

BELQUIOR SCALZER CARLINI

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO E RECONHECIMENTO
PEDOLÓGICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE AMBIENTES NA
SUB-BACIA DO RIO PACUÍ, SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

C282u
2013

Carlini, Belquior Scalzer, 1985-

Uso de sensoriamento remoto e reconhecimento pedológico para identificação de ambientes na sub-bacia do rio Pacuí, submédio São Francisco / Belquior Scalzer Carlini. – Viçosa, MG, 2013.

xxi, 168f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Luiz Eduardo Dias.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.164-168.

1. Levantamentos de solo. 2. Fotografia aérea em levantamentos do solo. 3. Sensoriamento remoto. 4. Recuperação ambiental. 5. Conservação ambiental. 6. Solo - Uso. 7. Plantas - Classificação. 8. Pacuí, Rio, Bacia. 9. São Francisco, Rio, Bacia. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22 ed. 631.4

BELQUIOR SCALZER CARLINI

**USO DE SENSORIAMENTO REMOTO E RECONHECIMENTO
PEDOLÓGICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE AMBIENTES NA
SUB-BACIA DO RIO PACUÍ, SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

APROVADA: 26 de março de 2013.

Nilcilene das Graças Medeiros

Ricardo Seixas Brites

Igor Rodrigues de Assis
(Coorientador)

Luiz Eduardo Dias
(Orientador)

*Aos meus pais, Antonio e Antonia;
À minha esposa, Nataly;
E às minhas avós, Emília e Rosalina,*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pelas graças e pelos ensinamentos.

Aos Professores, Funcionários e Estudantes do Departamento de Solos que me acolheram e estiveram sempre prontos a auxiliar.

Ao meu Orientador e meus Coorientadores que suportaram minhas dificuldades de comunicação e expressão e se dispuseram a contribuir sempre.

Aos estagiários que estiveram dispostos a qualquer tempo.

À Universidade Federal de Viçosa pela excelência e por me acolher novamente.

À Codevasf e aos colegas de trabalho pela oportunidade, pelo apoio e pela confiança.

À CAPES pela bolsa de estudos.

Aos meus amados pais Antonio e Antonia que sempre me incentivaram aos estudos e se sacrificaram diversas vezes para isto.

À minha linda e amada esposa Nataly que suportou tanta ausência e me apoiou intensamente.

À família Pignaton pelo incentivo e apoio aos estudos.

Aos amigos de Juazeiro, em especial Leosmar, Priscila, Wellington, Josete e Edneuma pelos grandes auxílios com diversos problemas.

Aos amigos das repúblicas em que morei em Viçosa pela acolhida.

Aos moradores do vale do Pacuí: Rivaldo, Pedro e Arivelton, que auxiliaram com informações e suor nos trabalhos de campo.

BIOGRAFIA

BELQUIOR SCALZER CARLINI, filho de Antonio Luiz Carlini e Antonia Rita Scalzer Carlini, nasceu no dia 29 de abril de 1985 em Santa Teresa - ES.

Concluiu graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa em janeiro de 2009. Desde março de 2009 é Analista em Desenvolvimento Regional da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba, lotado na 6ª Superintendência Regional em Juazeiro - BA. Em março de 2011 ingressou no curso de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa, defendendo sua dissertação em março de 2013.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xix
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVO GERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	3
Localização.....	3
Demografia	3
Relevo e Hidrografia	3
Solos e Geologia	9
Clima	13
Vegetação	16
Economia	17
Habitação e Saneamento Básico.....	18
CAPÍTULO I	19
SELEÇÃO DE COMBINAÇÕES DE BANDAS PARA UTILIZAÇÃO DE IMAGENS TM/LANDSAT-5 PARA MAPEAMENTO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ	19
1. INTRODUÇÃO.....	19
Sensor TM/Landsat-5	20
NDVI.....	21
Componentes Principais	22
Classificação Temática Supervisionada.....	23
Avaliação das Classificações Temáticas	24
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4. CONCLUSÕES.....	55
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	55

CAPÍTULO II	57
ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ UTILIZANDO CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA E SUBTRAÇÃO DE NDVIS A PARTIR DE IMAGENS TM/LANDSAT-5	57
1. INTRODUÇÃO.....	57
2. MATERIAIS E MÉTODOS	58
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
Classificação Temática Supervisionada.....	63
Logo, em 2011, a área medida como agricultura se aproxima mais da realidade de áreas exploradas para fins agrícolas, seja com culturas perenes ou anuais.	75
Subtração de NDVis	75
4. CONCLUSÕES.....	90
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	90
CAPÍTULO III	92
SOLOS, AMBIENTES ASSOCIADOS, USOS PRATICADOS E RISCOS AMBIENTAIS PARA A SUB-BACIA DO RIO PACUÍ	92
1. INTRODUÇÃO.....	92
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	93
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	96
Solos encontrados e suas classificações de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006):	96
Perfil 01	96
Perfil 02	100
Perfil 03	104
Perfil 04	108
Perfil 05	111
Perfil 06	115
Perfil 07	119
Perfil 08	123
Perfil 09	127
Perfil 10	130
Perfil 11	134
Curvas Características de Retenção de Água nos Solos	139

Ambientes Encontrados na Sub-bacia do Rio Pacuí	139
Ambiente 1: <i>Neossolos Litólicos Eutróficos em relevo fortemente ondulado e montanhoso sobre rochas calcárias e originalmente sob Caatinga Densa</i>	139
Ambiente 2: <i>Cambissolos Háplicos Tb Distróficos sobre arenito em relevo suave ondulado e originalmente sob Caatinga Densa com Palmeiras</i>	142
Ambiente 3: <i>Latossolos Vermelho-Amarelos Tb Distróficos sobre arenito em planalto com relevo suave ondulado e sob Cerrado ou Caatinga Arbustiva Densa</i>	144
Ambiente 4: <i>Neossolos Litólicos Distróficos sobre arenito em relevo fortemente ondulado a montanhoso sob Cerrado ou Caatinga Densa</i>	145
Ambiente 5: <i>Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos sob influência sazonal de rio intermitente em relevo plano e originalmente sob vegetação ciliar de caatinga</i>	147
Ambiente 6: <i>Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico sobre coberturas detríticas em relevo plano a suave ondulado sob Caatinga Arbustiva Aberta</i>	149
Ambiente 7: <i>Cambissolos Háplicos Tb Eutróficos latossólicos sobre rochas calcárias em relevo plano e suave ondulado originalmente sob Caatinga Densa</i>	150
Ambiente 8: <i>Cambissolo Háplico Tb Eutrófico léptico sobre rocha calcária em relevo suave ondulado originalmente sob Caatinga Densa</i>	153
Ambiente 9: <i>Cambissolo Háplico Carbonático saprolítico sobre siltito em relevo ondulado a montanhoso originalmente sob Caatinga Densa e Caatinga Aberta</i> ...	155
Ambiente 10: <i>Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico sobre coberturas detríticas em relevo plano a suave ondulado sob Caatinga Aberta</i>	158
4. CONCLUSÕES.....	160
CONCLUSÕES GERAIS	162
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	164

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DE CAMPO FORMOSO E DA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ EM RELAÇÃO À BAHIA, AO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO BAIANO E À BACIA DO RIO SALITRE...	3
FIGURA 2: DIVISÃO TOPOGRÁFICA DA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ.....	4
FIGURA 3: MAPA FÍSICO DA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ	7
FIGURA 4: MAPA DE DECLIVIDADE DA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ	8
FIGURA 5: MAPA DE SOLOS DA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ SEGUNDO RADAMBRASIL (1983).....	11
FIGURA 6: MAPA GEOLÓGICO DA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ SEGUNDO RADAMBRASIL (1983).....	12
FIGURA 7: PLUVIOSIDADE MÉDIA MENSAL EM ABREUS, CAMPO FORMOSO - BA.	14
FIGURA 8: MÉDIA MENSAL DE DIAS COM CHUVA EM ABREUS, CAMPO FORMOSO - BA....	14
FIGURA 9: PLUVIOSIDADE MÉDIA MENSAL EM LAJES DOS NEGROS, CAMPO FORMOSO - BA.	15
FIGURA 10: MÉDIA MENSAL DE DIAS COM CHUVA EM LAJES DOS NEGROS, CAMPO FORMOSO/BA. FONTE: ANA (2013).....	15
FIGURA 11: IMAGENS GEOEYE DE 2010 UTILIZADAS EM AUXÍLIO DO TREINAMENTO E VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA.....	27
FIGURA 12: IMAGEM TM/LANDSAT 5 DE 2011 UTILIZADA NAS ANÁLISES	29
FIGURA 13: IMAGEM ILUSTRANDO UMA REGIÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO AGRICULTURA (NESTE CASO CULTIVO DE SISAL) (AUTOR: IGOR RODRIGUES DE ASSIS, 2012).....	31
FIGURA 14: IMAGEM ILUSTRANDO UMA REGIÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO CAATINGA ABERTA.....	32
FIGURA 15: IMAGEM ILUSTRANDO UMA REGIÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO CAATINGA Densa	33

FIGURA 16: IMAGEM ILUSTRANDO UMA REGIÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO CAATINGA PARQUE	34
FIGURA 17: IMAGEM ILUSTRANDO UMA REGIÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO AFLORAMENTO DE ROCHA CALCÁRIA.....	35
FIGURA 18: IMAGEM ILUSTRANDO UMA REGIÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO PASTAGEM.....	36
FIGURA 19: IMAGEM ILUSTRANDO UMA REGIÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO CAMPO RUPESTRE.....	37
FIGURA 20: NUVENS E SOMBRA DE NUVENS EM DETALHE DE IMAGEM TM/LANDSAT 5 DE 2011 CORRESPONDENTES A REGIÕES DAS CLASSES DE INFORMAÇÃO NUVEM E SOMBRA RESPECTIVAMENTE.....	38
FIGURA 21: IMAGEM ILUSTRANDO UMA REGIÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO CERRADO	39
FIGURA 22: IMAGEM ILUSTRANDO UMA REGIÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO SOLO EXPOSTO	40
FIGURA 23: DETALHE DE IMAGEM TM/LANDSAT 5 ILUSTRANDO UMA REGIÃO COM SOMBRA DE ENCOSTAS CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO SOMBRA.....	41
FIGURA 24: IMAGEM ILUSTRANDO UMA REGIÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE INFORMAÇÃO VEGETAÇÃO CILIAR (AUTOR: J. M. FARIA, 2007).....	42
FIGURA 25: AMOSTRAS DE TREINAMENTO UTILIZADAS PARA CLASSIFICAR IMAGEM TM/LANDSAT 5 DE 2011 RECORTADA COM BUFFER DE 5 KM DO DIVISOR TOPOGRÁFICO.....	43
FIGURA 26: CLASSIFICAÇÃO DA COMBINAÇÃO DE BANDAS POR KAPPA OBTIDO	45
FIGURA 27: DISPERSÃO DE VALORES DE KAPPA POR NÚMERO DE BANDAS NAS COMBINAÇÕES.....	48
FIGURA 28: VALORES DE KAPPA MÉDIO PARA AS COMBINAÇÕES EM QUE DETERMINADA BANDA É UTILIZADA	49
FIGURA 29: VALORES DE KAPPA MÉDIO PARA AS 100 MELHORES COMBINAÇÕES EM QUE DETERMINADA BANDA É UTILIZADA	50

FIGURA 30: VALORES DE KAPPA MÉDIO PARA AS COMBINAÇÕES EM QUE DETERMINADA BANDA É UTILIZADA, DENTRE AS 361 MELHORES	50
FIGURA 31: VALORES DE KAPPA MÉDIO PARA AS COMBINAÇÕES EM QUE APENAS DETERMINADO GRUPO DE BANDAS É UTILIZADO, EXCETUANDO-SE AS DE APENAS UMA BANDA (BD: BANDAS NATURAIS DO SENSOR TM; ND: ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA; PC: COMPONENTES PRINCIPAIS; P1: COMPONENTE PRINCIPAL 1; P2: COMPONENTE PRINCIPAL 2; P3: COMPONENTE PRINCIPAL 3; IV: BANDAS NATURAIS DO INFRAVERMELHO; VIS: BANDAS NATURAIS DO VISÍVEL).....	51
FIGURA 32: TAXA DE OCORRÊNCIA DE DETERMINADA BANDA DENTRO DAS COMBINAÇÕES COM ÍNDICES KAPPA MODERADOS E BAIXOS (158)	53
FIGURA 33: TAXA DE OCORRÊNCIA DE DETERMINADA BANDA DENTRE AS COMBINAÇÕES QUE CONSEGUIRAM ÍNDICES KAPPA ACIMA DE 0,90.....	54
FIGURA 34: AVALIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ EM TRÊS DIFERENTES MOMENTOS DAS DUAS ÚLTIMAS DÉCADAS	64
FIGURA 35: ÁREA SEVERAMENTE ANTROPORIZADA EM TRÊS DIFERENTES ANOS, POR SETOR TOPOGRÁFICO	66
FIGURA 36: PERCENTUAL DE ÁREAS SEVERAMENTE ANTROPORIZADAS EM RELAÇÃO AO ANO DE 1992, POR SETOR TOPOGRÁFICO.....	67
FIGURA 37: OCORRÊNCIA DAS DIVERSAS CLASSES TEMÁTICAS POR DOMÍNIO TOPOGRÁFICO EM 1992	68
FIGURA 38: OCORRÊNCIA DAS DIVERSAS CLASSES TEMÁTICAS POR DOMÍNIO TOPOGRÁFICO EM 2001	69
FIGURA 39: OCORRÊNCIA DAS DIVERSAS CLASSES TEMÁTICAS POR DOMÍNIO TOPOGRÁFICO EM 2011	70
FIGURA 40: RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGEM TM/LANDSAT 5 DE 1992.....	71
FIGURA 41: RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGEM TM/LANDSAT 5 DE 2001.....	72

