertilizantes, isto é, produtos com elevados teores dos nutrientes nitrogênio e fósforo. A substituição das matas por vegetais agricultáveis pode causar, também, uma redução da capacidade de infiltração no solo e, consequentemente, um escoamento destes nutrientes diretamente nos corpos d'água (SPERLING, 2005; CORBI, 2006; JUNIOR, 2012).

A cultura em questão, cana-de-açúcar, segundo informações das indústrias da região estudada, recebe o manejo de acordo com a quadro 1. Este manejo apresenta uma composição química média de nitrogênio, fosfato, oxido de potássio, óxido de cálcio, óxido de magnésio, sulfato, grande quantidade de matéria orgânica, ferro, cobre, zinco, manganês e pH ácido.

Quadro 1. Manejo utilizado na cultura de cana-de-açúcar, na região de Quirinópolis/GO.

USO ANTERIOR/ CANA	MANEJO				
	Gesso agrícola t/ha	Fosfato (P_2O_5) t/ha	Fertilizante t/ha	Calcário t/ha	Vinhaça m^3/ha
Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf)					
Soja/cana fertirrigada	1,5/2006 1/2009	0,23/2006	0,6/2006(1)	3/2006 2/2009	150/2008 150/2010
soja/cana não fertirrigada	1,5/2006 1/2009	0,23/2006	0,6/2007(1) 0,45/2008(2) 0,45/2009(2)	3/2006 2/2009	-
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)					
soja/cana não fertirrigada	1,5/2006 1/2009	0,23/2006	0,26/2007(1) 0,45/2008(2) 0,45/2009(2)	3/2006 2/2009	-
pasto/cana não fertirrigada	1,5/2006 1/2009	0,23/2006	0,26/2007(1) 0,20/2008(3) 0,45/2009(2)	3/2006 2/2009	-

Fonte: SANT'ANA *et al.* (2011).

Nas tabelas 1 a 4 são apresentados os valores obtidos para as variáveis físico-químicas e biológicas nos pontos de coleta LJ1, LJ2, LM1 e LM2, respectivamente.

Tabela 1. Variação dos resultados das análises físico-químicas e biológicas dos pontos no Córrego Do Lajeado, no período seco.

CÓRREGO Do LAJEADO								
VARIÁVEIS/Período Seco	**05/09/10 (M)**	**05/09/10 (J)**	**06/09/10 (M)**	**06/09/10 (J)**	**Máxima**	**Mínima**	**Média**	**CONAMA**
Condutividade (µS/cm)	35,7	45,3	35,8	45,7	45,7	35,7	40,6	*
pH	6	6,31	6,2	6,3	6,21	6	6,20	6,0 a 9,0
Temperatura água da (ºC)	20,4	21,2	20	21,9	21,9	20	20,87	*
Temperatura do ar (ºC)	25	26	23	25	24,75	23	24,75	*
Alcalinidade (mg/L)	85,07	87,07	85	87	86,03	85	86,03	*
Turbidez (UNT)	8,72	3,77	8,7	3,78	6,23	3,77	6,24	Máx. 40 NTU
Clorofila a (µg/L)	30,2	24	30,1	24,5	30,1	24	27,2	30µg/L
Nitrato (mg/LN-NO3)	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,15	10 mg/LN-NO3
Nitrogênio total (mg/LN)	0,76	0,66	0,76	0,66	0,76	0,66	0,71	*
Fosfato (mg/LP-PO4)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	*
Fósforo total (mg/LP)	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02 mg/LP
Oxigênio Dissolvido (mg/LO2)	6,8	6,9	6,8	6,9	6,9	6,8	6,85	Min. 6mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/LO2)	1,2	0,9	1,2	0,9	1,2	0,9	1,05	Max.5 mg/LO2
Potássio (mg/LK)	0,76	0,67	0,75	0,68	0,76	0,67	0,71	*
Sódio (mg/L)	0,76	1,37	0,77	1,37	1,37	0,76	1,07	*
Teor de cloretos(mg/L Cl)	25,56	31,95	25,5	30,9	31,95	25,5	28,48	250mg/L Cl
Sólidos totais dissolvidos(mL/L)	20	40	19	38,5	40	19	29,37	500 mg/L

M (montante), J (Jusante).

Tabela 2. Variação dos resultados das análises físico-químicas e biológicas dos pontos no Córrego Do Lajeado, no período chuvoso.

CÓRREGO Do LAJEADO								
VARIÁVEIS/Período Chuvoso	**19/03/11 (M)**	**19/03/11 (J)**	**20/03/11 (M)**	**20/03/11 (J)**	**Máxima**	**Mínima**	**Média**	**CONAMA**
Condutividade (µS/cm)	53,6	26,2	53,6	26	53,6	26	39,85	*
pH	6,88	7,52	6,7	7,5	7,52	6,7	7,15	6,0 a 9,0
Temperatura água da (ºC)	23,8	24	22,5	21	24	21	22,83	*
Temperatura do ar (ºC)	25	28	24	27	28	24	26	*
Alcalinidade (mg/L)	42,04	41,04	44,1	41	44,1	41	42,05	*
Turbidez (UNT)	158	19,7	150	19,6	158	19,6	86,83	Máx. 40 NTU
Clorofila a (µg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	30µg/L
Nitrato (mg/LN-NO3)	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,63	10 mg/LN-NO3
Nitrogênio total (mg/LN)	0,98	0,88	0,97	0,87	0,98	0,87	0,93	*
Fosfato (mg/LP-PO4)	0,29	0,14	0,29	0,14	0,14	0,14	0,22	*
Fósforo total (mg/LP)	0,09	0,04	0,09	0,04	0,09	0,04	0,07	0,02 mg/LP
Oxigênio Dissolvido (mg/LO2)	8,9	5,4	8,8	5,4	8,9	5,4	7,13	Min. 6mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/LO2)	3,5	0,4	3,4	0,4	3,5	0,4	1,93	Max.5 mg/LO2
Potássio (mg/LK)	1,67	1,07	1,67	1,08	1,67	1,07	1,38	*
Sódio (mg/L)	0,37	1,07	0,38	1,07	1,07	0,37	0,73	*
Teor de cloretos(mg/L Cl)	1,42	2,84	1,45	2,9	2,9	1,42	2,15	250mg/L Cl
Sólidos totais dissolvidos(mL/L)	0,9	0,1	0,89	0,15	0,9	0,1	0,51	500 mg/L

M (montante), J (Jusante).

Tabela 3. Variação dos resultados das análises físico-químicas e biológicas dos pontos no Córrego Limeira, no período seco.

CÓRREGO LIMEIRA								
VARIÁVEIS/Período Seco	**05/09/10 (M)**	**05/09/10 (J)**	**06/09/10 (M)**	**06/09/10 (J)**	**Máxima**	**Mínima**	**Média**	**CONAMA**
Condutividade (µS/cm)	39,3	30,5	39,1	30,4	39,3	30,4	34,83	*
pH	7,43	7,07	7,39	7,05	7,43	7,05	7,23	6,0 a 9,0
Temperatura água da (ºC)	17,6	19	18	17,6	19	17,6	18,05	*
Temperatura do ar (ºC)	25	24	26	25	26	24	25	*
Alcalinidade (mg/L)	80,07	81,07	80,05	81,07	81,07	80,05	80,56	*
Turbidez (UNT)	8,21	24	8,2	24	24	8,2	16,15	Máx. 40 NTU
Clorofila a (µg/L)	6,23	12,4	6,23	12,4	12,4	6,23	9,32	30µg/L
Nitrato (mg/LN-NO3)	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2	0,32	10 mg/LN-NO3
Nitrogênio total (mg/LN)	0,76	0,96	0,76	0,96	0,96	0,76	0,86	*
Fosfato (mg/LP-PO4)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	*
Fósforo total (mg/LP)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,02 mg/LP
Oxigênio Dissolvido (mg/LO2)	5,8	7,2	5,8	7,2	7,2	5,8	6,5	Min. 6mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/LO2)	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2	1,25	Max.5 mg/LO2
Potássio (mg/LK)	0,47	0,48	0,47	0,49	0,49	0,47	0,47	*
Sódio (mg/L)	0,81	1,19	0,82	1,2	0,81	0,81	1,01	*
Teor de cloretos(mg/L Cl)	24,85	27,69	24,5	27,7	27,7	24,5	26,19	250mg/L Cl
Sólidos totais dissolvidos(mL/L)	30	10	31	12	31	10	20,75	500 mg/L

M (montante), J (Jusante).

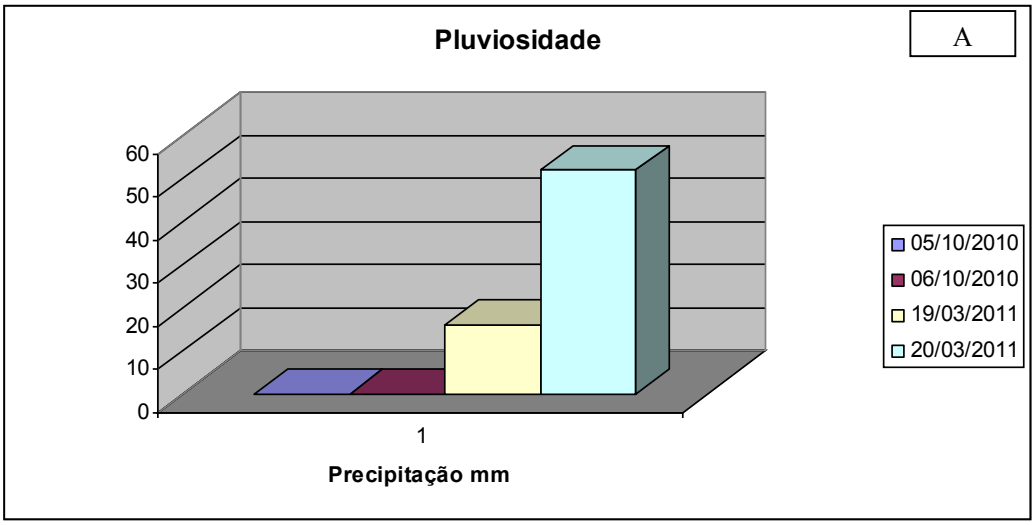
Tabela 4. Variação dos resultados das análises físico-químicas e biológicas dos pontos no Córrego Limeira, no período chuvoso.