FIGURA 42: RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGEM TM/LANDSAT 5 DE 2011	73
FIGURA 43: NDVI PARA A IMAGEM TM/LANDSAT 5 DE AGOSTO DE 1992	83
FIGURA 44: NDVI PARA A IMAGEM TM/LANDSAT 5 DE MAIO DE 2001	84
FIGURA 45: NDVI PARA A IMAGEM TM/LANDSAT 5 DE OUTUBRO DE 2001	85
FIGURA 46: NDVI PARA A IMAGEM TM/LANDSAT 5 DE JUNHO DE 2011	86
FIGURA 47: RESULTADO DA ANÁLISE DE DESMATAMENTO UTILIZANDO-SE O MÉTODO DE SUBTRAÇÃO DE IMAGENS NDVI DOS ANOS DE 1992 E 2001	87
FIGURA 48: RESULTADO DA ANÁLISE DE DESMATAMENTO POR MEIO DA SUBTRAÇÃO DE IMAGENS NDVI DOS ANOS DE 2001 E 2011	88
FIGURA 49: RESULTADO DA ANÁLISE DE DESMATAMENTO POR MEIO DA SUBTRAÇÃO DE IMAGENS NDVI DOS ANOS DE 1992 E 2011	89
FIGURA 50: PERFIL 1 – NEOSSOLO LITÓLICO EUTRÓFICO TÍPICO SOB PASTAGEM DEGRADADA EM RELEVO MONTANHOSO	99
FIGURA 51: PERFIL 2 – CAMBISSOLO HÁPLICO TB DISTRÓFICO LATOSSÓLICO SOB CAATINGA PARQUE COM PALMEIRAS EM RELEVO PLANO A SUAVE ONDULADO.....	103
FIGURA 52: PERFIL 3 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO TÍPICO SOB CAATINGA ARBUSTIVA Densa COM PALMEIRAS	107
FIGURA 53: PERFIL 4 – NEOSSOLO LITÓLICO DISTRÓFICO TÍPICO SOB CERRADO EM RELEVO FORTE ONDULADO.....	110
FIGURA 54: PERFIL 5 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO HIDROMÓRFICO TÍPICO SOB CAATINGA DE VÁRZEA INTERMITENTE – TRANSIÇÃO CAMBISSOLO (AVERMELHADO) PARA NEOSSOLO (ACINZENTADO) EM VÁRZEA.....	114
FIGURA 55: PERFIL 6 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO TÍPICO SOB CAATINGA ABERTA EM RELEVO PLANO	118
FIGURA 56: PERFIL 7 – CAMBISSOLO HÁPLICO TB EUTRÓFICO LATOSSÓLICO SOB CAATINGA Densa EM RELEVO PLANO A SUAVE ONDULADO	122

FIGURA 57: PERFIL 8 - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb EUTRÓFICO LÉPTICO SOB SOLO EXPOSTO EM RELEVO PLANO A SUAVE ONDULADO.....	126
FIGURA 58: PERFIL 9 – CAMBISSOLO HÁPLICO CARBONÁTICO SAPROLÍTICO SOB CAATINGA PARQUE EM RELEVO ONDULADO.....	129
FIGURA 59: PERFIL 10 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb EUTRÓFICO LATOSSÓLICO SOB CAATINGA PARQUE EM RELEVO PLANO	133
FIGURA 60: PERFIL 11 – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO LATOSSÓLICO SOB CAATINGA ABERTA EM RELEVO PLANO	137
FIGURA 61: DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS ENCONTRADAS NA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ.....	138
FIGURA 62: CURVAS CARACTERÍSTICAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA PARA HORIZONTES B OU, NA AUSÊNCIA DESTES, A – NUMERAÇÃO DOS SOLOS CORRESPONDENTE AO RESPECTIVO PERFIL	139
FIGURA 63: AMBIENTE 1 EM RELEVO ONDULADO.....	140
FIGURA 64: AMBIENTE 1 EM RELEVO FORTE ONDULADO	141
FIGURA 65: ASPECTO ATUAL DO AMBIENTE 2	143
FIGURA 66: IMPACTOS ATUAIS SOBRE O AMBIENTE 3	145
FIGURA 67: ANTROPIZAÇÃO DO AMBIENTE 4	146
FIGURA 68: EXPLORAÇÃO DE AREIA NO AMBIENTE 5	148
FIGURA 69: ASPECTO DO AMBIENTE 6	150
FIGURA 70: AMBIENTE 7 NO LIMITE COM AMBIENTE 1 – PASTAGEM DEGRADADA	152
FIGURA 71: CULTIVO DE SISAL NO AMBIENTE 7.....	153
FIGURA 72: CULTIVO DE SISAL NO AMBIENTE 8.....	154
FIGURA 73: DETALHE DE IMAGEM GEOEYE DA ÁREA CORRESPONDENTE AO AMBIENTE 9 (VALE AMPLO CENTAL)	156
FIGURA 74: PROCESSOS EROSIVOS INTENSOS NO AMBIENTE 9	157

FIGURA 75: ASPECTOS DA VEGETAÇÃO E DO SOLO NO AMBIENTE 10	159
FIGURA 76: PROCESSO EROSIVO DE GRANDES PROPORÇÕES NO AMBIENTE 10	160

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: BANDAS E FAIXAS ESPECTRAIS DO LANDSAT TM.....	21
TABELA 2: NÚMERO DE COMBINAÇÕES POR INTERVALOS DE ÍNDICE KAPPA	44
TABELA 3: TAXA DE OCORRÊNCIA (%) DAS COMBINAÇÕES POSSÍVEIS PARA DETERMINADA BANDA DENTRE AS 361 MELHORES	46
TABELA 4: OCORRÊNCIA DE COMBINAÇÕES COM CERTA BANDA DENTRO DAS MELHORES RESULTADOS.....	46
TABELA 5: OCORRÊNCIA DE COMBINAÇÕES COM “N” BANDAS DENTRE AS “X” MELHORES COMBINAÇÕES.....	47
TABELA 6: PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DOS NDVIS.....	62
TABELA 7: ÁREAS E PERCENTUAIS DE CLASSES TEMÁTICAS PARA A SUB-BACIA DO RIO PACUÍ EM DIFERENTES ANOS.....	63
TABELA 8: EVOLUÇÃO DA ANTROPIZAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ.....	65
TABELA 9: OCORRÊNCIA DE ÁREAS SEVERAMENTE ANTROPIZADAS POR DOMÍNIO TOPOGRÁFICO	67
TABELA 10: RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA	68
TABELA 11: RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA	69
TABELA 12: RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA	70
TABELA 13: EVOLUÇÃO DO QUANTITATIVO DE ÁREAS AGRÍCOLAS EM HECTARES ENTRE 1992 E 2011 NA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ	74
TABELA 14: PLUVIOSIDADE ACUMULADA EM PERÍODOS ANTERIORES À CAPTURA DAS IMAGENS EM PETROLINA/PE	75

TABELA 15: FAIXAS DE VALORES DE PIXELS DAS IMAGENS DIFERENÇA A SEREM CONSIDERADOS PARA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA COBERTURA VEGETAL.....	76
TABELA 16: LIMITES INFERIORES (REGENERAÇÃO) E SUPERIORES (DESMATAMENTO) DOS INTERVALOS DE DIFERENÇAS DE NDVI SELECIONADOS COMO MUDANÇAS REAIS NA COBERTURA VEGETAL (EM CINZA) ENTRE 1992 E 2011.	77
TABELA 17: INTERVALOS DE DIFERENÇAS DE NDVI SELECIONADOS COMO MUDANÇAS SIGNIFICATIVAS NA VEGETAÇÃO (EM CINZA) ENTRE 1992 E 2001	78
TABELA 18: INTERVALOS DE DIFERENÇAS DE NDVI SELECIONADOS COMO MUDANÇAS SIGNIFICATIVAS NA VEGETAÇÃO (EM CINZA) ENTRE 2001 E 2011	79
TABELA 19: EVOLUÇÃO DA COBERTURA VEGETAL POR SUBTRAÇÃO DE NDVI A PARTIR DE DADOS NÃO CORRIGIDOS	80
TABELA 20: CRUZAMENTO DE DADOS PARA CORREÇÕES DOS CÁLCULOS DE DESMATAMENTO E REGENERAÇÃO NO PERÍODO DE 1992 A 2011	81
TABELA 21: DADOS DA EVOLUÇÃO DA COBERTURA VEGETAL CORRIGIDOS E PROPORÇÃO DE OCORRÊNCIA NAS CLASSES	81
TABELA 22: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 1	98
TABELA 23: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 1	98
TABELA 24: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 2.....	102
TABELA 25: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 2.....	102
TABELA 26: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 3.....	106
TABELA 27: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 3.....	106
TABELA 28: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 4.....	109
TABELA 29: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 4.....	109
TABELA 30: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 5.....	113
TABELA 31: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 5.....	113
TABELA 32: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 6.....	117

TABELA 33: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 6.....	117
TABELA 34: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 7.....	121
TABELA 35: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 7.....	121
TABELA 36: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 8.....	125
TABELA 37: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 8.....	125
TABELA 38: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 9.....	128
TABELA 39: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 9.....	128
TABELA 40: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 10.....	132
TABELA 41: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 10.....	132
TABELA 42: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 11.....	136
TABELA 43: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ENCONTRADAS PARA O PERFIL 11.....	136

RESUMO

CARLINI, Belquior Scalzer, MSc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2013. **Uso de sensoriamento remoto e reconhecimento pedológico para identificação de ambientes na sub-bacia do rio Pacuí, submédio São Francisco.** Orientador: Luiz Eduardo Dias. Coorientadores: Igor Rodrigues de Assis e Elpídio Inácio Fernandes Filho

A necessidade de reconhecimento do vasto território da bacia do rio São Francisco para a definição de áreas prioritárias para a aplicação de ações de recuperação e preservação ambiental motivou a proposição deste trabalho. Buscou-se encontrar métodos de baixo custo para a execução desta tarefa no trecho submédio, que engloba a drenagem que verte para a calha entre os municípios baianos de Pilão Arcado e Paulo Afonso. A sub-bacia do rio Pacuí foi tomada como área piloto para este trabalho. Localiza-se no norte da Bahia, possui 1010,1 km² e está totalmente inserida no município de Campo Formoso. É afluente do rio Salitre, o qual nasce na Chapada Diamantina norte e deságua no rio São Francisco em Juazeiro, 20 km a montante da sede. A sub-bacia tem pouco mais de 10.000 habitantes e o principal povoado existente é Laje dos Negros, que dista 96 km da sede municipal. A região possui temperatura média anual de 23,7 °C, evapotranspiração de 1000 a 1400 mm e precipitação anual entre 475 e 700 mm, de acordo com a influência do relevo, caracterizando o clima como semiárido, do tipo BSh pela classificação de Koppen-Geiger. As serras que delimitam os divisores topográficos norte e oeste atingem cota máxima de 1275 m. O centro, sul e leste da bacia possuem relevo suave e a cota da foz é 465 m. Foi testado o uso de imagens TM/Landsat 5 para encontrar as melhores combinações de bandas para a distinção de classes de uso e ocupação dos solos no Submédio São Francisco por meio do classificador Máxima Verossimilhança. Foram utilizadas as bandas naturais do sensor TM, exceto a 6, que trata do infravermelho termal. Foram produzidas quatro bandas artificiais para participar das combinações: as três primeiras bandas da análise de componentes principais (PCAs) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Foram analisadas 1023 diferentes combinações. Percebeu-se que a PCA3 não agrega bons resultados devido

à sua baixa quantidade de informação. A banda 2 também tem mal desempenho frequentemente, mas há alguns casos em que traz benefícios. Quanto às demais, o ideal é utilizar todas ou no máximo remover algumas da região do visível. A combinação entre as bandas naturais e artificiais é o ideal. NDVI, PCA1, bandas 4, 5 e 7 são as que agregam melhores resultados. Com as bandas escolhidas, foi reconhecida a evolução do uso do solo na sub-bacia do rio Pacuí por meio de imagens TM/Landsat-5 atuais e históricas. O resultado foi a existência de mais de 28.000 ha de áreas fortemente antropizadas na sub-bacia, sendo que 45 % do vale e 8 % das serras estão com a cobertura vegetal degradada. Foram utilizados ainda os NDVIs de quatro imagens TM/Landsat-5 para investigar desmatamento e regeneração da cobertura vegetal nas duas últimas décadas. Foi empregado o método de subtração dos índices de vegetação. As imagens utilizadas foram de agosto de 1992, maio de 2001, outubro de 2001 e junho de 2011. Para a produção dos NDVIs foram feitas calibração radiométrica, geração de reflectância de superfície e uniformização de médias e variâncias. As imagens de subtração foram divididas segundo as doze classes de uso e ocupação definidas para a imagem mais antiga do par de comparação. Cada setor foi analisado enquadrando pixels de imagens diferença segundo nove diferentes intervalos: alto, médio, baixo e muito baixo desmatamento; inalteração; e muito baixa, baixa, média e alta regeneração. Os intervalos foram calculados a partir da média somando-se ou diminuindo-se uma, uma e meia, duas ou três vezes o desvio padrão respectivamente. Foram desconsideradas como desmatamento aquelas áreas que no passado eram agricultura ou solos expostos. Só foram consideradas regeneração áreas que na imagem mais recente não foram classificadas como agricultura e no do passado eram pastagens ou solos expostos. O resultado foi mais de 1000 ha de desmatamento acumulado no período 1992 a 2011. Analisou-se também as características dos solos da sub-bacia por meio de onze perfis de solo e foram determinados 10 diferentes ambientes de ocorrência. Realizaram-se análises físicas, químicas e morfológicas de rotina. Foram encontradas as seguintes classes: Neossolo Litólico Eutrófico típico, Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico, Latossolo Vermelho-Amarelo

Distrófico típico (2 perfis), Neossolo Litólico Distrófico típico, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico típico, Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico (2 perfís), Cambissolo Háplico Tb Eutrófico léptico, Cambissolo Háplico Carbonático saprolítico e Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico. Percebeu-se que o relevo é um dos fatores principais para a diferenciação dos pedoambientes, ocorrendo nas partes mais declivosas os Neossolos litólicos, nas partes intermediárias Cambissolos e nas partes mais planas Latossolos. Solos que ocorrem sobre calcário resultam eutróficos e sobre arenito e cobertura detríticas, distróficos. As porções da paisagem sob influencia da Formação Bebedouro possuem solos ricos em silte, fortemente alcalinos e com alta suscetibilidade à erosão. Quaisquer áreas dentro da bacia onde se promova perda da permeabilidade apresenta fortes sinais de erosão. A região serrana da sub-bacia e algumas áreas de solos arenosos de baixada apresentam bom estado de conservação da cobertura vegetal e constituem uma das últimas partes preservadas da região, e podem responder por grande parte da recarga dos mananciais subterrâneos que mantém o rio Pacuí perene. Devem ser preservadas, juntamente com o enorme patrimônio espeleológico local. Se faz necessária a mudança dos meios de produção baseados na exploração desregrada dos recursos naturais, para atividades que se aproximem da sustentabilidade ambiental. A atividade mais impactante é a caprino-ovinocultura extensiva. É preciso que seja recuperada a cobertura vegetal das encostas do rio Pacuí, principal foco de processos erosivos. Deve-se ainda controlar o escoamento superficial em estradas, povoados e em áreas com cobertura vegetal empobrecida que vertem para locais de maior declividade.