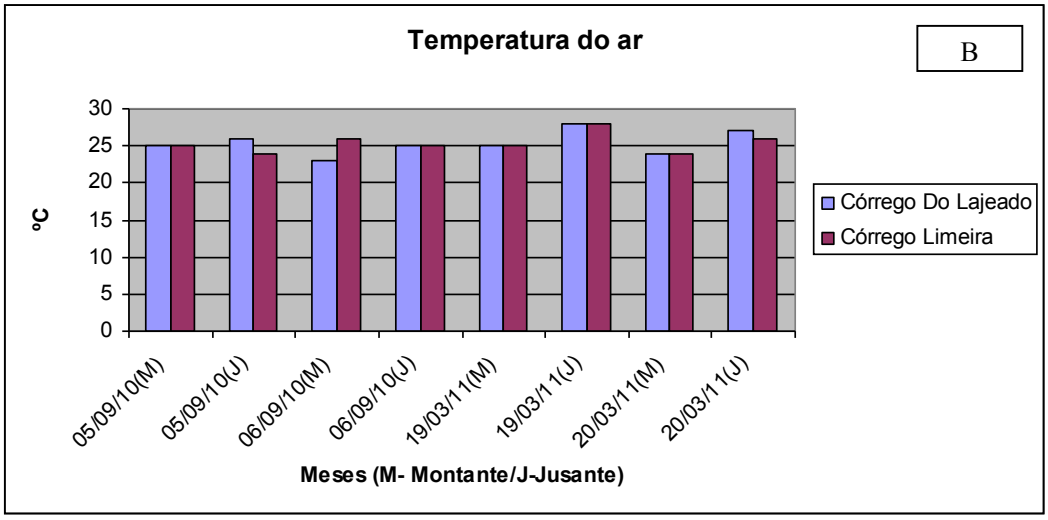
CÓRREGO LIMEIRA								
VARIÁVEIS/Período Chuvoso	**19/03/11 (M)**	**19/03/11 (J)**	**20/03/11 (M)**	**20/03/11 (J)**	**Máxima**	**Mínima**	**Média**	**CONAMA**
Condutividade (µS/cm)	41,6	34,5	41,4	34,7	41,6	34,5	38,76	*
Ph	7,43	7,07	7,39	7,05	7,43	7,05	7,27	6,0 a 9,0
Temperatura água da (ºC)	17,6	24	17,5	22,5	24	17,5	21,12	*
Temperatura do ar (ºC)	25	28	24	26	28	24	26,2	*
Alcalinidade (mg/L)	60,05	33,03	60	33	60,05	33	49,23	*
Turbidez (UNT)	22,2	65,5	22	65	65,5	22	48,04	Máx. 40 NTU
Clorofila a (µg/L)	ND	ND	ND	ND	*	*	*	30µg/L
Nitrato (mg/LN-NO3)	0,9	0,9	0,89	0,8	0,9	0,8	0,88	10 mg/LN-NO3
Nitrogênio total (mg/LN)	1,18	1,18	1,17	1,17	1,18	1,17	1,18	*
Fosfato (mg/LP-PO4)	<0,010	0,113	<0,010	0,113	0,11	0,11	0,12	*
Fósforo total (mg/LP)	<0,010	0,037	<0,010	0,037	0,037	0,04	0,04	0,02 mg/LP
Oxigênio Dissolvido (mg/LO2)	9,3	6,4	9,2	6,5	9,3	6,4	8,14	Min. 6mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/LO2)	2,9	0,8	2,8	0,8	2,9	0,8	2,04	Max.5 mg/LO2
Potássio (mg/LK)	1,05	1,12	1,05	1,1	1,12	1,05	1,09	*
Sódio (mg/L)	0,64	1,25	0,63	1,25	1,25	0,63	1,01	*
Teor de cloretos(mg/L Cl)	2,13	2,84	2,19	3,1	3,1	2,13	2,67	250mg/L Cl
Sólidos totais dissolvidos(mL/L)	0,01	0,3	0,01	0,4	0,4	0,01	0,22	500 mg/L

M (montante), J (Jusante).

O padrão sazonal das chuvas foi bem marcado. Durante o período das coletas, o período de maior precipitação foi no dia 20 de março de 2011, com 52 mm. A precipitação do mês de setembro de 2010 foi 0,0 mm (figura 4A).

Figura 4. (A) Precipitação nos dias de coleta no Córrego Do Lajeado e Limeira, na região de Quirinópolis (GO). Referência aos meses de setembro de 2010 e março de 2011; (B) Variação da temperatura do ar nos pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 e março de 2011.



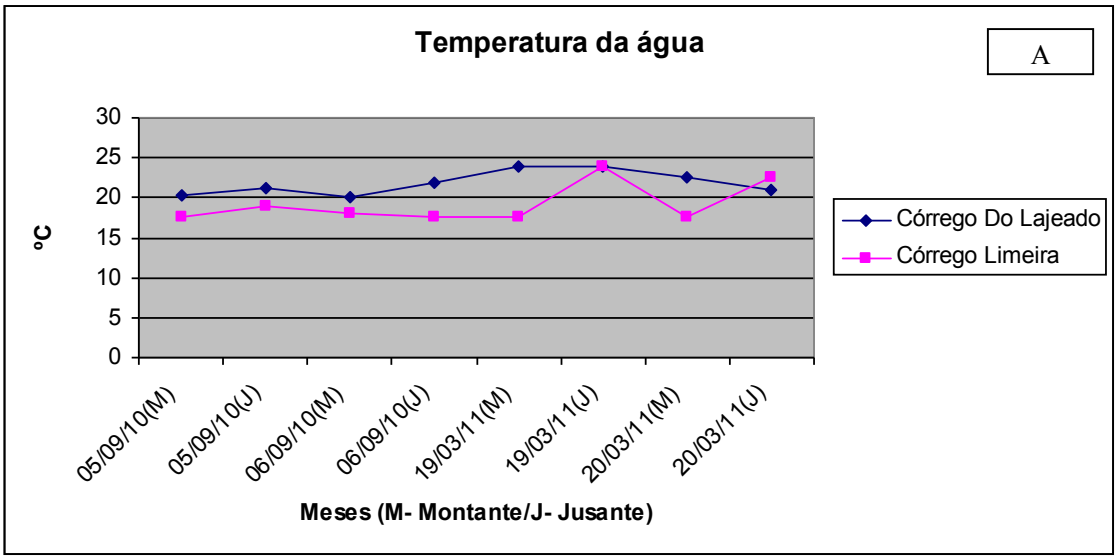


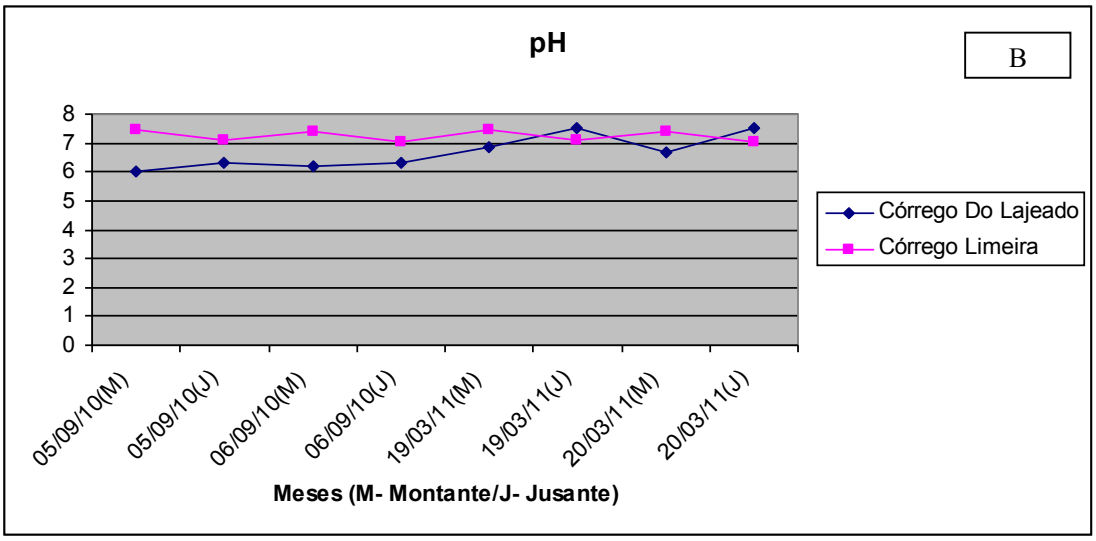
A variação da temperatura do ar nos córregos Do Lajeado e Limeira (figura 4 B), nos meses de setembro de 2010 e março de 2011, apresentou uma constância, com maiores valores no mês de março de 2011, período de chuva. Embora não tenha havido uma expressiva diferenciação entre os pontos de coleta, a temperatura apresenta um

padrão sazonal cíclico com duas estações distintas: uma quente e úmida (março de 2011) e outra seca (setembro de 2010).

A temperatura da água (figura 5A), que variou de 20 ºC e 24 ºC, não apresentou o mesmo padrão sazonal. Foi maior no período chuvoso, que corresponde ao verão, nos dois córregos. Tendência comum na região observada em outros trabalhos desenvolvidos em Goiás e no Distrito Federal em ambientes lênticos (VELHO *et al.*, 2001; GOMES, 2007) e lóticos (SILVA, 2007). Houve uma pequena diferença nas temperaturas registradas entre os dois córregos.

Figura 5. Pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): (A) Variação da temperatura da água; (B) Variação de pH da água.





Segundo TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI (2008), os ambientes aquáticos da região Centro-Oeste do Brasil possuem águas ácidas. Isso ocorre porque os solos do Cerrado são ácidos (PELÁEZ-RODRIGUES *et al.*, 2000), o que faz com que a água de rios que drenam regiões de Cerrado fiquem ácidas. Os valores de pH medidos nas duas campanhas de amostragem (figura 5B) mostraram uma pequena variação, desde um valor mínimo de 6 (a montante, período seco, no córrego Do Lajeado) e máximo de 7,5 (a jusante, período chuvoso, no córrego Limeira) mostrando uma tendência a alcalinidade.

Os maiores valores de alcalinidade foram medidos no período chuvoso, o que pode ser explicado pelo aumento de substâncias solubilizantes devido ao carreamento e transporte de materiais de origem orgânica e inorgânica. Essa ligeira alcalinidade é devida à presença de carbonatos e bicarbonatos, e também reflete o tipo de solo por onde a água passa (EMGOPA, 1988; ESTEVES, 2011; SILVA, 2007). Os parâmetros estabelecidos pela resolução 357 do CONAMA de março de 2005 estão compatíveis com os resultados encontrados nas análises (quadros 2 a 5; figura 5 B).

O pH também influencia a condutividade elétrica, que depende das concentrações iônicas e da temperatura, indicando a quantidade de sais existentes no corpo d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes (RICHTER e NETO, 1991; CETESB, 2009). Os pontos a jusante, tanto no córrego Do Lajeado como no Limeira, apresentaram os valores mais altos de condutividade elétrica (figura 6A; quadros 2 a 5). Altos valores obtidos para a condutividade elétrica são característicos de ambientes impactados, em geral níveis superiores a 100 µS/cm (WETZEL *et al.*, 1991; CETESB, 2007).

A alcalinidade representa a capacidade que um sistema aquoso tem de neutralizar ácidos. Esta capacidade depende de alguns compostos, principalmente bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, sendo que este ultimo ânion é raro na maioria das águas naturais, ocorrendo geralmente em águas cujo pH é superior a 10. A alcalinidade reflete, em última instância, a capacidade que um ecossistema aquático apresenta em neutralizar (tamponar) ácidos a eles adicionados (ESTEVES, 2011).

O período seco, de 5 e 6 de setembro apresentou os valores mais altos de alcalinidade entre 80,07 a 87. No período chuvoso os valores foram mais baixos, mas, continuaram com uma alta concentração (figura 6B; quadros 2 a 5). Esses valores estão associados a altos valores de íons de cálcio, comumente utilizado na correção dos solos (calagem) e também participante da composição da vinhaça utilizada na fertirrigação da

cana-de-açúcar (CORBI, 2006; SILVA, *et al.*, 2007; OLIVEIRA, 2009; JUNIOR, 2012).

Os parâmetros climatológicos de uma região também influenciam nos parâmetros avaliados, como em relação à turbidez dos corpos d'água. Em um período de maior precipitação, pode ocorrer um aumento na turbidez em função do grande aporte de material que é carreado pelas chuvas para o corpo d'água em questão (GRABOW, 1996; SOUZA, 2008). Fato que provavelmente ocorreu no período chuvoso em relação aos dois córregos estudados, os quais apresentaram valores acima do estipulado pela Resolução do CONAMA nº 357 – 17 de março de 2005 (figura 6C). Tal fato também pode ser reforçado pela presença de processo erosivo às margens dos córregos.

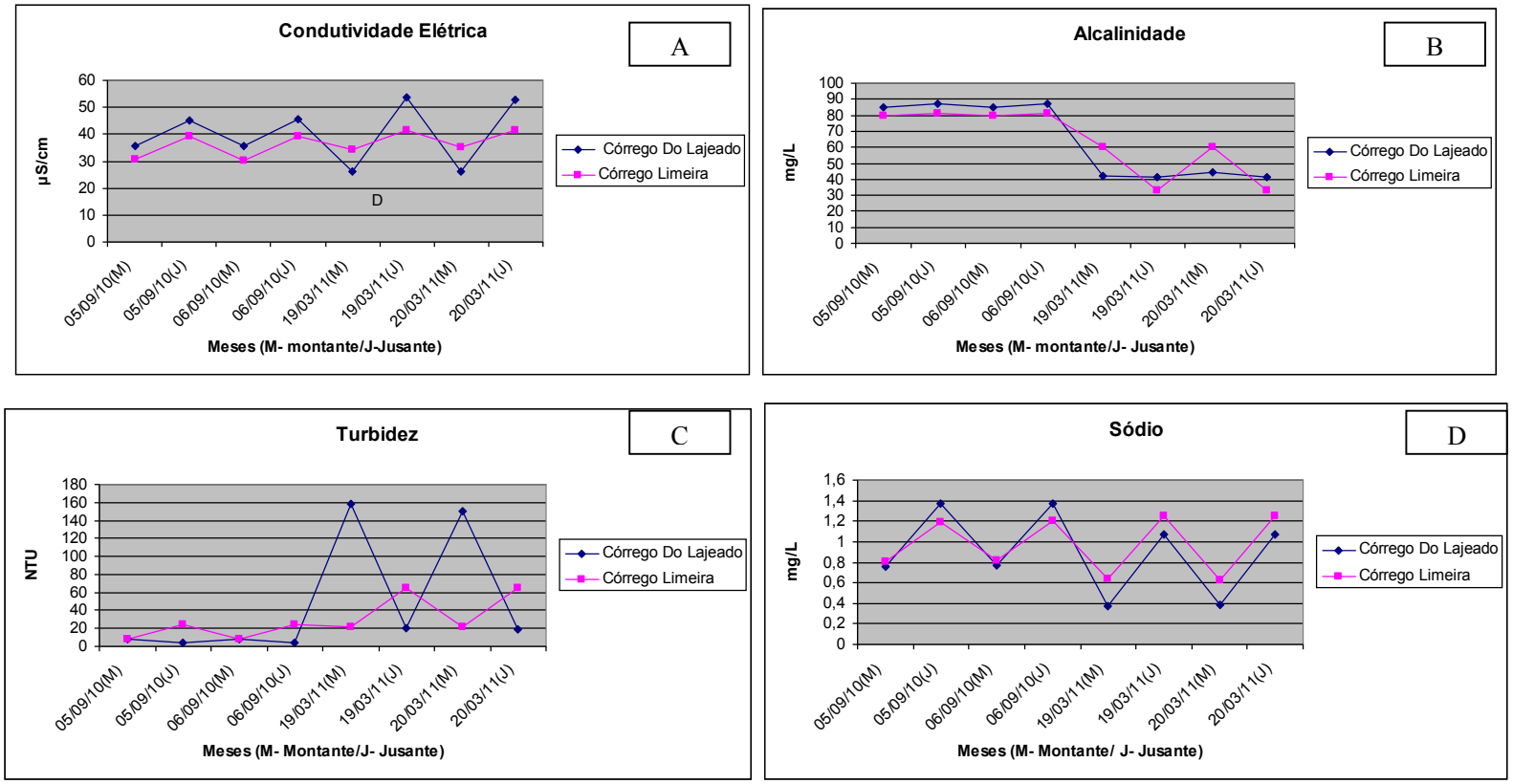
O sódio é geralmente encontrado associado com cloreto, o que indica a sua origem comum. A erosão de rochas que contêm cloreto de sódio é responsável pela origem da maior parte do cloreto e do sódio encontrada em rios. No entanto, a poluição por esgotos domésticos, fertilizantes ou sais de estradas também são fontes importantes desses íons (ALLAN e CASTILLO, 2007). Foi estipulado que 28 % do sódio em rios em todo o mundo têm origem antropogênica (BERNER e BERNER, 1987).

SILVA (2008) observou que córregos localizados em áreas rurais apresentaram maiores valores de condutividade elétrica, alcalinidade, magnésio, potássio, sódio, cloreto e sulfato do que córregos localizados em áreas naturais. No presente trabalho, os córregos Do Lajeado e Limeira apresentaram altos valores de sódio a jusante (figura 6D), comparados com os valores a montante.

A concentração de potássio foi maior no período chuvoso em ambos os córregos (figura 7B), não ultrapassando 10 mg/l, pois segundo CETESB (2009), O potássio é usualmente encontrado na forma iônica e os sais são altamente solúveis. Ele é pronto para ser incorporado em estruturas minerais e acumulado pela biota aquática, pois é um elemento nutricional essencial. As concentrações em águas naturais são usualmente menores que 10 mg/L.

As concentrações de cloretos (quadros 2 a 5; figura 7A) variaram entre de 1,42 a 31,95, permanecendo abaixo dos valores estipulados pela resolução do CONAMA 357/05, que prevê 250mg/L (quadros 2 e 3) e, portanto, não apresentando restrições para sua utilização na irrigação.

Figura 6. Pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): (A) Variação da condutividade elétrica da água; (B) Variação da alcalinidade da água; (C) Variação da Turbidez da água; (D) Variação do Sódio na água.



Os sólidos totais dissolvidos (STD) ou sólidos em suspensão dissolvidos (SSD) correspondem ao peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume (MACEDO, 2007; CETESB, 2009). Os córregos Do Lajeado e Limeira apresentaram altos valores de STD no período seco, sendo a jusante no córrego Do Lajeado e a montante no córrego Limeira. Os valores não ultrapassam o estipulado pela Resolução do CONAMA nº 357 – 17 de março de 2005, mas representam uma alteração negativa nestes pontos (figura 7C).

As concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram valores acima do especificado pela Resolução do CONAMA nº 357 – 17 de março de 2005, tanto no período de seca como no período de chuvas. Tal fato evidencia que o ambiente vem sofrendo grande descarga de matéria orgânica, principalmente a jusante e no Córrego Do Lajeado, devido ao uso do solo para a atividade agrícola (figura 7D).