ABSTRACT

CARLINI, Belquior Scalzer, MSc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2013. **Use of remote sensing and pedological recognition to identify environments in Pacuí river sub-basin, sub-medium São Francisco.** Adviser: Luiz Eduardo Dias. Co-advisers: Igor Rodrigues de Assis and Elpídio Inácio Fernandes Filho.

The need for recognition of the vast territory of the São Francisco valley for defining priority areas for the implementation of recovery actions and environmental preservation motivated the proposition of this work. We attempted to find low-cost methods for performing this task on submedium, which includes drainage shedding for the trough between the municipalities of Bahia Pilão Arcado and Paulo Afonso. The sub-basin of the river Pacuí was taken as a pilot area for this job. Located in northern Bahia, has 1010,1 km² and is fully inserted in the municipality of Campo Formoso. It is a tributary of the Salitre River, which rises in the Chapada Diamantina north and empties into the São Francisco river in Juazeiro, 20 km upstream of the seat. The sub-basin has just over 10.000 inhabitants and the main town is existing is Lajes dos Negros, which is distant 96 km from the municipal seat. The region has an average annual temperature of 23,7 °C, evapotranspiration from 1000 to 1400 mm, annual rainfall between 475 and 700 mm, according to the influence of relief, characterized as semi-arid climate, the type classification BSh by Koppen-Geiger. The mountains that surround the dividers topographic northern and western reaches maximum elevation of 1275 m. The center, south and east of the basin have gentle slope and elevation of the mouth is 465 m. Was tested using TM / Landsat 5 to find the best combinations of bands for the distinction of classes of use and land use in the lower basin San Francisco through the Maximum Likelihood classifier. We used the natural sensor TM bands except 6, which deals with the thermal infrared. Were produced four bands to participate in the artificial combinations: the first three bands of the principal component analysis (PCA) and vegetation index (NDVI). We analyzed 1023 different combinations. It was noticed that the PCA3 adds no good results due to the low amount of information. The band also has 2 bad performance often, but there are some cases where benefits. As for the other, it is ideal to use all or

at best remove some of the visible region. The combination of natural and artificial bands is ideal. NDVI, PCA1, bands 4, 5 and 7 are the best that deliver results. With the selected bands, recognized the evolution of land use in the sub-basin of the river Pacuí through images TM/Lansat-5 current and historical. The result was the existence of more than 28.000 ha of heavily disturbed areas in the sub-basin, with 45% of the valley and 8% of the mountains are covered with vegetation degraded. We also used the NDVIs four TM/Landsat-5 to investigate deforestation and regeneration of vegetation cover in the last two decades. We employed a subtraction method of vegetation indices. The images used were from August 1992, May 2001, October 2001 and June 2011. For the production of NDVIs were made radiometric calibration, generation of surface reflectance and standardization of means and variances. The subtraction images were divided according to the twelve classes defined for use and occupation for the oldest image of the pair comparison. Each sector was analyzed fitting image pixels difference under nine different ranges: high, medium, low and very low deforestation; remain unchanged, and very low, low, medium and high regeneration. The intervals were calculated from the average by summing up one or down one and a half, two or three times the standard deviation respectively. Were dismissed as clearing those areas that were once agricultural soils or exposed. Only regeneration areas that were considered in more recent image were not classified as agriculture and in the past were exposed soils or pastures. The result was over 1000 ha of accumulated deforestation from 1992 to 2011. We also analyzed the characteristics of the soils of sub-basin through eleven soil profiles were determined and 10 different environments occurrence. Performed analyzes were physical, chemical and morphological routine. We have found the following classes: Neossolo Litólico Eutrófico típico, Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (2 profiles), Neossolo Litólico Distrófico típico, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico típico, Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico (2 profiles), Cambissolo Háplico Tb Eutrófico léptico, Cambissolo Háplico Carbonático saprolítico e Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico. It was noticed that the relief is a major factor for the differentiation

of environments occurring in the more hilly the Neossolos Litólicos, the intermediate parts Cambissolos and parts flatter Latossolos. Soils that occur on limestone result eutrophic and on sandstone and detrital cover, dystrophic. The portions of the landscape under influence of Formation Bebedouro have soils rich in silt, strongly alkaline and high susceptibility to erosion. Any areas within the basin where it promotes loss of permeability shows strong signs of erosion. The mountainous region of the sub-basin and some areas of sandy soils for lowland present good condition of vegetation and constitute one of the last preserved parts of the region, and may account for much of the recharge of underground springs that keeps the river Pacuí perennial. Should be preserved, along with the huge speleological site. It is necessary to change the means of production based on unbridled exploitation of natural resources to activities that approximate environmental sustainability. The activity most striking is the extensive goat and sheep. It must be recovered to cover the slopes of the river Pacuí, the main focus of erosion. It should also control the runoff of roads, settlements and vegetation cover to shedding impoverished areas of greatest slope.

INTRODUÇÃO GERAL

A Caatinga, único bioma exclusivamente brasileiro, cobre uma área de mais de 800.000 km², ou seja, 11 % do território nacional (MMA, 2012) e tem sofrido fortes agressões por meio do corte de madeira para lenha, abertura de áreas para a agricultura, caça e utilização para criação extensiva de rebanhos (LEAL *et al.*, 2005. Em 2007 apenas 2,48 % deste ambiente estavam protegidos por unidades de conservação (PAES, 2008) e estima-se que 48 % do bioma encontram-se destruídos (MMA, 2012). O Ministério do Meio Ambiente afirma ainda que mais de 80 % deste domínio morfoclimático já foram alterados pelo homem. O bioma é o menos conhecido do Brasil e continua sendo pouco estudado, apesar de sua grande importância.

A região do submédio rio São Francisco abrange parte dos estados de Pernambuco e Bahia, estendendo-se desde os municípios de Santo Sé e Pilão Arcado, até Paulo Afonso e Jatobá, incluindo toda a drenagem que verte para o trecho. Está totalmente inserida dentro do bioma caatinga e encontra-se também em forte processo de degradação. Devido à escassez de estudos, não se conhece com precisão a dimensão dos impactos ambientais sofridos por esta região hidrográfica, nem existem técnicas de recuperação ambiental consolidadas para as áreas já afetadas. Apenas nas últimas décadas estudos mais consistentes tem sido feitos e ainda há grandes desafios a vencer. Fatores limitantes para a aplicação das técnicas convencionais de recuperação são a baixa e irregular pluviosidade, a alta evapotranspiração, a ocorrência de solos com alta erodibilidade, dificuldade de controle do acesso de rebanhos a áreas frágeis, baixos índices de regularização fundiária e a situação econômica e social precária em que a maioria da população vive. Muitos solos já perderam os horizontes superficiais e progressivamente se tornam mais inóspitos à vegetação e suscetíveis à erosão.

O município de Campo Formoso - BA faz parte da região do submédio São Francisco e neste existe uma sub-bacia de grande importância para o provimento hídrico das populações do baixo vale do rio Salitre, pois possui peculiaridades hidrogeológicas que lhe permite ser uma das poucas a ter deflúvio perene na região. Apesar disto, sofre forte degradação proveniente

de atividades agropecuárias, extrativismo e urbanização não planejados. Trata-se da sub-bacia do rio Pacuí, totalmente compreendida no município de Campo Formoso e componente da bacia do rio Salitre, que é tributária do rio São Francisco.

Este trabalho utilizou a sub-bacia do rio Pacuí como área piloto para teste de métodos de avaliação ambiental aplicáveis à região do submédio rio São Francisco. A escolha desta área se deu devido à alta diversidade de ambientes que contém, importância socioambiental e situação crítica de preservação de boa parte de sua área. Espera-se que os dados gerados possam auxiliar a definição e aplicação de ações dos programas de recuperação e conservação da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Objetivo Geral

Testar ferramentas, materiais e métodos eficazes para reconhecimento de áreas prioritárias para a recuperação e/ou a preservação ambiental no território do submédio São Francisco.

Objetivos Específicos

- Testar combinações de bandas de imagens TM/Landsat 5 para a distinção de classes de uso e ocupação dos solos no Submédio São Francisco por meio do classificador Máxima Verossimilhança;
- Reconhecer a evolução do uso da terra na sub-bacia do rio Pacuí por meio da análise de imagens TM/Lansat 5 atuais e históricas;
- Reconhecer as características topográficas, físicas e químicas dos solos da sub-bacia do rio Pacuí;
- Relacionar os ambientes às características topográficas, pedológicas e de cobertura vegetal a fim de obter apontamento para as áreas com necessidades maiores de intervenção ou proteção.

Caracterização da Área de Estudos

Localização

A sub-bacia do rio Pacuí está totalmente inserida no município de Campo Formoso – BA entre as longitudes 40°41' O e 41°11' O e as latitudes 9°57' e 10°16' e possui área de 1.010,07 km². Integra a bacia do rio Salitre (14.484,57 km²), afluente da margem direita do rio São Francisco (SILVA, 2009). As principais localidades existentes são Lajes dos Negros, Engenho do Pacuí e Gameleira. Vale a pena ainda ressaltar a existência do povoado de Abreus, que está fora da bacia, porém de frente para a foz, na margem direita do rio Salitre.

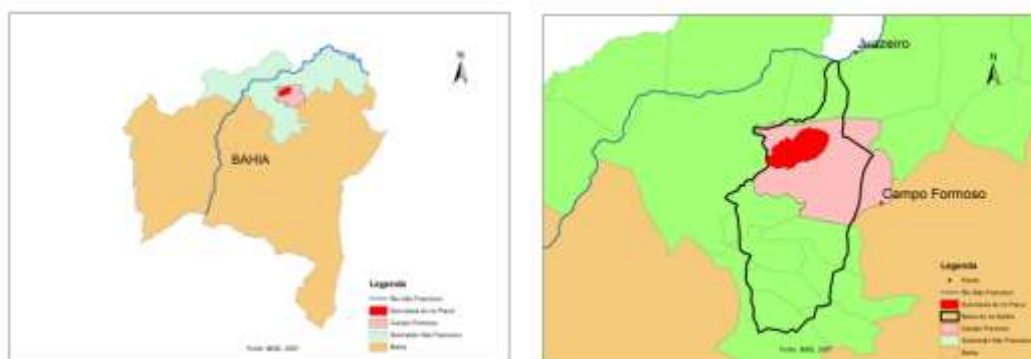


Figura 1: Localização de Campo Formoso e da sub-bacia do rio Pacuí em relação à Bahia, ao Submédio São Francisco baiano e à bacia do rio Salitre

Demografia

A população estimada pelo CENSO 2010 (IBGE, 2013) para o distrito de Lajes dos Negros, que engloba a sub-bacia e algumas áreas adjacentes, foi de 10.211 habitantes. Estas áreas adjacentes não abrangem Abreus, sendo predominantemente áreas rurais de baixa densidade demográfica. A região, principalmente nos arredores do povoado de Lajes dos Negros, tem sua população composta em grande parte por descendentes de quilombolas.

Relevo e Hidrografia

A sub-bacia do rio Pacuí pode ser dividida em duas regiões topograficamente distintas. A primeira é a serrana, que delimita a área de drenagem a norte, oeste e sudoeste, denominada serra do Escurial, componente do extremo norte da cadeia do Espinhaço. Nesta parte

encontra-se o ponto culminante da sub-bacia, com aproximadamente 1270 m de altitude. Esta região apresenta relevo ondulado, fortemente ondulado e montanhoso, e corresponde a cerca de 45 % da área total. A outra correspondente ao vale do rio Pacuí, componente do vale do rio Salitre, e ocupa as partes central, sul e leste, onde predomina relevo suave a suave ondulado e cárstico. O limite entre as regiões encontra-se próximo à cota 680 m.