Dessa forma, os resíduos orgânicos despejados nos corpos d'água são decompostos por microrganismos que utilizam o oxigênio na respiração. Assim, quanto maior a carga de matéria orgânica, maior o número de microrganismos decompositores e, consequentemente, maior o consumo de oxigênio e menor a concentração de oxigênio dissolvido no corpo d'água (BAUMGARTEN e POZZA, 2001; BERTOL *et al.*, 2007; VANZELA *et al.*, 2010).

A resolução 357 do CONAMA de março de 2005 estabelece limites de íon amoniacal, que variam de acordo com o pH dos corpos d'água. Os córregos analisados apresentaram pH menores que 7,5 sendo que o valor máximo estipulado pelo CONAMA é 3,7 g/LN. O íon amoniacal apresentou-se com valores superiores ao estipulado, com uma média no período seco de 3,99 acima do valor estipulado (quadros 2 e 3; figura 8A). Os valores nos córregos estudados, principalmente no Do Lajeado, foram maiores a jusante, onde ocorre a maior interferência das áreas de cultivo agrícola.

As principais fontes artificiais de entrada de nitrogênio em córregos incluem fertilizantes agrícolas, deposição atmosférica, cultivo de plantas fixadoras de nitrogênio, esgoto e resíduos de animais (BOYER *et al.*, 2002; ALVES *et al.*, 2008). A maior deposição de nitrato foi no córrego Limeira, no período chuvoso (quadros 2 a 5; figura 8B). Os maiores valores de nitrogênio total foram observados no período chuvoso, tanto no Córrego Do Lajeado quanto no Córrego Limeira (quadros 2 a 5; figura 8C).

Figura 7. Pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): (A) Variação do Teor de Cloretos; (B) Variação de Potássio; (C) Variação de sólidos totais; (D) Variação de Oxigênio Dissolvido na água.

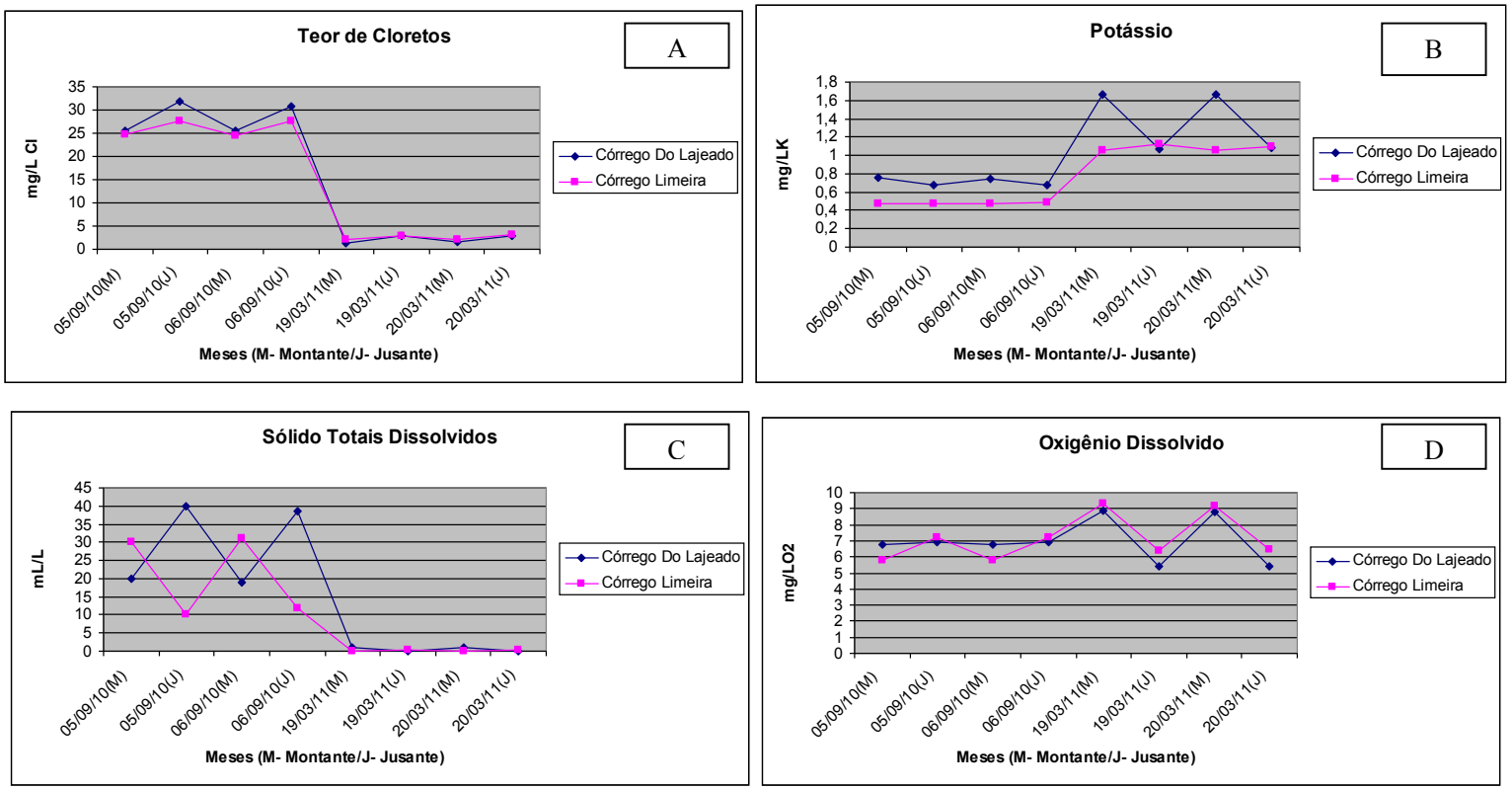
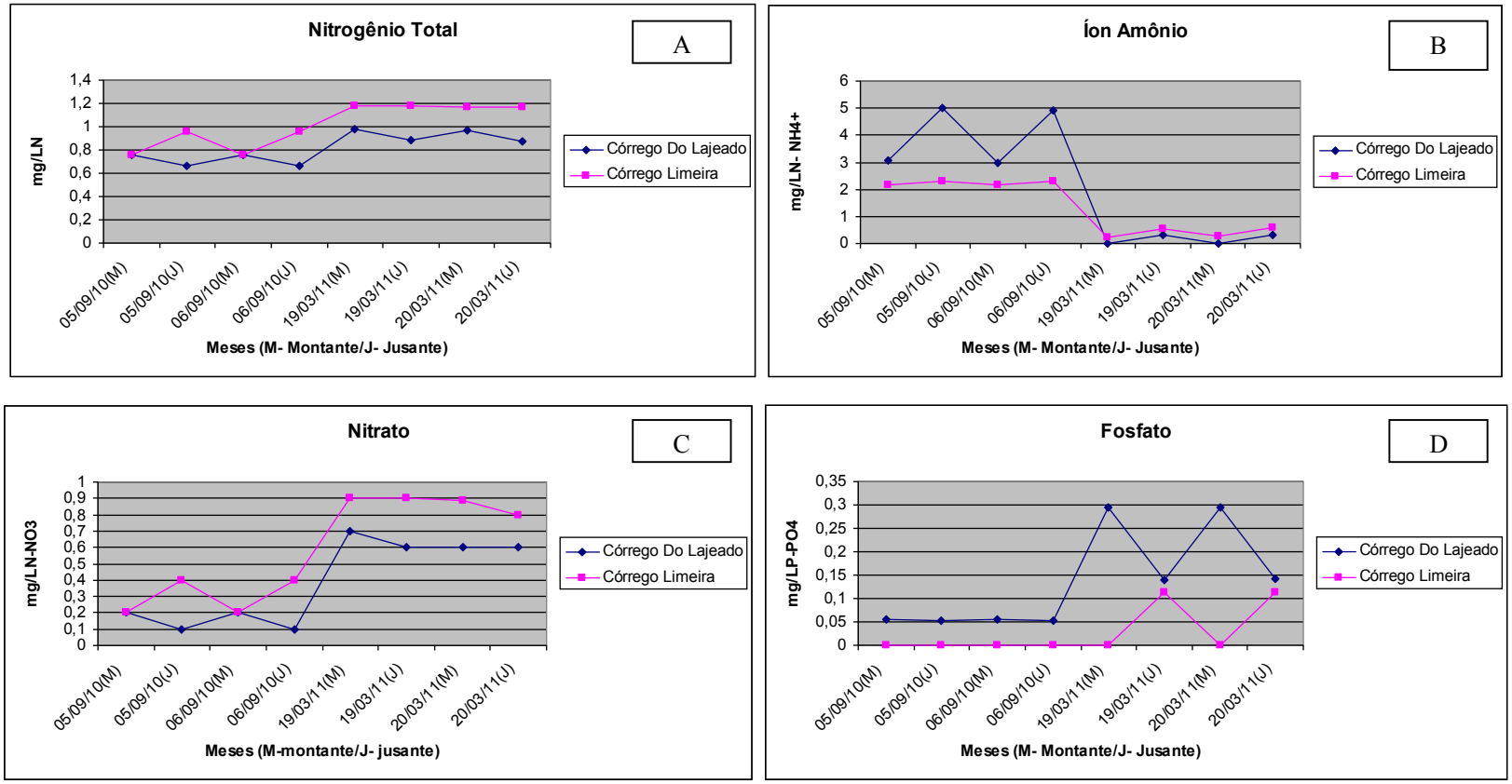


Figura 8. Pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): (A) Variação de íon amônio na água; (B) Variação de Nitrato na água; (C) Variação de Nitrogênio total na água; (D) Variação de Fosfato na água.



FRITZSONS (1999), SILVA (2008) e LUCAS *et al.* (2010) observaram que córregos em áreas rurais apresentam concentrações de amônio, nitrato e nitrito maiores do que as concentrações medidas em córregos localizados em áreas naturais do Cerrado. ARAÚJO (2006) encontrou poços de água com elevadas concentrações de nitrato (até 21 mg/L) pelo uso intensivo de fertilizantes na bacia do rio Jardim (notadamente NPK). Teores de nitrato superiores a 5 mg/L são considerados fortes indicativos de entrada de cargas poluidoras em corpos d'água (HEM, 1986; LUCAS *et al.*, 2010). Assim, a diferença nas concentrações de nitrato e íon amônio entre os córregos a montante e principalmente a jusante sinalizam a contaminação por fertilizantes nas sub-bacias estudadas (figuras 8A e 8B).