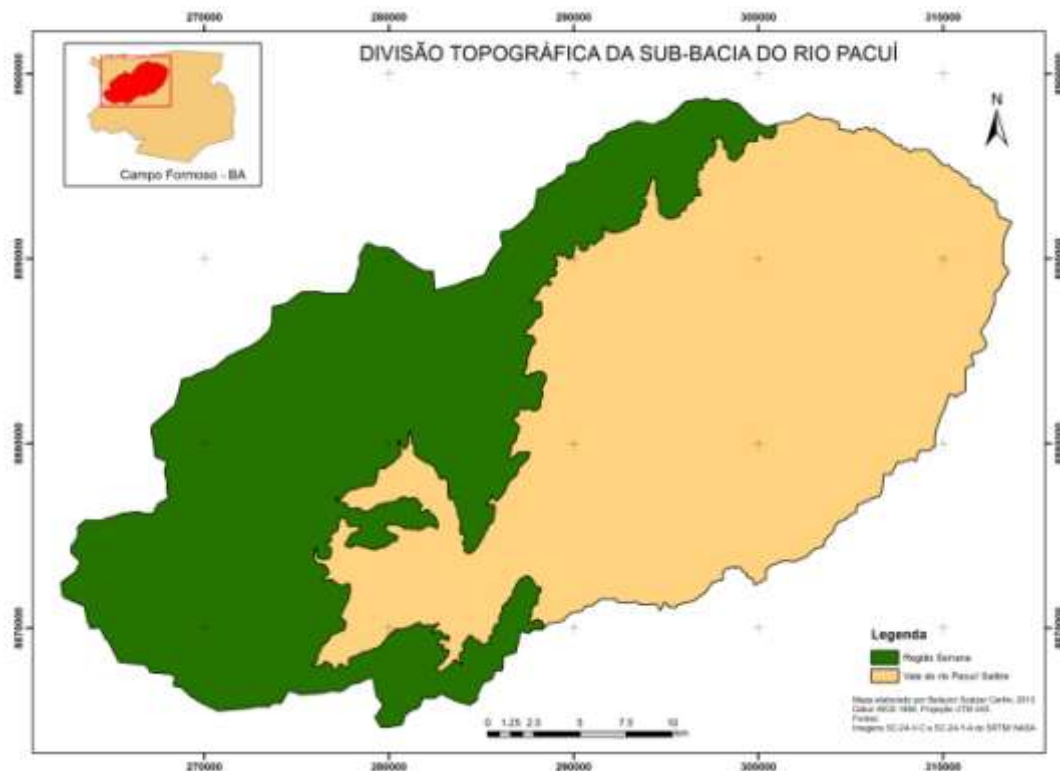


Figura 2: Divisão topográfica da sub-bacia do rio Pacuí

As cotas mais elevadas são beneficiadas por chuvas orográficas e os cursos d'água chegam a ser perenes em alguns trechos de vales encaixados, onde há declividade e as rochas estão expostas. Na época seca, nos trechos de acúmulo de sedimentos, geralmente não há água superficial. A região das serras ocidentais é drenada por pequenos riachos com estas características que formam três drenagens intermitentes principais: rio Pacuí, riacho da Gameleira e riacho Salobro. Elas se juntam em pontos muito próximos e imediatamente a montante de Lajes dos Negros, que se localiza numa passagem relativamente estreita entre serras,

dando o aspecto de que todo o terço superior da sub-bacia constitui de um grande anfiteatro em meio à serra do Escurial.

Na altura de Laje dos Negros frequentemente há água superficial em poças em alguns trechos da calha do rio Pacuí. A jusante não há água superficial perene por mais de 20 km até o afloramento definitivo.

Os dois terços finais da sub-bacia são delimitados a norte ainda pela serra do Escurial e a sul a paisagem tem relevo suave, tornando a divisão topográfica pouco perceptível. A serra neste trecho é estreita, não havendo área de contribuição suficiente para a formação de drenagens perenes ou intermitentes, apenas efêmeras. Há alguns pontos no sopé das grotas onde há água superficial perene, mas não corrente. São chamados de aguadas ou olhos d'água pela população local. As faces da encosta são bastante declivosas e no topo há pequenos trechos mais suaves.

As diversas drenagens da serra do Escurial seguem sentido norte-sul e formam o riacho Queixo D'Antas, o qual também é efêmero e encontra-se a maior parte do ano totalmente seco. Ele não aflui diretamente para o rio Pacuí, pois deriva suas raras águas para o interior da caverna chamada de Toca do Convento. Este riacho é responsável pela drenagem de praticamente todo o quadrante nordeste da sub-bacia.

O quadrante sudeste é drenado pela calha principal do rio Pacuí, que em seus últimos 20 km é perene. O afloramento ocorre na altura do povoado de Engenho do Pacuí em diversos olhos d'água espalhados numa pequena área brejosa de aproximadamente 2 ha. Juntamente com a calha a jusante, proporcionam uma vazão média anual em torno de 0,8 m³/s. Originalmente as águas corriam perenes até o rio São Francisco, percorrendo aproximadamente 100 km do leito do rio Salitre. Atualmente, devido ao excesso de exploração para a irrigação, as águas cessam a mais de 50 km do "Velho Chico" durante a seca.

A porção central da bacia é muito pobre em drenagens, não aparecendo uma sequer em um mapa de escala 1:50.000. O que ocorre é que esta região tem cotas ligeiramente mais elevadas que o tabuleiro sudeste ao redor e possui relevo cárstico.

As fontes hídricas subterrâneas utilizadas para dessedentação humana localizam-se, predominantemente, nas formações Calcárias Bambuí e Caatinga, que são águas que apresentam elevadas concentrações de HCO_3 , Ca, Cl, Na, Mg, entre outros, refletindo na salinidade (BRITO, 2003).

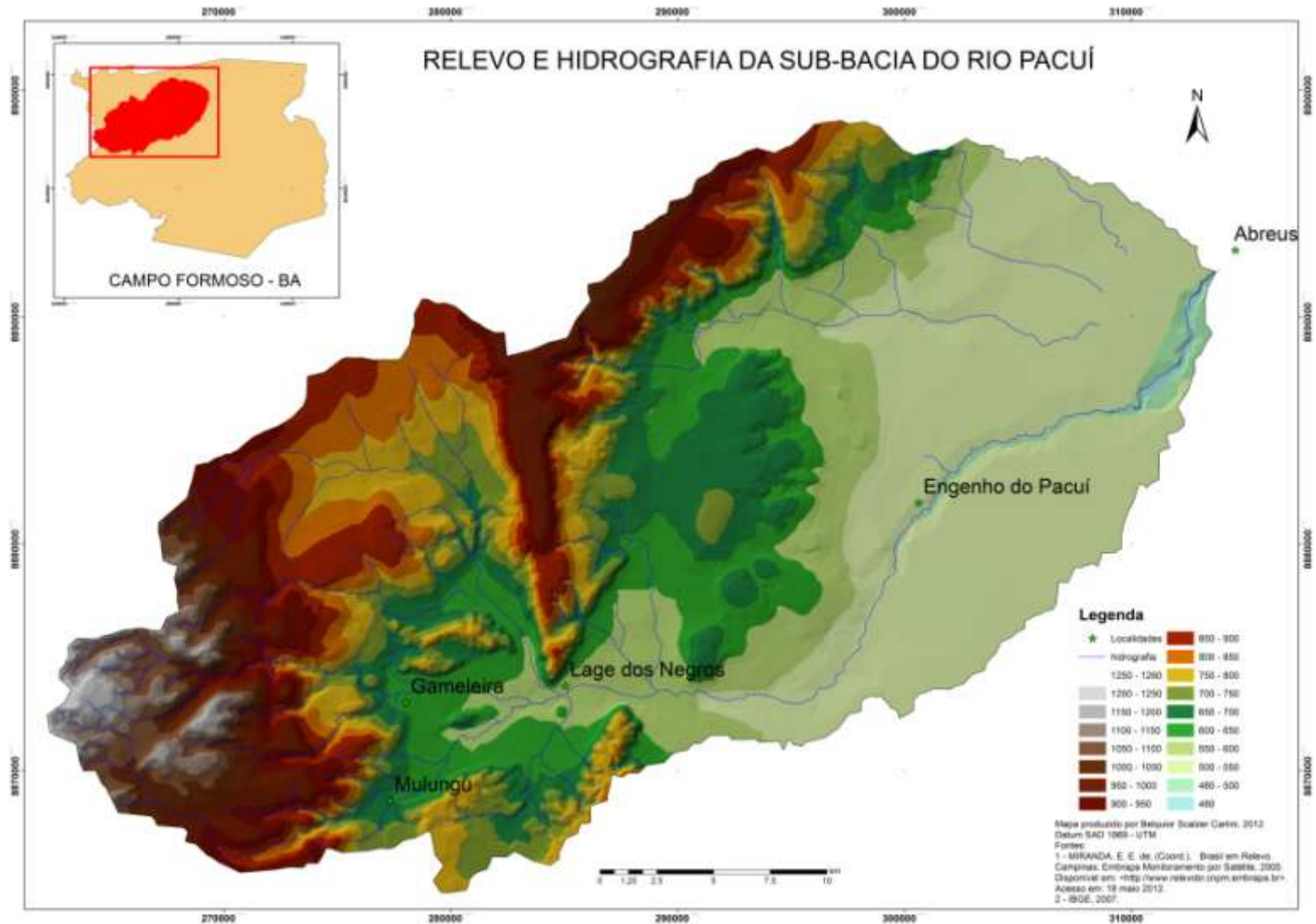


Figura 3: Mapa físico da sub-bacia do rio Pacuí

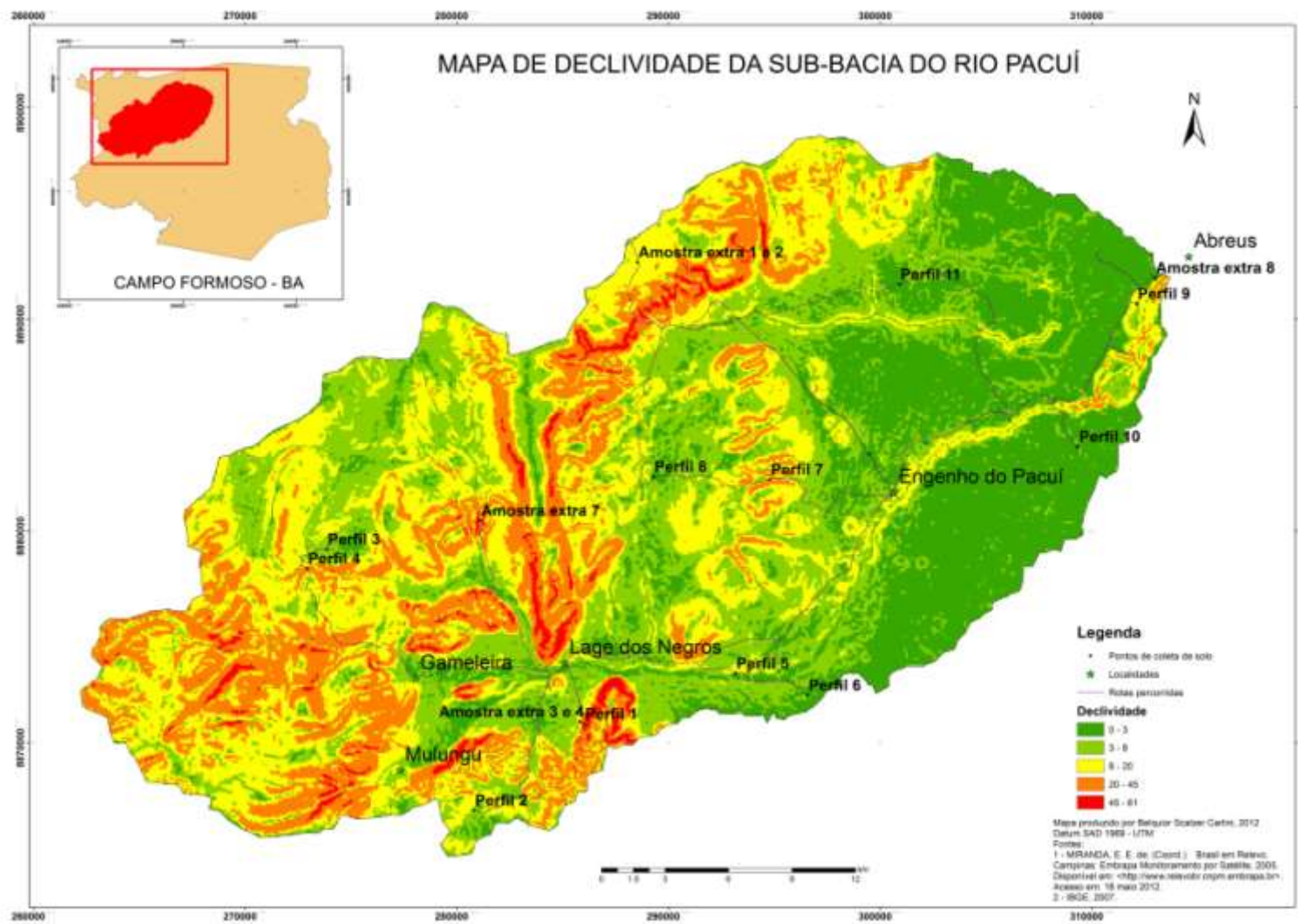


Figura 4: Mapa de declividade da sub-bacia do rio Pacuí

Solos e Geologia

Segundo RADAMBRASIL (1983), as principais classes de solos encontradas são Cambissolos Eutróficos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Litólicos. Na Figura 5 está exposta sua distribuição e abaixo segue a relação completa.

Ce5 - Cambissolo Eutrófico - Ce Ta (argila de alta atividade) raso (<50 cm) C carbonático e não carbonático, A fraco, textura média e argilosa, fase rochosa relevo plano;

Ce6 - Cambissolo Eutrófico - Ce Ta (argila de alta atividade) raso (<50 cm) C carbonático e não carbonático A fraco textura média e argilosa fase rochosa relevo suavemente ondulado;

Ce8 - Cambissolo Eutrófico - Ce Ta (argila de alta atividade) raso(<50 cm) C carbonático A fraco textura média e argilosa fase rochosa relevo ondulado e suavemente ondulado + Re;

Ce15 - Cambissolo Eutrófico – Ce Ta e Tb C carbonático e não carbonático A fraco e moderado textura média e argilosa relevo plano e suavemente ondulado;

Ce16 – Cambissolo Eutrófico – Ce Ta e Tb raso (<50 cm) C. carbonático A fraco textura média e argilosa fase rochosa relevo plano e suavemente ondulado;

LVa9 – Latossolo Vermelho-Amarelo Álico – Lvad A fraco e moderado textura média e argilosa relevo plano;

LVa10 – Latossolo Vermelho-Amarelo Álico – LVad A moderado e fraco textura média relevo plano e suavemente ondulado;

LVd10 – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico – LVd A fraco e moderado textura média relevo plano e suavemente ondulado;

Rd9 – Neossolo Litólico distrófico – Rd A fraco textura arenosa e média fase pedregosa relevo suavemente ondulado e ondulado.