O fósforo é o principal nutriente associado ao processo de eutrofização. Os ambientes aquáticos tropicais, geralmente, apresentam escassez deste elemento. O fósforo total inclui todas as formas de fósforo presentes no sistema, orgânico/inorgânicos e particulados/dissolvidos, sua qualificação fornece dados importantes sobre uso do solo. As fontes artificiais de fosfato mais importantes são: esgoto doméstico e industrial, fertilizantes agrícolas e material particulado de origem industrial contido na atmosfera (ESTEVES, 2011; POLETO *et al.*, 2010).

Já a elevada concentração de alumínio, associada à acidez dos solos do Cerrado, contribui para diminuir a disponibilidade de vários nutrientes, especialmente os fosfatos que são absorvidos pelos íons Al^{+3} na fração argilosa do solo (GOEDERT *et al.*, 1997; RODRIGUES JUNIOR, 2008).

Nos córregos estudados mesmo considerando estas características dos solos, observaram-se concentrações altas de fosfato e fósforo total, de acordo com o estabelecido pela resolução 357 do CONAMA de março de 2005 que é de 0,02 mg/LP. Em alguns dos pontos amostrados os valores chegaram a 0,096 mg/LP de fósforo total e 0,29 mg/LP de fosfato no período de chuva (figuras 8D e 9A), com uma média no córrego Do Lajeado no período seco de fósforo total de 0,017 mg/LP e no período chuvoso 0,071 mg/LP. Já para o córrego Limeira no período seco < 0,010 mg/LP e período chuvoso 0,037 mg/LP, demonstrando assim um impacto no ambiente (tabelas 2 e 3).

Comparando estes dados com os apresentados por OLIVEIRA (2009) em relação ao córrego Pindaíba, em Formosa/Goiás relativo à área natural e ao córrego Estanislau, em área com atividade agrícola, na mesma região, onde os estudos destes dois córregos não detectaram concentrações de fosfato, diferente do encontrado para os

córregos Limeira e Do Lajeado, que apresentaram altos valores de fosfato e fósforo total, principalmente no período chuvoso, podendo ser devido à presença de altas concentrações de fertilizantes que são utilizados no cultivo de cana-de-açúcar (quadros 2 a 5; figura 8D e 9A).

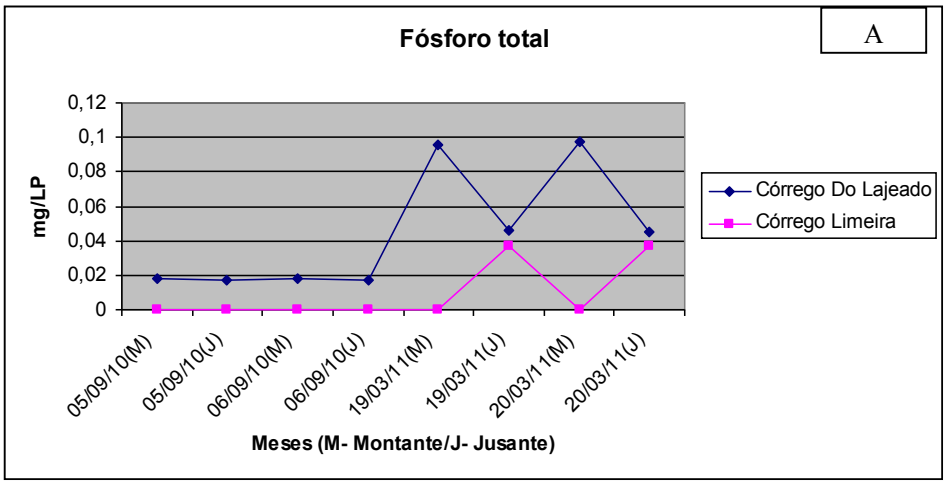
A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) corresponde ao oxigênio consumido na estabilização da matéria orgânica no período padrão de 5 dias a uma temperatura de 20ºC (MELO, 2005; CETESB, 2009). Refere-se a uma variável ambiental de extrema importância para a caracterização do grau de poluição de um corpo hídrico, sendo particularmente importante por estimar o potencial consumo do oxigênio pelos poluentes domésticos e industriais. Bactérias, durante a degradação da matéria orgânica consomem oxigênio em seus processos respiratórios e, caso haja o consumo total de oxigênio dissolvido na água, ocorre à geração de maus odores pela mortalidade e decomposição dos organismos aeróbicos e desprendimento de gases, principalmente o enxofre (MOLINA *et al.*, 2009).

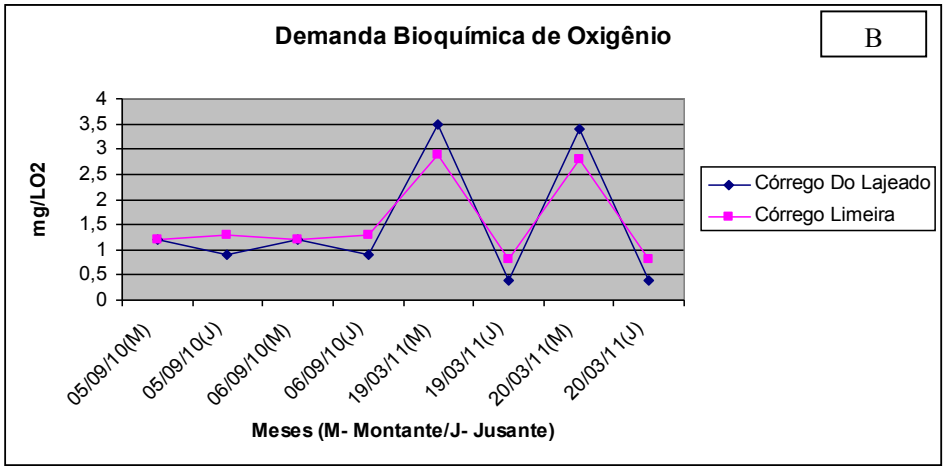
No período de chuva a DBO apresentou valores de 3,5 mg/L no córrego Do Lajeado e 2,9 mg/L no córrego Limeira, superiores aos valores do período seco no trecho a montante (figura 9B). Acredita-se que isto se deve ao aumento da matéria orgânica e a chuva no período. Neste mês pode-se ter ocorrido maior despejo de matéria orgânica, fazendo com que a DBO elevasse. No período seco houve maiores elevações no córrego Limeira a jusante (figura 9B; quadros 2 a 5). Os valores não ultrapassaram o máximo estipulado pela resolução 357 do CONAMA de março de 2005.

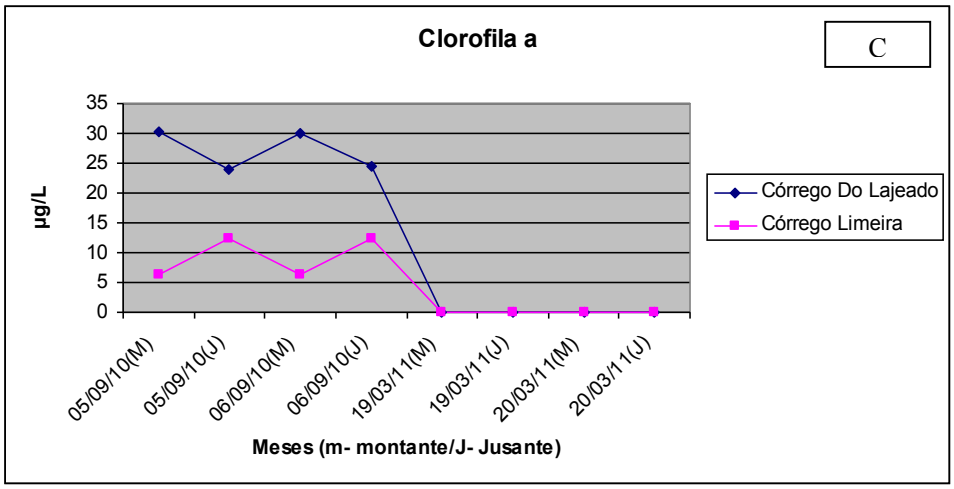
A quantificação da clorofila-a permite estimar a biomassa fitoplanctônica, pois este pigmento está presente em todos os organismos fotossintetizantes. Em situações de grande densidade fitoplanctônica, que são típicas de sistemas eutrofizados, os níveis de nutrientes podem ser mantidos baixos pelo consumo fitoplanctônico, tornando fundamental a avaliação de variáveis biológicas para permitir uma melhor caracterização da água. (ESTEVES, 2011; ALVES, *et al.*, 2012).

Não foi detectável a clorofila-a no período chuvoso, já no período seco observou-se aumento de clorofila-a no Córrego Do Lajeado, tanto a montante, como a jusante (figura 9C). A média no período seco no Córrego Do Lajeado foi de 27,2 µg/L, valor próximo do estipulado pelo CONAMA de 30 µg/L (Tabela 2). No Córrego Limeira o valor médio foi de 9,31 µg/L, valor distante do estipulado pela resolução 357 do CONAMA de março de 2005 (quadro 3).

Figura 9. Pontos de coleta nos Córregos Do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): (A) Variação de Fósforo Total na água; (B) Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio na água; (C) Variação de clorofila-a na água.







O aumento no uso de fertilizantes nas culturas agrícolas tem provocado a poluição de corpos d'água pela infiltração e escoamento superficial das chuvas, que carregam os nutrientes adicionados ao solo pelos fertilizantes para ambientes aquáticos (MANAHAN, 2005; CORBI, 2006; OLIVEIRA, 2009).

Quantidade traço de muitos metais como: níquel (Ni), manganês (Mn), chumbo (PB), cromo (Cr), cádmio (Cd), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe) e mercúrio (Hg) são constituintes importantes para muitas águas. Alguns são necessários para o desenvolvimento da vida biológica, sendo que a ausência de quantidades suficientes deles pode, por exemplo, limitar o crescimento de algas (MACEDO, 2007; RIBEIRO, 2012).

Muitos desses metais são classificados como poluentes prioritários. A presença de um deles em quantidade excessiva seria suficiente para interferir com seus benefícios na água, devido à sua toxidade. Observando os quadros 4 e 5, verifica-se que tanto no Córrego Do Lajeado como no Córrego Limeira os valores de cobre, cádmio, cobalto, cromo, zinco e manganês não ultrapassaram os valores estipulados pela resolução 357 do CONAMA de março de 2005.

Segundo SANTOS *et al.* (2010), os fatores que mais interferem no aumento da quantidade de ferro na água dos mananciais são a má conservação do solo e intensificação do processo erosivo e do assoreamento, formados por solos à base de sesquióxido de ferro.

Quando se tem altas concentrações de ferro total na água, representa indícios de que outros fatores como a presença de sólidos dissolvidos, suspenso e totais também podem estar presente na água, devido à origem dos parâmetros serem os mesmos. Para HERNANDEZ e PERTINARI (1998) e RIBEIRO *et al.*, 2012, valores acima de 0,5 mg/LFe merece atenção especial quando o recurso for utilizado por sistema de irrigação. Analisando os quadros 6 e 7 verifica-se que o tanto o Córrego Do Lajeado quanto o Córrego Limeira apresentaram valores altos de ferro total, principalmente no período chuvoso, sendo para o Córrego Limeira relativo a um valor de 4,54 mg/Lfe no trecho a jusante (quadro 7). Estes valores indicam impactos na área agrícola, tanto no período seco, como no chuvoso.

Traços de pesticidas, herbicidas e outros produtos agrícolas são componentes tóxicos a muitas formas de vida, desta maneira, esses compostos podem ser contaminantes das águas superficiais (MACEDO, 2006; CORBI, 2006). O glifosato é um herbicida pós-emergente, pertencente ao grupo químico das glicinas substituídas,

classificado como não-seletivo e de ação sistêmica (GALLI e MONTEZUMA, 2005). Nos Córregos Do Lajeado e Limeira foram analisadas as quantidades de glifosato existentes nos mananciais e verificou-se que os valores são menores que 20,0 µg/L (tabela 5 e 6), valor referência estipulado pela resolução 357 do CONAMA de março de 2005, não demonstrando assim quantidades poluidoras nos corpos d'água.

Tabela 5. Variação dos resultados das análises físico-químicas quanto a metais pesados e agrotóxic os dos pontos, no Córrego Do Lajeado, no período seco e chuvoso.

CÓRREGO Do LAJEADO					
VARIÁVEIS/Período Seco	**05/09/10 (M)**	**05/09/10 (J)**	**06/09/10 (M)**	**06/09/10 (J)**	**CONAMA**
Cobre (Ma/Lcu)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	*
Cádmio (Ma/LCD)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	Max.0,001
Cobalto (Ma/Lco)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Max.0,05
Cromo Total (Ma/LCr)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Max.0,05
Zinco (Ma/LZn)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Max.0,18
Manganês (Ma/LMn)	0,014	0,013	0,014	0,013	Max.0,1
Ferro Total (Ma/Lfe)	1,48	0,67	1,48	0,97	*
Glifosato µg/L)	<20,0	<0,20	<0,20	<0,20,0	Max. 20,0
VARIÁVEIS/Período Chuvoso	**19/03/11 (M)**	**19/03/11 (J)**	**20/03/11 (M)**	**20/03/11 (J)**	**CONAMA**
Cobre (Ma/Lcu)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	*
Cádmio (Ma/LCD)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	Max.0,001
Cobalto (Ma/Lco)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Max.0,05
Cromo Total (Ma/LCr)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Max.0,05
Zinco (Ma/LZn)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Máx.0,18
Manganês (Ma/LMn)	0,014	0,013	0,014	0,013	Max.0,1
Ferro Total (Ma/Lfe)	1,48	0,67	1,48	0,97	*
Glifosato µg/L)	<20,0	<0,20	<0,20	<0,20,0	Max. 20,0

M (montante), J (Jusante).

Em síntese, os teores de nitrogênio, TDS, cloreto, sódio, alcalinidade apresentaram valores altos à jusante, mostrando assim a interferência antrópica da cultura da cana-de-açúcar. Verifica-se tal fato também em relação aos valores de oxigênio dissolvido, na presença do fósforo, que, devido ao tipo do solo, poderia não ter sido registrado e apresentou-se em valores altos. Os teores de fosfato ultrapassaram os valores estabelecidos pela resolução 357 do CONAMA de março de 2005, principalmente no período chuvoso.

Tabela 6. Variação dos resultados das análises físico-químicas quanto a metais pesados e agrotóxicos dos pontos, no Córrego Limeira, no período seco e chuvoso.

CÓRREGO LIMEIRA					
VARIÁVEIS/Período Seco	**05/09/10 (M)**	**05/09/10 (J)**	**06/09/10 (M)**	**06/09/10 (J)**	**CONAMA**
Cobre (mg/LCu)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	*
Cádmio (mg/LCD)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	Máx.0,001
Cobalto (mg/LCo)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Máx.0,05
Cromo Total (mg/LCr)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Máx.0,05
Zinco (mg/LZn)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Máx.0,18
Manganês (mg/LMn)	0,034	<0,010	0,036	<0,010	Máx.0,1
Ferro Total (mg/LFe)	2,71	2,74	2,72	2,78	*
Glifosato µg/L)	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	Máx. 20,0
VARIÁVEIS/Período Chuvoso	**19/03/11(M)**	**19/03/11(J)**	**20/03/11(M)**	**20/03/11(J)**	**CONAMA**
Cobre (mg/LCu)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	*
Cádmio (mg/LCD)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	Máx.0,001
Cobalto (mg/LCo)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Máx.0,05
Cromo Total (mg/LCr)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Máx.0,05
Zinco (mg/LZn)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	Máx.0,18
Manganês (mg/LMn)	0,039	0,021	0,038	0,021	Máx.0,1
Ferro Total (mg/LFe)	2,87	4,55	2,86	4,54	*
Glifosato µg/L)	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	Máx. 20,0

M (montante), J (Jusante).

O parâmetro biológico, a clorofila-a, embora não detectada no período chuvoso, apresentou-se alterada no período seco, com valores em alguns pontos, quase se aproximando do estipulado pela resolução 357 do CONAMA de março de 2005. Outro importante parâmetro observado, quanto a sua alteração foi o ferro total, que apresentou em altas concentrações. Situação que também demonstra impacto na área, tanto em relação ao período chuvoso como no período seco.

CONCLUSÕES

O conhecimento do tipo de uso da terra fornece subsídios para o entendimento das consequências da atividade agrícola e dos impactos ambientais associados, neste caso em relação aos recursos hídricos. Assim, diante das análises dos dados e comparação de resultados com a resolução 357 do CONAMA de março de 2005, além

de outros trabalhos com mananciais sob uso agrícola, conclui-se que de modo geral, os córregos estudados, principalmente, nos trechos a jusante, onde há maior influência do tipo de uso, no caso o cultivo da cana-de-açúcar, apresentaram indícios de impactos negativos do uso agrícola. Tais alterações, contudo, não se caracterizam ainda como poluídos, mas certamente estão interferindo no desenvolvimento da fauna e flora aquáticas das sub-bacias dos Córregos Do Lajeado e Limeira.

Um ponto importante na discussão destes dados é a integração dos resultados com o manejo. Traços dos elementos utilizados encontram-se nos resultados das análises em valores superiores ao esperado, verifica-se isso claramente nos resultados do nitrogênio, fosfatos, TDS, alcalinidade, oxigênio dissolvido e cloretos, devido à sua constituição química. Outro impacto de grande relevância a ser considerado por contribuir com estes resultados é o assoreamento, bem observado nas altas concentrações de ferro total.

REFERÊNCIAS

ALLAN, J.D.; CASTILLO, M. M. *Strem Ecology*: Structure and function of running waters. London: Chapman; Hall, 2007. 436 p.

ALVES, E. C.; SILVA, C. F.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.; FILHO, E. E. S.; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Acta Amazônica, Manaus, vol. 42, nº1, p. 115 – 124, 2012.

ARAÚJO, S. F. Hidroquímica dos aqüíferos freáticos da bacia do Rio Jardim – DF**.** 2006. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; POZZA, S. A. *Qualidade de água*: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental. Rio Grande: FURG, 2001.

BERNER, E. K.; BERNER, R. A. *The Global Water Cycle*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1987.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e sub-metida às adubações mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p: 781-792, 2007.

BOYER, E. W.; GOODALE, C. L.; JAWORSK, N. A.; HOWARTH, R. W. Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the northeastern USA. *Biogeochemistry*, v. 57, p. 137-169, 2002.

CANASAT – Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra. Net. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/canasat/ > Acesso em: 23 ago. 2010.

CASTRO, S. S. de; ABDALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v.30, nº 1, p. 171-191, jan/jun. 2010.

CASTRO, S. S. de; BORGES, R. de O.; SILVA, R. A. A. da; BARBALHO, M. G. da S. Estudo da expansão da cana-de-açúcar no estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: II Fórum de C&T no Cerrado, 2007, Goiânia. Anais... Goiânia: SBPC, 2007. p. 9 – 17.

CETESB. Relatório de qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo 2006. São Paulo: CETESB, 2007.

CETESB. *Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem*. São Paulo: CETESB, 2009.

CLESCERI, L. S.; GEENBERG, A. E.; TRUSSEl, R. R. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20 ed. Public Health Association, American Water Environments Federation, 2003.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF, cap. 03, 2005.