Rd16 – Neossolo Litólico distrófico – Rd A fraco e mod. textura arenosa e média fase rochosa relevo fortemente ondulado e montanhoso;

Segundo BRITO (2003), os Cambissolos Eutróficos constituem a classe predominante e correspondem às áreas de substrato calcário. São a classe mais utilizada para a agricultura na região. Os Latossolos Vermelhos Amarelos originam-se dos metassedimentos da Chapada Diamantina e se caracterizam pelo elevado grau de intemperização de arenitos grosseiros, mal estratificados e de baixa fertilidade natural. Os solos litólicos são pouco desenvolvidos, rasos, pedregosos e ocorrem nas áreas declivosas das serras, sendo eutróficos ou distróficos a depender da rocha matriz.

A região das serras é constituída por rochas do grupo Chapada Diamantina pertencentes às formações Caboclo e Morro do Chapéu como arenitos, siltitos, quartzarenitos, calcários. Há ainda coberturas detríticas nas partes menos movimentadas. Já a região baixa é dominada por coberturas detríticas depósitos calcários, calcarenito, areias argilosas e brechas calcíferas. Nas serras ocorrem aquíferos metassedimentares, enquanto em menores cotas há aquíferos cársticos formados por rochas frequentemente provenientes de depósitos marinhos do Criogeniano (CBPM, 2006). Parte da água acumulada é salobra ou salina.

A presença marcante das rochas calcárias propiciou que a sub-bacia fosse detentora de diversas cavernas, inclusive a maior de todo o hemisfério sul: a Toca da Boa Vista, com mais de 100 km de galerias mapeadas. Há ainda outras de notável beleza e expressividade espeleológica, como as Pontes do Sumidouro, a gruta do Convento e a Toca da Barriguda, a segunda maior do Brasil.

MAPA EXPLORATÓRIO DE SOLOS - SUB-BACIA DO RIO PACUÍ (RADAMBRASIL, 1983)

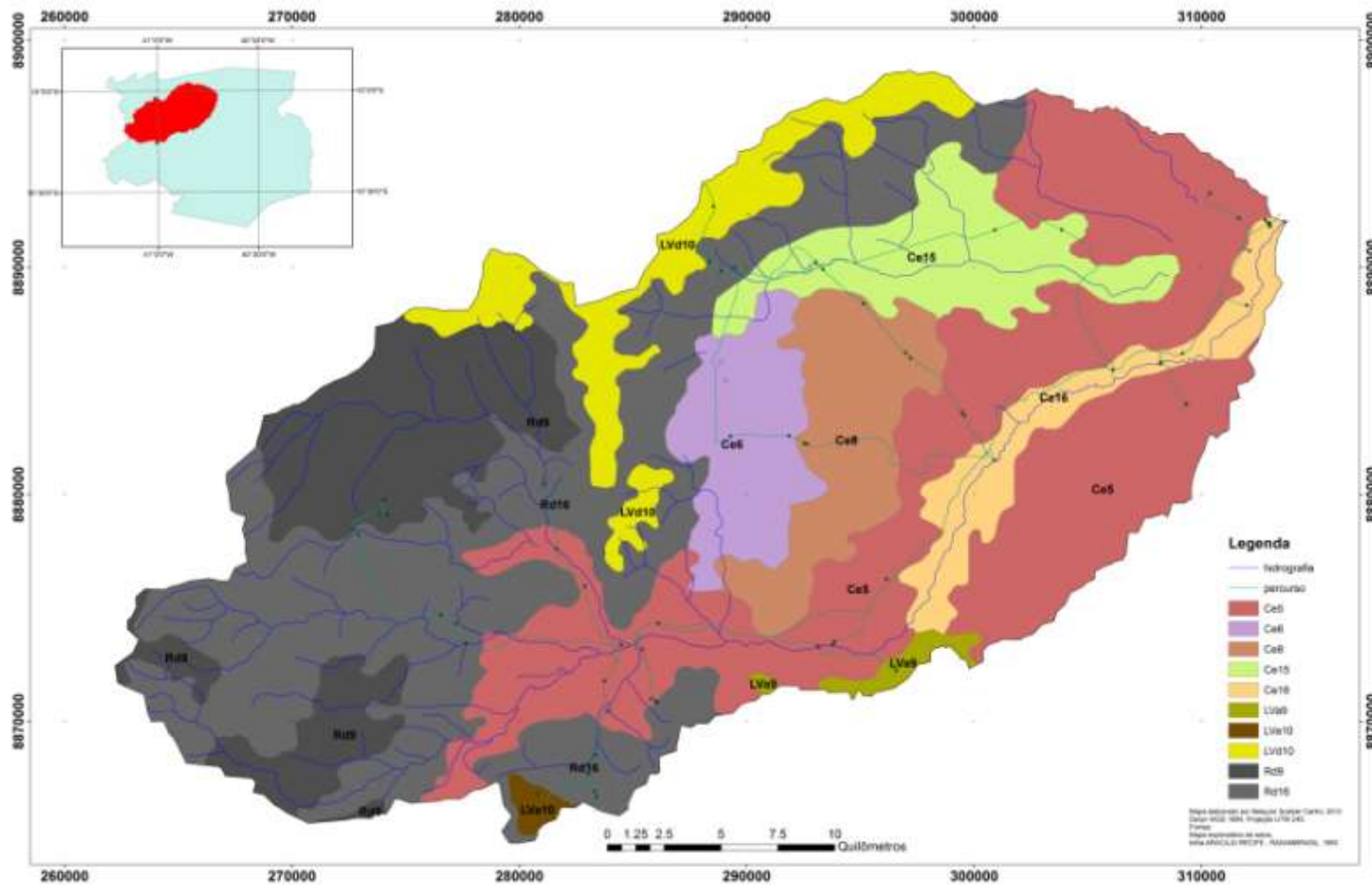


Figura 5: Mapa de solos da sub-bacia do rio Pacuí segundo RADAMBRASIL (1983)

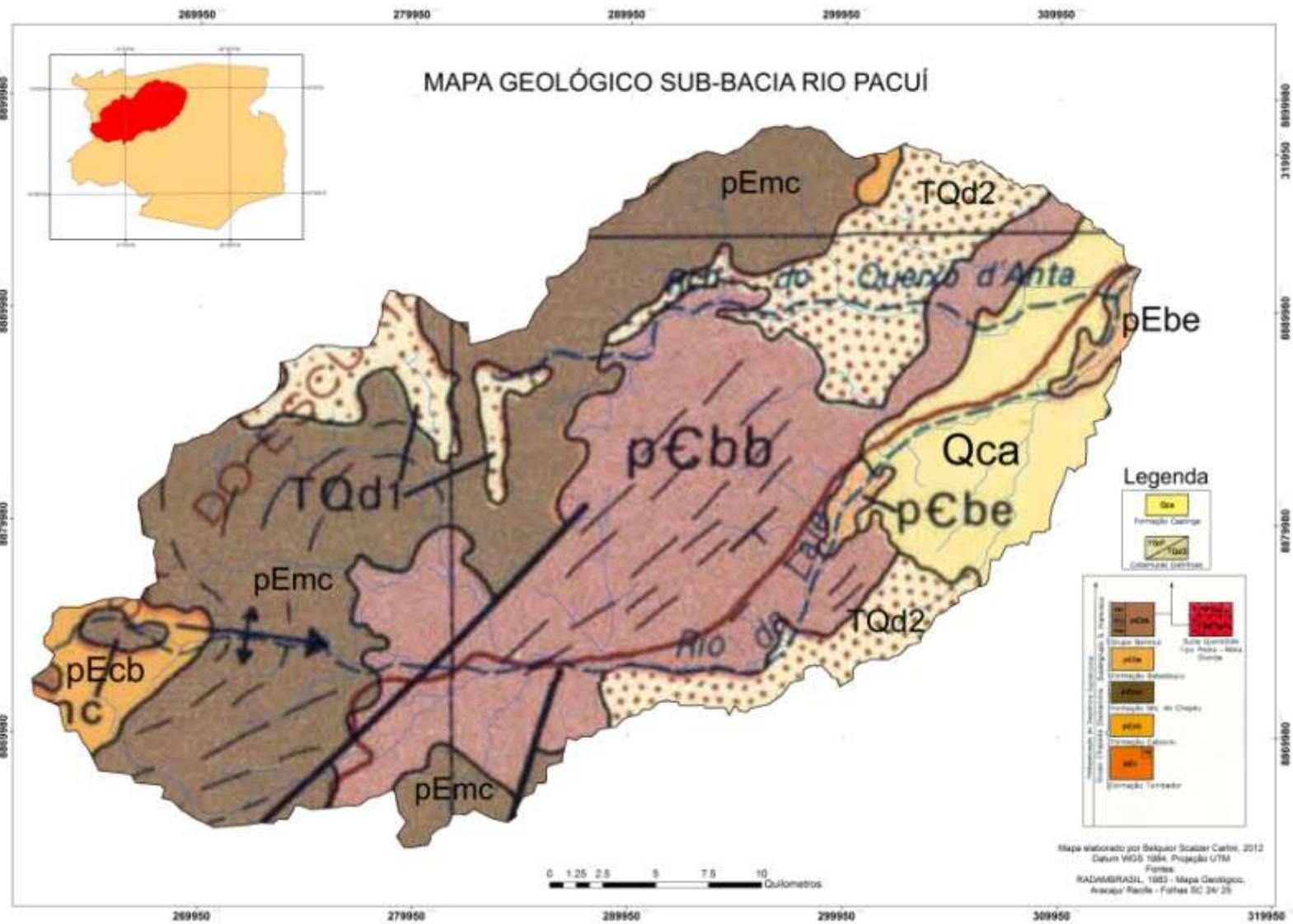


Figura 6: Mapa geológico da sub-bacia do rio Pacuí segundo RADAMBRASIL (1983)

Clima

O clima semiárido local se caracteriza por um regime hidroclimatológico irregular, com precipitações médias anuais abaixo de 500 mm nas baixadas, e próximas de 700 mm nas partes mais favorecidas por chuvas orográficas (BRITO, 2003). A sub-bacia é contemplada por duas estações pluviométricas da ANA (Agência Nacional de Águas), uma na localidade de Abreus e outra na localidade de Lajes dos Negros. Elas distam linearmente cerca de 35 km. A primeira possui uma série de dados com 31 anos sem falhas, que aponta 475 mm de pluviosidade média anual. A segunda possui uma série de 32 anos sem falhas e que apresenta 511 mm de pluviosidade média anual. Abreus tem em média 29 dias de chuva por ano e localiza-se junto à foz, em meio a relevo suave, distante das serras. Lajes dos Negros tem em média 33 dias de chuva por ano e localiza-se no fim do terço superior, próxima ao sopé das serras.

A partir das Figura 7, 8, 9 e 10 percebe-se que além da baixa pluviosidade, as chuvas ocorrem concentradas em poucos dias, o que aumenta o potencial de erosão dos solos, que em grande parte estão desprotegidos. Vale ressaltar ainda que há grande variação de pluviosidade de ano para ano. Em Lajes dos Negros a série de dados aponta pluviosidades anuais entre 237 mm (1990) e 897 mm (1985). Já em Abreus, entre 215 mm (2011) e 772 mm (1974). O desvio padrão para a primeira é de 160 mm e para a segunda é de 150 mm. Estas altas variações desfavorecem a resiliência da caatinga, pois, frequentemente tem de enfrentar grandes secas e a pressão exercida pelos herbívoros exóticos (Caprino-ovinocultura extensiva) se intensifica, prejudicando ainda mais o banco de sementes, as plantas jovens, as espécies vegetais de pequeno porte e a serrapilheira.

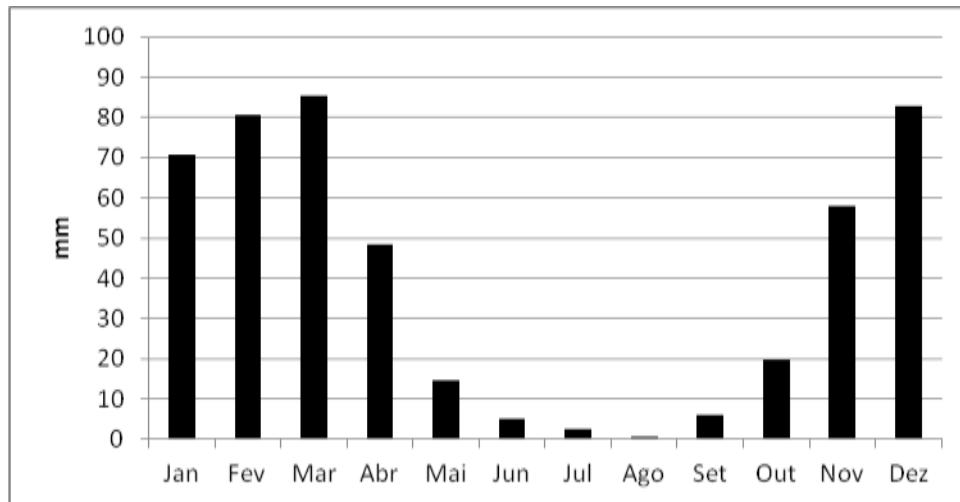


Figura 7: Pluviosidade média mensal em Abreus, Campo Formoso - BA.