CONTE, M. L.; LEOPOLDO, P. R. *Avaliação de recursos hídricos*: Rio Pardo, um exemplo. São Paulo: Unesp, 2001.

CORBI, J. J. Influência de práticas de manejo de solo sobre os macroinvertebrados aquáticos de córregos: ênfase para o cultivo de cana-de-açúcar em áreas adjacentes. 2006. 92 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2006.

EMGOPA - Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 1988.

ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de Limnologia*. 3.ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. 790 p.

FRANCO, R. A. M. Qualidade da água para irrigação na microbacia do córrego do Coqueiro no noroeste paulista. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Campus Ilha Solteira, 2008.

FRITZSONS, E. Avaliação do impacto da contaminação por nitrogênio na bacia hidrográfica cárstica de fervida/ Ribeirão das Onças-Colombo/PR. 1999. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 1999.

GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. Alguns aspectos da utilização do herbicida glicofosato na agricultura. São Paulo: ACADCOM, 2005. 60 p.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; LOURENÇO, S. Nutrient use efficiency in Brazilian acid soils: nutrient managemente and plant efficiency. In: MONIZ, A. C.; FULANI, A. M. C.; SHAFFERT, R. E.; FAGERIA, N. K.; ROSOLEM, C. A.; CANTARELLA, H. (Ed.). Plant-soil interactions at low pH: Sustainable agriculture and forestry production. Brasília: SBCS, 1997. 97-104 p.

GOMES, P. P. Variação espacial e temporal da comunidade fitoplanctônica da Lagoa Bonita**,** DF. 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, 2007.

GRABOW, W. *Waterborne diseases*: update on water quality assessment and control. Washington: *Water S.A.* v. 22, n. 2, 1996. 193-202 p.

HEM, J. D. Study and interpretation of the chemical charactristics of natural waters. 3.ed USGS: *Water Supply paper* n. 2254, 1986. 263 p.

HERNANDEZ, F. B. T.; PERTINARI, R. A. Qualidade de água para irrigação localizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1988, Poços de Caldas. Anais... Poços de Caldas, 1998. CD-ROM.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases cartográficas 1:100.000 com base nos dados do CENSO 2007. SIG-Goiás. Net. Superintendência de Geologia e Mineração. Disponível em http://www.sieg.go.gov.br/ Acesso em 17 de jun. 2012.

JÚNIOR, F. P. P. Bioindicadores de qualidade do solo em cultivos de cana-de-açúcar sob diferentes manejos. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, 2012.

KIRA, T.; SAZANAMI, H. Utilização dos recursos hídricos e problemas de gerenciamento de lagos. In: HISHIMOTO, M. (Ed.) *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*: aspectos sócio-econômicos do gerenciamento de lagos, vol. 3. São Carlos: ILEC/UNEP/PNUMA, 1995.

KÕPPEN, W. Klassifications dês klimate nach temperatur, niedershlag und jahrelauf. *Petermans Geographische Mitteilungem*, Goth, v. 64, p. 193-203, 1918.

LATRUBESSE, M. E.; CARVALHO, M. T. Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Secretaria da Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia, 2006.

LUCAS, A. T.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. In: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB, v.14, n.9, p.937–943, 2010.

MACEDO, J. A. B. de. *Águas e Águas.* 3ª ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2007. 1027 p.

MACÊDO, J. A. B. de. *Introdução à química ambiental*: química & meio ambiente & sociedade. 2 ed. Minas Gerais: CRQ, 2006.

MANAHAN, S. E. *Environmental Chemistry*. 8 ed. Boca Raton: CRC Press, 2005. 816 p.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. *Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55p.

MELO, L. C. *Reuso de águas dos lagos urbanos*: estudo de Caso lago do Ibirapuera, São Paulo/**SP**. São Paulo: CEETEPS, 2005.

MENDONÇA, F.; MARQUES, G. S. Degradação ambiental e qualidade da água em Bacia Hidrográfica de Abastecimento Público: Rio Timbú – PR. Universidade Federal da Grande Dourados, MS. Entre-Lugar, Dourados, ano 2, n. 3, p. 111-136. 2011.

MOLINA, A. J.; JUNIOR, G. C.; NETO, M. C. S. Redução dos Impactos produzidos pela poluição e contaminação do rio Paraitinga através do monitoramento ambiental. In: *Revista SANEAS*. n. 34, 34-41 p. jul/ago/set., 2009.

NOVAES, A. S. S.; AMARAL FILHO, Z. P.; VIEIRA, P. C.; FRAGA, A. G. C. Levantamento Exploratório dos Solos. In: Projeto RADAMBRASIL, Folha SE.22, Goiânia: Rio de Janeiro, 1983.

OLIVEIRA, C. B. Zooplâncton em córregos sob diferentes usos da terra na bacia do Rio Preto (Distrito Federal e Goiás). 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, área Ecologia) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PELÁEZ-RODRIGUES, M.; PERIET, A. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. Análise da qualidade da água e aplicação do Índice de Proteção da Vida Aquática (IVA) em duas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Jacaré-guaçu. In: ESPINDOLA, E. L. G.; PASCHOAL, C. M. R. B.; ROCHA, O.; BOHER, M. B. C.; NETO, A. L. O. (Ed). *Ecotoxicologia*: perspectivas para o século XXI. São Carlos: Rima, 2000. p. 95-145.

PINATTI, E. Atividade pecuária no Pólo Noroeste Paulista. Instituto de Economia Agrícola - IEA. Net, São Paulo, Nov. 2011. Instituto de Economia Agrícola. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2011.

POLETO, C.; CARVALHO,S. L.; MATSUMOTO, T. Avaliação da qualidade da água de uma microbacia hidrográfica no município de Ilha Solteira (SP). UNESP, Rio Claro, SP, *Holos Envioronment*, v. 10 nº 1, p. 96, 2010.

PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. *Manejo e Conservação do Solo e da Água no contexto das Mudanças Ambientais*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 486 p., 2010.

RIBEIRO, E. V.; JUNIOR, A. P. M.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M. Metais Pesados e Qualidade da água do Rio São Francisco no Segmento entre Três Marias e

Pirapora – MG: Índice de Contaminação. Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, MG. Genomos**.** V 20, nº1, p. 49-63, 2012.

RICHTER, C. A.; NETO, J. M. A**.** *Tratamento de água*: tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

RODRIGUES JUNIOR, F. Diagnóstico da Influência de atividades Antrópicas na Qualidade da água do córrego Gavanhery no Município de Getulina – SP. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2008.

SANT'ANA, G. R. S.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S.; CASTRO, S. S.; SANTO, F. C. V. Impactos físico-químicos, bioquímicos e microbiológicos em áreas de um Latossolo Vermelho e Vermelho-amarelo sob cultivo de cana-de-açúcar com diferentes tipos de manejo na microrregião de Quirinópolis (GO). In: WORKSHOP ON QUANTIFYING AND MANAGING LAND USE EFFECTS OF BIOENERGY, 1., 2011, Campinas. *Anais*… Campinas, 2011. CD-ROM.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, São Paulo, v.4, n.3, p.142-149, 2010.

SILVA, A. A.; MIZIARA, F. A expansão da fronteira agrícola em Goiás e a localização das usinas de cana-de-açúcar. *Revista Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 399-407, jul/set. 2011.

SILVA, J. S. O. Características químicas da água de córregos do Distrito Federal sob diferentes usos e cobertura do solo. 2008. 153 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SILVA, M. A.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. Universidade Federal de Campina Grande, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.11, n.1, p.108–114, 2007.

SILVA, N. T. C. Macroinvertebrados bentônicos em áreas com diferentes graus de preservação ambiental na Bacia do Ribeirão Mestre d'Armas, DF. 2007. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SOUZA, H.M.; NUNES, J.R.S. Avaliação dos parâmetrosfísico-químicos e bacteriológicos do córrego Figueira pertencente à microbacia do Queima Pé de Tangará da Serra-MT. *Revista Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 2, p. 110-124, 2008.

SPERLING, M.V. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

STRAHLER, H. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Amer. Geophys. Union Trans*. 33: 913-920. 1957.

TUNDISI, J. G**.** *Água no século XXI*: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, IIE, 2003.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T**.** *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 14, n.1, p.55-64. 2010.

VELHO, L. F. M.; LANSAC-TÔHA, F.A.; BONECKER, C.C; BINI, L. M.; ROSSA, D. C. The longitudinal distribuition of copepods in Corumb' a Reservoir, State of Goiás, Brazil. *Hydrobiologia*. v. 453/454, p. 385-391. 2001.

WETZEL, R. G.; LINKENS, G. E. *Limnological Analyses*. 2. ed. New York: Springer-Velag, 391 p. 1991.

2.2. SÍNTESE DOS RESULTADOS APRESENTADOS NOS ARTIGOS

Os resultados do primeiro artigo mostraram que os diferentes sistemas de manejo na área com cultura provocaram alterações nos atributos químicos. A principal se refere à disponibilidade de fósforo que apresentou maior concentração decorrente do manejo anterior com soja e do atual com cana não fertirrigada, associada à aplicação de insumos orgânicos e químicos. Os perfis fertirrigados não apresentaram nenhuma melhora no solo, embora seja necessário ressaltar que receberam apenas uma aplicação de vinhaça até o momento da coleta das amostras. Verificou-se também, a importância da adoção de sistemas de manejo com aumento de carbono orgânico para melhorar a qualidade do solo.

No segundo artigo, a biomassa microbiana foi identificada como um bioindicador sensível para a avaliação da qualidade do solo. Os perfis com sucessão de culturas no manejo anterior à cana mostraram melhor condição físico-química para o equilíbrio da biomassa do solo. Os perfis com vinhaça não apresentaram nenhuma melhoria para o desenvolvimento dos microrganismos no solo, tampouco melhores condições químicas.