Fonte: ANA (2013)

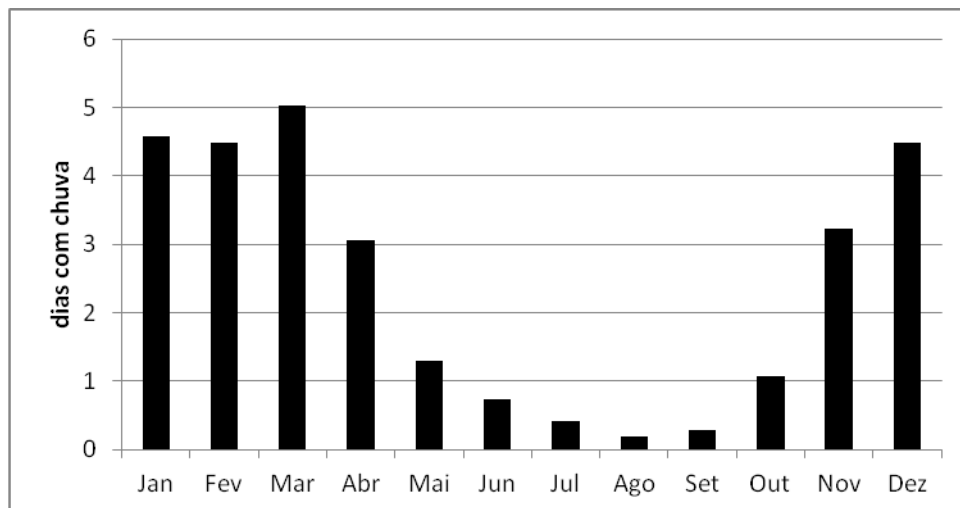


Figura 8: Média mensal de dias com chuva em Abreus, Campo Formoso - BA.

Fonte: ANA (2013)

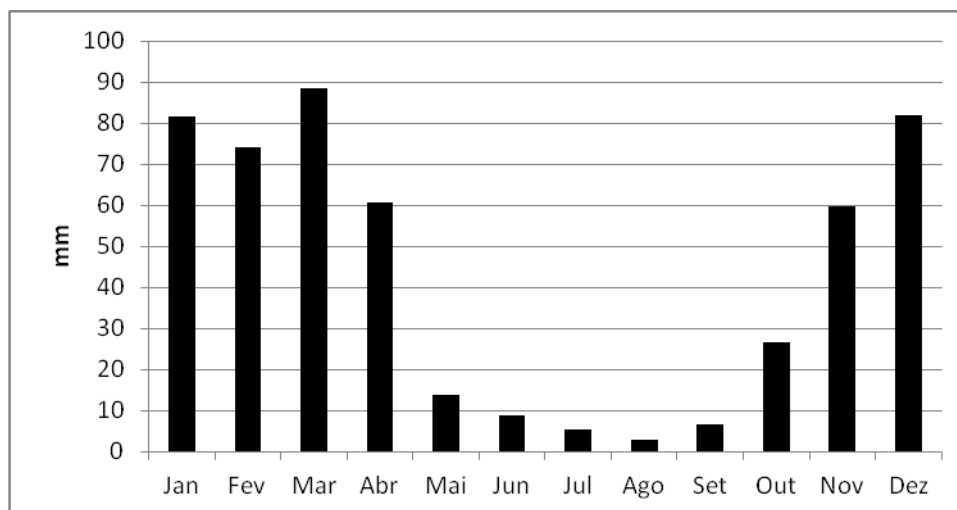


Figura 9: Pluviosidade média mensal em Lajes dos Negros, Campo Formoso - BA.
Fonte: ANA (2013)

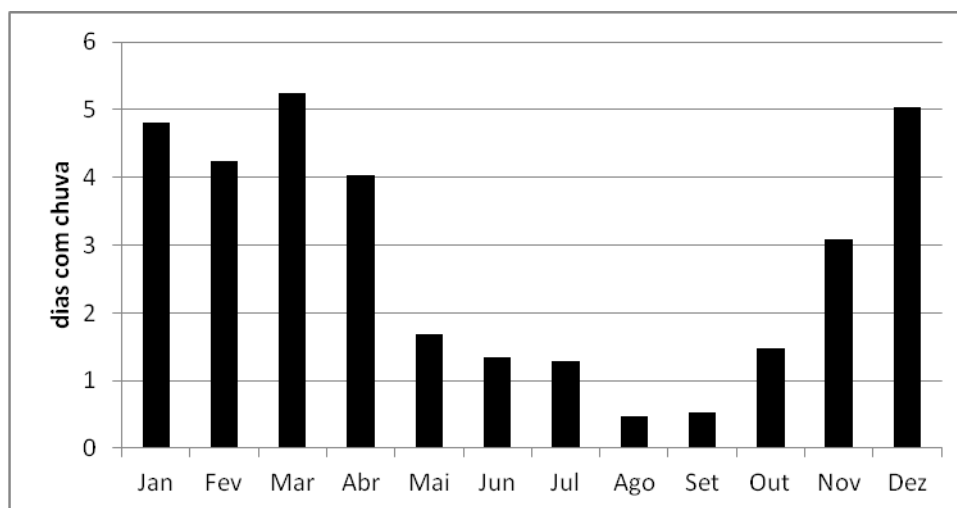


Figura 10: Média mensal de dias com chuva em Lajes dos Negros, Campo Formoso/BA. Fonte: ANA (2013)

O regime térmico possui oscilação anual baixa, com valores médios de temperatura da ordem de 23,7 °C, altos valores médios de evapotranspiração potencial, variando de 1000 a 1400 mm, resultando em deficiência de água no solo (CEI, 1986; SEI, 1999 apud BRITO, 2003). Pela classificação de Koppen-Geiger, por meio das informações anteriores, o clima é caracterizado como BSh.

Vegetação

A vegetação predominante é a de caatinga nas partes mais baixas, que possuem altitudes entre 460 e 650 m. Nas serras, em áreas de maior pluviosidade (resultado de chuvas orográficas) e condições mais brandas de estresse hídrico, ocorrem cerrados. As formações vegetais do tipo caatingas densas e campos rupestres quando ocorrem em maiores cotas, estão fortemente correlacionadas com os solos mais bem drenados e rasos, respectivamente.

Segundo Leal *et al.* (2003), as caatingas podem ser caracterizadas como florestas arbóreas ou arbustivas, compostas principalmente por árvores e arbustos baixos, muitos dos quais apresentam espinhos, microfilia e algumas características xerofíticas. As espécies lenhosas mais típicas da caatinga são: *Amburana cearensis* (Fr.All.) A.C. Smith, (“imburana de cheiro”, Fabaceae – Papilionoideae), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. *cebil* (Griseb.) Altschul (“angico”, Fabaceae – Mimosoideae), *Aspidosperma pyriforme* Mart. (“pau-pereiro”, Apocynaceae), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (“caatingueira”, Fabaceae-Caesalpinioideae), *Cnidoscolus phyllacanthus* (Müll. Arg.) Pax & Hoffm. (“faveleira”, Euphorbiaceae), *Commiphora leptophloeos* (Mart.) Gillet (“imburana”, Burseraceae, também conhecida como *Bursera leptophloeos* Mart.), várias espécies de *Croton* (“marmeleiros” e “velames”, Euphorbiaceae) e de *Mimosa* (“calumbies” e “juremas”, Fabaceae-Mimosoideae), *Myracrodruon urundeuva* Fr. All., (“aroeira”, Anacardiaceae), *Schinopsis brasiliensis* Engler (“baraúna”, Anacardiaceae), e *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex A. DC.) Standley (“pau d’arco roxo”, Bignoniaceae).

Ainda segundo Leal *et al.* (2003), a suculência é observada principalmente em Cactaceae e Bromeliaceae, enquanto que as lianas são muito escassas (Araújo & Martins 1999). Algumas espécies perenifolias também ocorrem (Kirmse *et al.* 1983): *Ziziphus joazeiro* Mart. (“juazeiro”, Rhamnaceae), *Capparis yca* Mart. (“icó”, Capparaceae), *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore [“carnaúba”, Arecaceae, uma espécie também conhecida pelo seu sinônimo *C. cerifera* (Arr. Cam.) Mart. (Henderson *et al.* 1995)], *Maytenus rigida* Mart. (“pau-de-colher” ou “bom-nome”, Celastraceae),

Licania rigida Benth. (“oiticica”, Chrysobalanaceae). A camada herbácea é efêmera e dominada por terófitas das famílias Malvaceae, Portulacaceae e Poaceae. Órgãos de armazenamento de água são típicos em alguns outros casos: *Spondias tuberosa* Arruda (“umbú”, Anacardiaceae), as duas “barrigudas” *Cavanillesia arborea* Schum. e *Ceiba glaziovii* (Kuntze) Schum. (Bombacaceae), *Jacaratia* sp. (Caricaceae), *Manihot* spp. (“maniçobas”, Euphorbiaceae), *Luetzelburgia auriculata* (Fr. All.) Ducke. (“pau-mocó”, Fabaceae-Papilionoideae).

Já para o Cerrado Arbóreo Aberto, RADAMBRASIL (1983) cita como espécies mais frequentes *Curatella americana*, *Stryphnodendron barbadetiman*, *Himatanthus* sp. e *Byrsonima* spp.

Economia

As principais atividades econômicas desenvolvidas na sub-bacia são a caprino-ovinocultura, a agricultura irrigada (principalmente cebola), o cultivo de mandioca e o cultivo de sisal.

A caprino-ovinocultura é feita de forma extensiva, sem qualquer controle sobre a circulação dos animais. A caatinga encontra-se, devido ao sobrepastoreio, já bastante degradada, sobretudo nas proximidades do trecho em que o rio Pacuí é perene. Os animais se concentram para a dessedentação e há o agravante da alta declividade favorecer a erosão. Todas as plantas que começam a se desenvolver são rapidamente destruídas pelo sobrepastoreio ou o solo danificado não possibilita seu estabelecimento. Estas encostas estão repletas de ravinas e voçorocas e há poucos vestígios de como eram naturalmente as vegetações ciliares e das encostas.

A agricultura irrigada é praticada sobre Cambissolos Eutróficos utilizando-se da água do trecho perene do rio Pacuí. Até o ano de 2011 não havia sequer um usuário com a outorga regularizada (INEMA, 2012). Os métodos de produção empregados se baseiam na irrigação por sulcos utilizando motobombas elétricas ou a combustão. Os equipamentos são muito rudimentares e não é raro ver tubulações de esgotos sendo utilizadas para suportar grandes cargas hidráulicas. Também é frequente perceber

muitos vazamentos. Parece que mesmo em pleno semiárido não há grandes preocupações com a utilização racional da água. A irrigação por sulcos leva a desperdícios ainda maiores, além da intensificação da erosão do solo e da salinização. É comum encontrar abandonadas áreas outrora cultivadas. Durante a última visita a campo pode-se observar que este cenário tem começado a mudar. A irrigação por gotejamento está sendo implantada em muitas áreas, representando esperança para a adoção de tecnologias mais sustentáveis e economicamente mais competitivas.

Habitação e Saneamento Básico

A urbanização se dá seguindo principalmente a estrada que liga as localidades de Abreus, Engenho do Pacuí, Lage dos Negros e Gameleira, descrevendo vetores lineares de crescimento dos diversos povoados localizados ao longo da via. Aparecem ainda urbanizações menores na região do riacho Queixo D'Antas e à beira da estrada que liga Lage dos Negros a Campo Formoso. As aglomerações têm sido feitas em geral sem planejamento e fiscalização pública. Percebe-se um traçado aleatório na locação de ruas e das casas. As ruas são predominantemente de terra, havendo calçamento apenas em partes de Engenho do Pacuí, Lage do Negros e Gameleira. A compactação do solo e a ausência de vegetação tem provocado um excedente de escoamento superficial que não tem sido controlado e os povoados apresentam voçorocamento nos arredores. Os processos erosivos são agravados, pois as vilas se concentram adjacentes às encostas da calha principal do rio Pacuí, que são muito declivosas. Não há rede coletora de esgotos, rede de drenagem pluvial, arborização e os sistemas de abastecimento de água são precários. Os resíduos sólidos, quando há coleta, são dispostos em lixões e queimados.

CAPÍTULO I

SELEÇÃO DE COMBINAÇÕES DE BANDAS PARA UTILIZAÇÃO DE IMAGENS TM/LANDSAT-5 PARA MAPEAMENTO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ

1. Introdução

O estudo das características e das mudanças ambientais de grandes áreas sempre foi desafiador. A aquisição e análise dos dados requeriam muito tempo e esforço. No entanto, a partir da utilização de satélites munidos de sensores cada vez mais sofisticados, aliados a poderosas ferramentas de processamento de dados, tem-se conseguido ampliar a capacidade humana de reconhecer o contexto geoambiental em que vive. Segundo SILVA et al. (1998), geoprocessamento é um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre bases de dados geocodificados, executam análises, reformulações e síntese sobre os dados ambientais, tornando-se utilizáveis em um sistema de processamento automático.

Visando contribuir para aprimorar a utilização de ferramentas de geoprocessamento para o estudo de áreas do bioma caatinga, em especial o submédio São Francisco, este trabalho procurou testar as melhores combinações de bandas de imagens Landsat para a classificação supervisionada da área da sub-bacia do rio Pacuí.

Cada banda carrega uma matriz de dados sobre a intensidade da radiação emitida pela superfície terrestre em certa faixa de comprimento de onda, em dado local em um momento específico. Estas faixas espectrais abrigam canais do visível e do infravermelho. Normalmente são traduzidas para as faixas do visível e é montada uma composição para ser observada visualmente.

Um classificador (algoritmo de processamento de dados espectrais para separação de classes de uso e ocupação da superfície) pode reunir a informação de inúmeras bandas e obter maior exatidão ou não acerca dos temas de interesse em análise. Quando, a partir de uma combinação traduzida para cores do visível, se coletam amostras de pixels pertencentes

a uma mesma classe de uso e ocupação para treinar o classificador, a classificação promovida é dita supervisionada. Quando o classificador separa classes sem utilizar amostras de treinamento, a classificação é dita não supervisionada.

Sensor TM/Landsat-5

A série de satélites Landsat opera desde 1972 e suas imagens são amplamente utilizadas devido às longas séries temporais existentes e disponibilizadas gratuitamente. Foram colocados em órbita com sucesso os satélites Landsat 1, 2, 3, 4, 5 e 7. O Landsat 5 foi lançado em 1 de março de 1984 e ainda está ativo. Tem como objetivo utilizar sensores multiespectrais para gerar imagens da superfície com média resolução espacial. A órbita deste satélite é circular, praticamente polar, sincronizada com o sol e a uma altitude de 705 km. A antena do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em Cuiabá recebe de forma contínua as imagens de todo o território nacional, constituindo um enorme acervo de dados de um longo período sobre o Brasil e a América Latina (Cunha, 2009).

O sensor a bordo do Landsat 5 utilizado para este trabalho é o TM (Thematic Mapper). Ele possui resolução radiométrica de 8 bits em 255 tons de cinza. Registra sete faixas espectrais descritas na tabela 1.

Tabela 1: Bandas e faixas espectrais do Landsat TM.

BANDA	Resolução Espectral	Bandas Espectrais	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica
1	0,45 a 0,52 µm	AZUL	30 m		
2	0,52 a 0,60 µm	VERDE	30 m		
3	0,63 a 0,69 µm	VERMELHO	30 m		
4	0,76 a 0,90 µm	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	30 m	16 dias	8 bits (256 níveis de cinza)
5	1,55 a 1,75 µm	INFRAVERMELHO MÉDIO	30 m		
6	10,4 a 12,5 µm	INFRAVERMELHO TERMAL	120 m		
7	2,08 a 2,35 µm	INFRAVERMELHO DISTANTE	30 m		

Fontes: NASA, 2013; EMBRAPA, 2013.

Com as bandas naturais do sensor TM, à exceção do infravermelho termal, foram produzidas ainda o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e seis componentes principais, das quais apenas as três primeiras foram utilizadas (PCA1, PCA2 E PCA3).

NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é o mais conhecido índice de vegetação. Segundo Lira et al. (2011), O NDVI é um índice comumente usado em dados remotos para dar uma indicação do vigor da vegetação. É baseado no conhecimento de que há elevada reflectância na banda do infravermelho próximo referente à vegetação, enquanto que é mais baixa a reflectância na faixa da luz vermelha (TSO e MATHER, 2009).

Os valores de NDVI oscilam entre -1 e +1. Valores negativos correspondem à presença de corpos d'água e +1 representa uma vegetação exuberante. Esse índice permite identificar a presença de vegetação verde na superfície, caracterizar sua distribuição espacial e ainda avaliar sua

evolução no decorrer do tempo (quando há série temporal disponível). Ele é calculado do pela equação proposta por ROUSE et al. (1973):

$$NDVI = \frac{(BANDA\ DO\ INFRAVERMELHO\ PRÓXIMO) - (BANDA\ DO\ VERMELHO)}{(BANDA\ DO\ INFRAVERMELHO\ PRÓXIMO) + (BANDA\ DO\ VERMELHO)}$$

Componentes Principais

Segundo CENTENO (2004) apud SOUZA et al. (2007), o sensoriamento remoto utiliza bandas espectralmente próximas e altamente correlacionadas entre si. Por isso, parte da informação contida em um conjunto de bandas pode ser redundante. Assim, o método de análise por componentes principais (PCA) elimina essa repetição de dados, resumindo as informações que interessam em um conjunto menor.

Para MAROCO (2003) apud LIMA (2011), a vantagem de se utilizar esta técnica é permitir resumir a informação de várias variáveis correlacionadas em uma ou mais combinações lineares independentes que representam a maior parte da informação presente nas variáveis originais.

A principal função da PCA é reduzir a dimensionalidade dos dados e por meio de operações matemáticas, produzir novas bandas não correlacionadas. A primeira banda de saída é chamada de primeira componente principal e neste trabalho será tratada como PCA1; o segundo conjunto de saída será tratado como PCA2; o terceiro, de PCA3, e assim por diante. A primeira componente principal irá conter a informação que é comum a todas as bandas originais. A PCA2 conterà a feição espectral mais significativa do conjunto. As PCAs seguintes conterão feições espectrais cada vez menos significantes, até a última, que conterà as informações que restarem, ou seja, as menos significantes (CROSTA, 1992 apud SOUZA, 2007). MINGOTI (2005) apud LIMA (2011) afirma que devido à própria forma de construção, a primeira componente principal é sempre a mais representativa em termos de variância total e a p-ésima é sempre a de menor representatividade.

O processo de Análise por Componentes Principais pode ser dividido em três passos (TSO et al., 2009):

1. Cálculo da variância-covariância (ou correlação) da matriz de imagens multibandas (por exemplo, no caso de uma imagem de quatro bandas, a matriz de covariância tem dimensão 4×4);
2. Extração dos autovalores e autovetores da matriz; e
3. Transformação do espaço de características coordenadas utilizando estes vetores próprios.

Para a aplicação da PCA não há necessidade da utilização de um conjunto com todas as bandas da imagem, podendo-se selecionar e compor apenas as bandas de interesse para o objeto da pesquisa (MALDONADO, 1999 apud SOUZA, 2009).

A PCA é muitas vezes usada para condensar as informações em uma imagem multibanda definida em menos canais (representado pelos componentes de ordem mais elevada). Assim, introduzi-las em um classificador, ao invés dos dados brutos, reduz as exigências de computação e, possivelmente, há melhoria de desempenho. No entanto, não há razão para supor que as componentes principais de ordem mais baixa não contêm qualquer informação (TSO et al., 2009).

Classificação Temática Supervisionada

A classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos e são utilizados em Sensoriamento Remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse. O resultado da classificação digital é apresentado por meio de classes espectrais (áreas que possuem características espectrais semelhantes), uma vez que um alvo dificilmente é caracterizado por uma única assinatura espectral. É constituído por um mapa de "pixels" classificados, representados por símbolos gráficos ou cores, ou seja, o processo de classificação digital transforma um grande número de níveis de cinza de cada banda espectral em um determinado número de classes em uma única imagem. Quando existem regiões da imagem em que o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse, o treinamento é dito

supervisionado. Para um treinamento supervisionado, o usuário deve identificar na imagem uma área representativa de cada classe. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza (INPE, 2013).

A classificação supervisionada, método empregado neste trabalho, requer conhecimento prévio da área a ser estudada, seja por meio de visitas a campo e/ ou por meio de informações secundárias confiáveis. Com estas informações, alimenta-se o classificador com amostras de treinamento coletadas bem distribuídas sobre toda a superfície analisada, contemplando as diversidades de cada classe. Após a coleta de amostras de treinamento, que é feito por meio da análise visual da imagem, faz-se a validação com amostras de classes aferidas e georreferenciadas em campo. Com a comparação entre a classe predita pelo classificador e o dado real de campo é possível determinar a exatidão da classificação que é expressa por meio dos índices de exatidão global e índice Kappa (FRANÇA *et. al.*, 2009). A exatidão global é simplesmente a razão entre o total de pixels da diagonal (os classificados corretamente) e o total de pixels da matriz de erro (CONGALTON, 1991).

Avaliação das Classificações Temáticas

A acurácia das classificações temáticas é uma das maiores preocupações e pode ser avaliada por meio de vários métodos. ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS (1986) apud DEMARCHI *et al.* (2011) destacam, entre eles, a matriz de erros, que aponta, em sua diagonal principal, a proporção dos pixels classificados corretamente e, na soma dos valores marginais das linhas e colunas, respectivamente, os erros de inclusão e omissão para cada classe temática. Porém, o autor recomenda o uso do coeficiente Kappa, que utiliza todas as células da matriz de erro, e não apenas os elementos da diagonal, ou seja, mede a probabilidade de um pixel ser corretamente classificado em relação à probabilidade da classificação incorreta.

De acordo com BISHOP (1975) apud CONGALTON (1991) e CUNHA (2009), o índice Kappa é dado pela fórmula a seguir:

$$k = \frac{N \sum X_{ii} - \sum X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+} X_{+i}}$$

onde: N é o número total de observações;

$\sum X_{ii}$ é a soma do número de observações corretas nas linhas e colunas;

$\sum X_{i+}$ é o total das linhas e $\sum X_{+i}$ é o total das colunas;

A análise Kappa (k) é uma técnica multivariada discreta usada na avaliação de precisão para determinar se estatisticamente uma matriz de erro é significativamente diferente de uma outra (BISHOP et al., 1975).

Segundo LANDIS & KOCH (1977) apud JENSEN (2005), valores encontrados de $k \geq 0,80$ (80 %) podem ser considerados com uma exatidão ótima; para $0,40 < k < 0,80$ (entre 40 % e 80 %), a exatidão é considerada moderada; e para $k \leq 0,40$ (40 %), a exatidão é considerada baixa.

A classificação supervisionada foi executada por meio do algoritmo Máxima Verossimilhança, que é o método de classificação, que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Deve ser fornecido ao sistema um conjunto de dados ou amostras que representam bem as classes de interesse para que o classificador tenha condições de definir um diagrama de dispersão em torno da média, bem como a distribuição das probabilidades dos pixels pertencerem ou não a determinada classe (FRANÇA, 2007).

O procedimento de máxima verossimilhança é uma abordagem estatística supervisionada para reconhecimento de padrões. A probabilidade de um pixel pertencer a cada um dos conjuntos pré-definidos de classes é calculado, e o pixel é atribuído à classe para a qual a probabilidade é a mais elevada (TSO et al., 2009).

2. Materiais e Métodos

Os materiais cartográficos utilizados foram uma imagem TM/Landsat-5 de 10 de junho 2011 tratada por meio de correção radiométrica e duas imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) interpoladas para pixels de 30 m de resolução e tratadas por meio da correção de depressões espúrias: SC-24-V-C e SC-24-Y-A. As primeiras foram fornecidas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e as demais pela Embrapa (Miranda (2005), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Monitoramento por Satélite) por meio de seus portais eletrônicos. Para melhor definição de classes, foram utilizadas duas imagens GeoEye de 2010, uma fornecida pela Codevasf e outra disponível por meio do software Google Earth. Em campo foram utilizados aparelhos de GPS de navegação “Garmin eTrex Vista” para o registro de localizações de interesse com vistas a criar banco de dados referente aos perfis de solos abertos e amostras de validação para a classificação temática supervisionada das imagens TM/Landsat 5.

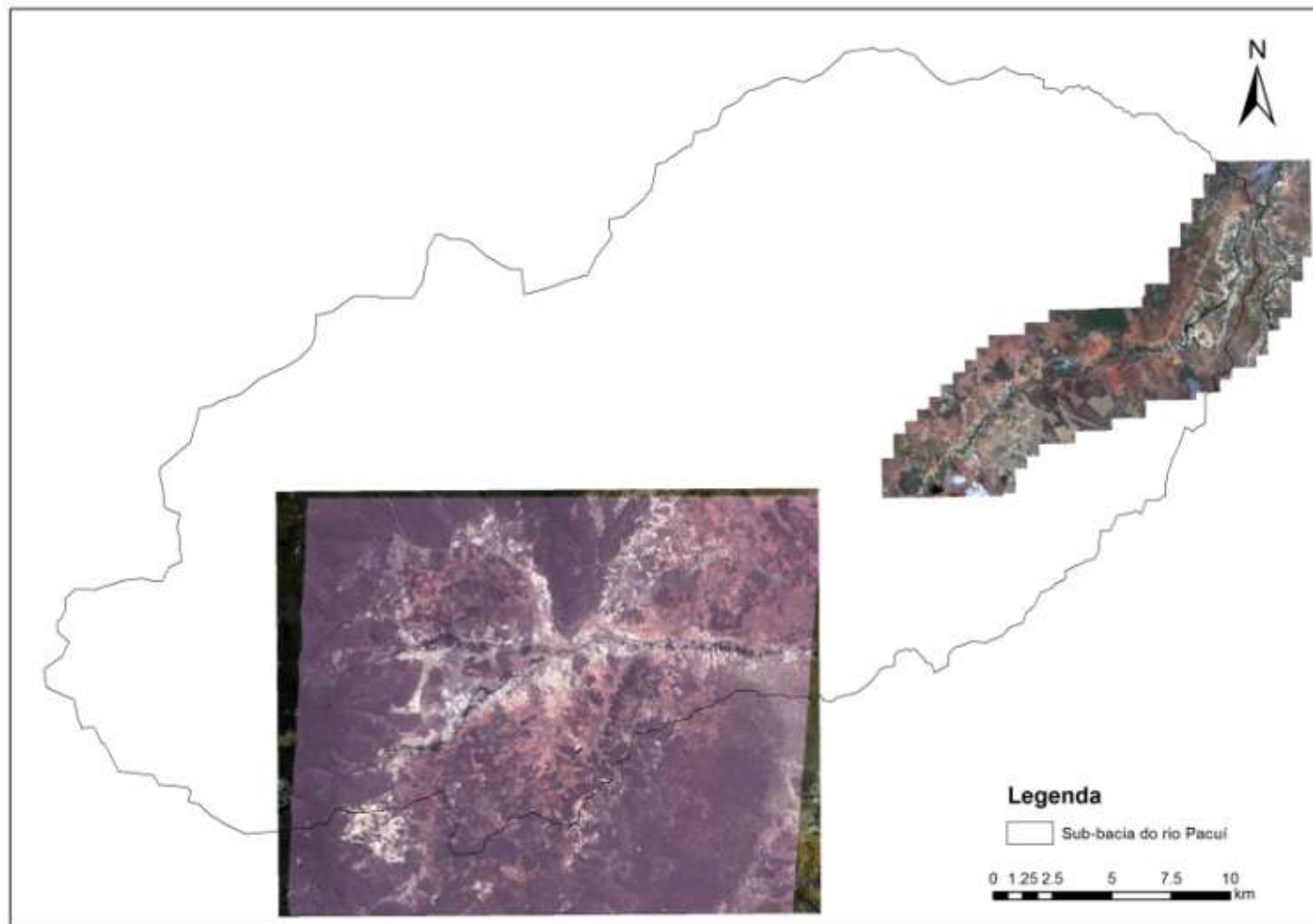


Figura 11: Imagens GeoEye de 2010 utilizadas em auxílio do treinamento e validação da classificação temática

Foram testadas classificações que utilizaram todas as combinações possíveis quando se dispõe das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Não foi utilizada a banda do infravermelho termal (6) devido à sua resolução espacial ser de 120 m e a das demais serem de 30 m. Gerou-se ainda NDVI, PCA 1, PCA 2 e PCA 3 para formarem novas combinações, pois, a literatura tem citado melhorias nos resultados a partir de suas utilizações. O software utilizado para os trabalhos foi o ARCGIS 10.1, por meio do qual se fez a classificação pelo método da Máxima Verossimilhança. Para facilitar o processamento dos dados, as bandas foram renomeadas para formas mais simplificadas: banda 1, para b1; banda 2 para b2; banda 3, para b3; banda 4, para b4; banda 5, para b5; banda 7, para b7; NDVI, para NDVI; PCA 1, para PC1; PCA 2, para PC2; e PCA 3, para PC3.