No terceiro artigo, o LVd apresentou melhores condições de desenvolvimento para os organismos edáficos do que o LVdf. A sucessão de culturas favoreceu o aumento da abundância de indivíduos e o aumento do número de colêmbolos. Porém, as áreas fertirrigadas com vinhaça apresentaram menor quantidade de fauna edáfica, que as demais, fato atribuído à modificação da estrutura do habitat e dos recursos alimentares. O perfil com uso anterior soja apresentou maior abundância de fauna edáfica.

No quarto artigo, os córregos estudados, principalmente, nos trechos a jusante, onde há maior influência do tipo de uso, no caso o cultivo da cana-de-açúcar, apresentaram indícios de impactos negativos do uso agrícola relacionados. Nesse aspecto, traços de elementos utilizados nos manejos da cultura foram encontrados, com valores superiores nos resultados do nitrogênio, fosfatos, TDS, alcalinidade, oxigênio dissolvido e cloretos. Outro impacto de grande relevância foi a alta concentração de Ferro total, constatando assim, o assoreamento nos mananciais.

Correlacionando os artigos, pode-se concluir que os usos anteriores, em particular a soja e a sucessão, tanto no LVdf, como no LVd contribuíram para a melhora das condições de qualidade dos solos e águas, bem como de suas biotas, do que a cana-de-açúcar. Mesmo assim, tais condições são muito distantes daquelas dos perfis de referência sob vegetação natural, logo os usos anteriores promoveram mudanças nas

biotas, sobretudo na abundância e biodiversidade, mas a cana não as recuperou, ao contrário, os ambientes apresentaram condições mais estressantes ao solo e água. Os mananciais com cobertura vegetal nativa na mata ciliar foram aqueles com melhor qualidade da água e sem a influência direta do manejo.

CONCLUSÕES FINAIS

O cultivo da cana-de-açúcar tem se destacado pela grande expansão nos últimos anos, em diversas regiões do País, principalmente em estados da região Centro-Oeste do Brasil, dentre os quais Goiás se destaca, o que tem mudado o perfil da produção agropecuária destes locais. Em Goiás, estado onde domina o Cerrado, a cultura da cana-de-açúcar começou a expandir a partir do final da década de 90 e se intensificou mais ainda no início do presente século, motivada em grande parte pela grande busca de mudanças na matriz energética global.

O zoneamento agroecológico realizado pelo CTC (2009) mostra as classes de aptidão agrícola do estado de Goiás, para o cultivo de cana-de-açúcar, por tipos de uso de solo, na qual a microrregião de Quirinópolis (MRQ) está inserida. A economia da região, desde 1960, teve como base a agropecuária, com o cultivo de grãos e de pastagens, sendo estas dominantes.

Contudo, a partir de 2004, a atividade agroindustrial encontra-se em intenso desenvolvimento na região relacionada à chegada e expansão da cana-de-açúcar. Assim, a paisagem dos municípios da MRQ começou a se modificar nos últimos anos, onde os produtos rurais viram na cana uma nova possibilidade de produção e renda. Mesmo com o fim da crise (soja) e com a alta do preço das *commodities*, a cultura da cana-de-açúcar mostra que veio para ficar e divide espaço com outras lavouras e com áreas de pastagens.

As práticas agrícolas resultantes da atividade canavieira determinam as características bióticas e abióticas dos solos e mananciais sob a influência dos diferentes tipos de manejo utilizados na cultura, neste caso se com ou sem fertirrigação com vinhaça. Neste cenário, a contribuição desta pesquisa, centrada na obtenção de indicadores biológicos e físico-químicos sensíveis a qualidade da água e dos solos, contribuíram para fornecer subsídios à implantação de modelos de sistemas produtivos mais sustentáveis para a expansão canavieira recente em Quirinópolis, Goiás.

Assim, os resultados obtidos quanto aos atributos químicos dos Latossolos Vermelhos distroférrico e distrófico cultivados com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos, mostraram que os diferentes sistemas de manejo provocaram alterações nos atributos químicos, em particular quanto à disponibilidade de fósforo que apresentou maior concentração atribuída aos manejos anteriores, como a soja e atual como a cana não fertirrigada, devido à aplicação de insumos orgânicos e químicos nos manejos anteriores. Os perfis fertirrigados com vinhaça não apresentaram melhora alguma no solo, porém constatou-se que apenas uma aplicação fora feita até a coleta das amostras desta pesquisa. Verificou-se também, a importância da adoção de sistemas de manejo com aumento de carbono orgânico para melhorar a qualidade do solo.

Quanto aos atributos microbiológicos dos referidos solos, a biomassa microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar, por responder às alterações causadas pelos dois diferentes tipos de manejo, fertirrigado e não fertirrigado pode ser considerada um bioindicador sensível, para a avaliação da qualidade do solo. Revelaram que os perfis submetidos a uma sucessão de culturas antes do plantio da cana-de-açúcar favoreceram a manutenção da comunidade de microrganismos do solo, em comparação com outros manejos. O perfil com manejo anterior soja, no LVdf, foi o que mostrou melhor condição físico-química para o equilíbrio da biomassa do solo. Os perfis com vinhaça não apresentaram melhoria para o desenvolvimento dos microrganismos no solo, tampouco melhores condições físico-químicas.

No que se refere à fauna edáfica desses solos, o LVd apresentou melhores condições de desenvolvimento para os organismos edáficos e a sucessão de culturas favoreceu o aumento da abundância de indivíduos e o aumento do número de colêmbolos. Vale ressaltar que as áreas fertirrigadas com vinhaça apresentaram menor quantidade de fauna edáfica que as demais, fato atribuído à modificação da estrutura do habitat e dos recursos alimentares. Os perfis com uso anteriores soja apresentaram maior abundância de fauna edáfica, relacionada à alteração do ciclo biogeoquímico de alguns elementos, como o fósforo, pois a adição de fertilizantes (N e P), nos usos anteriores altera o desenvolvimento dos organismos edáficos.

Por fim, quanto aos aspectos físico-químicos dos córregos Limeira e do Lajeado em área de cultivo de cana-de-açúcar, os trechos a jusante, onde há maior influência do tipo de uso, no caso o cultivo da cana-de-açúcar, apresentaram indícios de impactos negativos do uso agrícola, como traços de elementos utilizados nos manejos da cultura

com valores superiores nos resultados do nitrogênio, fosfatos, TDS, alcalinidade, oxigênio dissolvido e cloretos, suficiente para induzir mudanças na biota aquática.

Outro impacto de grande relevância foi à alta concentração de ferro total, que indica assoreamento nos mananciais. Integrando todos esses resultados encontrados na pesquisa, pode-se concluir que o estudo das práticas dos manejos anteriores revelou-se de extrema importância para a análise das características dos fatores bióticos e abióticos do uso e manejo atual da cana-de-açúcar nos solos estudados.

As práticas de manejo que mais se destacaram para a melhoria da qualidade do solo foram os sistemas de sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada e soja/cana não fertirrigada tanto no LVdf, como no LVd. Outro ponto a destacar foi à presença da palha na cobertura do solo, que se mostrou mais eficiente do que a vinhaça. As áreas com vinhaça não apresentaram melhora na qualidade do solo, apenas no horizonte A que apresentou condições estressantes no ambiente.

Os melhores indicadores biológicos e físico-químicos identificados no solo foram: a biomassa microbiana e seus derivados (qCO_2, qMIC, C-CO_2 e quantidade de microrganismos); a quantidade de matéria orgânica; e a disponibilidade de fósforo.

A água dos córregos situados a montante e que ainda possuem mata ciliar preservada, apresentaram uma melhor qualidade, quando comparado com o proposto pelo CONAMA 357, quanto aos seus aspectos físico-químicos. A jusante, onde há maior influência do tipo de uso, no caso a cana-de-açúcar, indicaram situações de estresse ambiental. Assim, o ferro total, nitrogênio, fosfatos, TDS, alcalinidade, oxigênio dissolvido e cloretos se mostraram bons indicadores físico-químicos sensíveis à qualidade da água.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que as diferentes práticas agrícolas influenciam diretamente na dinâmica do solo e da água, podendo modificar os parâmetros físico-químicos e biológicos do ambiente estudado. Quanto mais dinâmico o manejo do solo, como ocorre na sucessão, mais complexas as interações bióticas, maior a probabilidade de resultar propriedades emergentes importantes na regulação do solo e se aproximar das condições naturais.

O mesmo se aplica à água, em que mananciais mais protegidos com sua vegetação ciliar melhoram a qualidade da água, pois as diferentes práticas de manejo, com a entrada de diversos elementos no meio aquático, interferem nas atividades biológicas e, consequentemente, no meio biótico, trazendo problemas ao equilíbrio do ecossistema.

Em fim, considerando que, a cultura de cana-de-açúcar deste estudo encontra-se no 4º corte e somente com uma aplicação de vinhaça conclui-se:

1) Os solos com manejo anteriores soja e sucessão apresentaram melhores condições para a melhora da qualidade do solo, em todos os aspectos, tanto físico-químicos, como da biota para microrganismos e fauna edáfica.
2) A presença de palha no solo, teve um efeito mais importante, para a abundância de fauna edáfica, do que a vinhaça.
3) Os solos com vinhaça não apresentaram melhoria e sim modificaram os parâmetros químicos do solo no horizonte A e apresentaram menor quantidade de fauna edáfica, em relação aos outros manejos.
4) Os manejos anteriores com pasto apresentaram boas condições para a melhora da qualidade do solo nos horizontes Bw_1 e Bw_2.
5) Em relação ao tipo de solo, o LVdf apresentou melhores condições físico-químicas para o equilíbrio dinâmico da biomassa e o LVd apresentou melhores condições de desenvolvimento para os organismos edáficos.
6) Os córregos estudados apresentaram melhores condições na qualidade da água, a montante e a jusante apresentaram indícios de alterações no ecossistema.
7) As altas concentrações de Fe, constatadas nos mananciais indicaram assoreamento e processo erosivo.
8) Os tipos de manejo anteriores e atuais interferem ainda hoje na qualidade do solo e da água.