Para a obtenção do modelo digital de elevação da região da sub-bacia do rio Pacuí, foram utilizados dados de radar topográfico da missão SRTM com 90 m de resolução. As duas imagens necessárias foram obtidas no portal eletrônico da Embrapa. Utilizando-se o software ARCGIS 10.1, as imagens foram mosaicadas, sofreram correção de depressões espúrias e extraíram-se os divisores topográficos, juntamente com as demais informações de relevo pertinentes à sub-bacia.

Por meio do portal eletrônico do INPE foram selecionadas as imagens da área de estudos feitas pelo satélite Landsat 5 (TM) com menores índices de cobertura de nuvens. A melhor e mais recente encontrada foi a da passagem do dia 10 de junho de 2011, pela órbita 45.071, trajetória 217, linha 67. Ela foi georreferenciada com base nas malhas hidrográficas fornecidas por IBGE (2007) e as geradas a partir das imagens SRTM. Em seguida foi recortada utilizando-se os divisores topográficos da sub-bacia após a aplicação de uma ampliação paralela de 5 km destes limites. A ampliação visa eliminar efeitos de borda que causam confusão ou perda de dados e ainda objetiva melhorar a caracterização dos ambientes componentes das regiões limítrofes. A área de estudos está totalmente compreendida no quadrante sudoeste da imagem e a cobertura de nuvens para este é de menos de 10%.

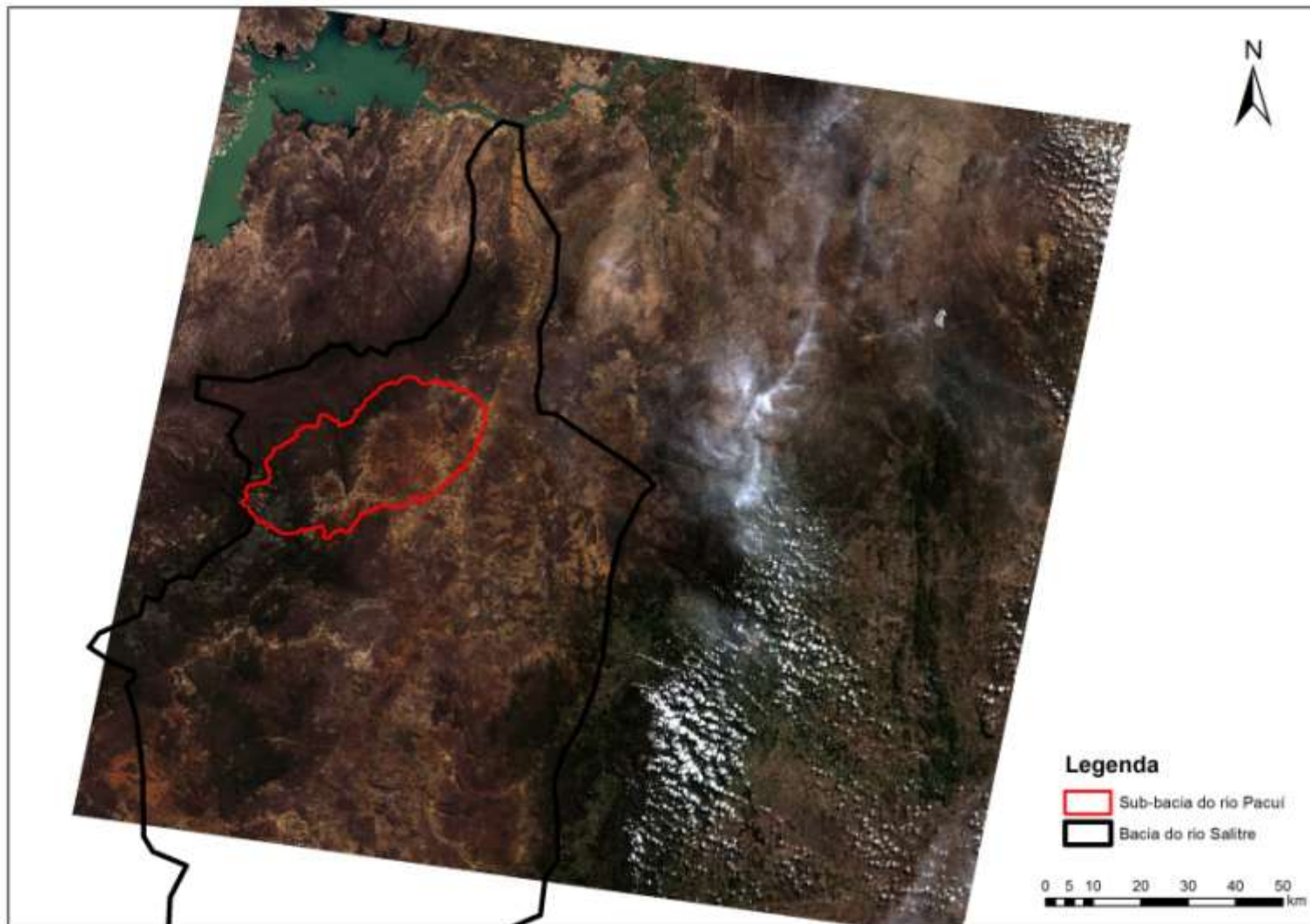


Figura 12: Imagem TM/LandSat 5 de 2011 utilizada nas análises

A definição das classes de uso e ocupação foi baseada nas formações vegetais apresentadas por RADAMBRASIL (1983), nas observações de campo, em duas imagens parciais da área feitas com o satélite GeoEye em 2010 e na análise dos padrões visuais e classificações temáticas das imagens TM/LandSat-5 utilizada.

Para validação da classificação foram utilizadas amostras quadrangulares de dois pixels de lado, posicionadas centradas em pontos marcados com auxílio de GPS de navegação em campo. Os locais georreferenciados estão contidos dentro de alguma classe, distantes no mínimo dois pixels do limite com outro uso ou ocupação. Foram ainda utilizadas para geração de amostras de validação, imagens GeoEye 2010 que cobrem parte da bacia. Ao total foram utilizadas 129 amostras para este fim. As amostras de treinamento, de início, foram lançadas manualmente sobre a imagem recortada prezando pela distribuição homogênea, sendo estas de formato quadrangular com três pixels de lado. Em algumas classes com menor quantidade de área e formas mais dispersas, necessitou-se adaptar o formato de algumas amostras para retângulos de um ou dois pixels de altura, ou quadrados de dois pixels de lado. Após diversas adequações por meio de classificações exaustivas, foram eliminadas algumas classes (juntou-se agricultura irrigada e agricultura de sequeiro) e acrescentadas outras (calcário, nuvem e sombra), obtendo-se as melhores respostas com 12 conjuntos de uso e ocupação. As classes definidas foram as seguintes:

a) Classe agricultura: engloba agricultura irrigada e cultivos perenes de sequeiro que mantém folhagem verde durante todo o ano (principalmente sisal e palma forrageira);



Figura 13: Imagem ilustrando uma região correspondente à classe de informação agricultura (neste caso cultivo de sisal) (Autor: Igor Rodrigues de Assis, 2012)

b) Classe caatinga aberta: esta classe abriga áreas de caatinga arbórea aberta e de caatinga das areias. Foi observado por Oliveira et al. (1997) apud LEMOS et al. (2002) que a caatinga das areias, um tipo particular, ocorre principalmente em áreas de bacias sedimentares com solos arenosos e profundos. Na região do Pacuí a vegetação sobre as coberturas detríticas e de solos arenosos corresponde à esta fitofisionomia e juntamente com as áreas de caatingas arbóreas abertas apresentam resposta espectral diferenciada em relação à caatinga arbórea densa e à caatinga parque. Possuem porte pouco abaixo da caatinga densa e de menor densidade, que ocorre em terrenos com menor fertilidade e/ou menor capacidade de retenção hídrica. A Caatinga aberta apresenta porte modesto e maior espaçamento entre as arvoretas, seja devido às dificuldades impostas pelas características do local de ocorrência ou por antropização. Estas características favorecem o aparecimento do estrato campestre e de cactáceas de pequeno porte. Ocorre principalmente em solos rasos e litólicos (RADAMBRASIL, 1983);



Figura 14: Imagem ilustrando uma região correspondente à classe de informação Caatinga Aberta

c) Classe caatinga arbórea densa: corresponde à vegetação de caatinga de porte predominantemente arbóreo baixo, caducifólia, com perda expressiva da massa foliar durante a estação seca. Caracteriza-se estruturalmente, por um primeiro estrato lenhoso, denso, de árvores e arvoretas cuja altura oscila em torno de 8 a 10 m; por um segundo estrato de arbustos espinhosos, perene, e outro herbáceo estacional dominado por monocotiledôneas. Ocorrem frequentemente cactáceas colunares e em áreas com melhores condições de solo e umidade, a palmeira licurizeiro (*Syagrus coronata*) (RADAMBRASIL, 1983);



Figura 15: Imagem ilustrando uma região correspondente à classe de informação Caatinga Densa

d) caatinga parque: caatinga antropizada, caracterizada por tapete gramíneo-lenhoso temporário, onde encontram-se poucas espécies arbóreas dispersas. Por desmatamento ou principalmente por sobrepastoreio, a vegetação é gradativamente raleada. As espécies rasteiras e as plantas jovens são predadas e há seleção de algumas poucas resistentes que tem sua composição florística dependente da localização geográfica. A serrapilheira também é ingerida pelos animais e na época seca o solo entre as árvores e arvoretas encontra-se frequentemente completamente exposto. As chuvas, que geralmente ocorrem de forma concentrada, causam significativa erosão nestas áreas (adaptado de RADAMBRASIL, 1983);



Figura 16: Imagem ilustrando uma região correspondente à classe de informação Caatinga Parque

e) calcário (afloramento): área de afloramento de rocha calcária, geralmente fendilhada e demonstrando forte efeito de dissolução promovida pela água da chuva. A vegetação é bastante dispersa, ocorrendo arbustos e pequenas árvores nos locais de acúmulo de sedimentos. Predominam afloramentos do grupo caatinga;



Figura 17: Imagem ilustrando uma região correspondente à classe de informação afloramento de rocha calcária

f) pastagem: área antropizada com presença predominante de espécies rasteiras, podendo haver alguns arbustos. Compreende pastagens, pastagens degradadas, áreas em estágio inicial de regeneração e áreas em processo avançado de perda da vegetação. Diferencia-se da classe caatinga parque pela menor ocorrência de arbustos e árvores e da classe solo exposto por haver maior presença de cobertura morta ou espécies rasteiras. A cobertura rasteira é geralmente composta pelo exótico capim Buffel e por malvas;



Figura 18: Imagem ilustrando uma região correspondente à classe de informação pastagem

g) campo rupestre: Trata-se de refúgios ecológicos montanos. Ocorrem em topos e encostas de grande parte das serras, caracterizando-se por solos extremamente rasos, litólicos, com cobertura vegetal incipiente, rica em cactáceas, bromeliáceas e pequenos arbustos pouco adensados.



Figura 19: Imagem ilustrando uma região correspondente à classe de informação campo rupestre

h) nuvem: nuvens presentes no momento da captura da imagem.



Figura 20: Nuvens e sombra de nuvens em detalhe de imagem TM/Landsat 5 de 2011 correspondentes a regiões das classes de informação nuvem e sombra respectivamente

i) cerrado: Corresponde à vegetação que permanece com massa foliar verde, durante todo o ano. Na estação seca reduz seu vigor, mas a pluviosidade maior e a temperatura mais baixa das serras permite a não senescência foliar. As espécies diferem das caatingas, havendo presença de espécies mais frequentes no cerrado e na mata atlântica.



Figura 21: Imagem ilustrando uma região correspondente à classe de informação cerrado

j) solo exposto: engloba áreas urbanas e áreas com cobertura vegetal totalmente suprimida ou altamente degradada, onde a maior parte da superfície é composta por solo descoberto. Justifica-se englobar as áreas urbanas nesta classe, pois não foi notada diferença destas em relação às respostas espectrais das demais áreas de solo exposto. As ruas são, em geral, não pavimentadas, os telhados compostos de telhas de barro com cor semelhante à do solo vizinho e as aglomerações urbanas são pequenas. Estes fatores provavelmente explicam a difícil delimitação da classe em imagens TM/Landsat 5 desta região.



Figura 22: Imagem ilustrando uma região correspondente à classe de informação solo exposto

k) sombra: sombra causada por nuvens ou por encostas íngremes. Áreas impedidas de receber plenamente a luz solar no instante da captura da imagem.



Figura 23: detalhe de imagem TM/Landsat 5 ilustrando uma região com sombras de encostas correspondente à classe de informação sombra

l) vegetação ciliar: engloba formações vegetais perenifólias que ocorrem ao longo dos corpos hídricos e em áreas de lençol freático raso, apresentando alto vigor foliar durante todo o ano.



Figura 24: Imagem ilustrando uma região correspondente à classe de informação vegetação ciliar (Autor: J. M. Faria, 2007)

Após a definição das classes, foi feito o aprimoramento da classificação por meio da edição do banco de amostras. Por várias vezes verificou-se, para cada amostra, por meio das matrizes de confusão, a correspondência com a classe esperada. Em seguida, analisando-se cada região e cada classe, foram acrescentados, retirados ou reposicionados os polígonos de amostragem. Ao final, foram utilizadas 785 amostras para classificação de uma área de 1.803 km². Para avaliação das classificações foram empregados os índices Exatidão Global e Kappa, utilizando-se como validação as amostras de treinamento e as de validação.

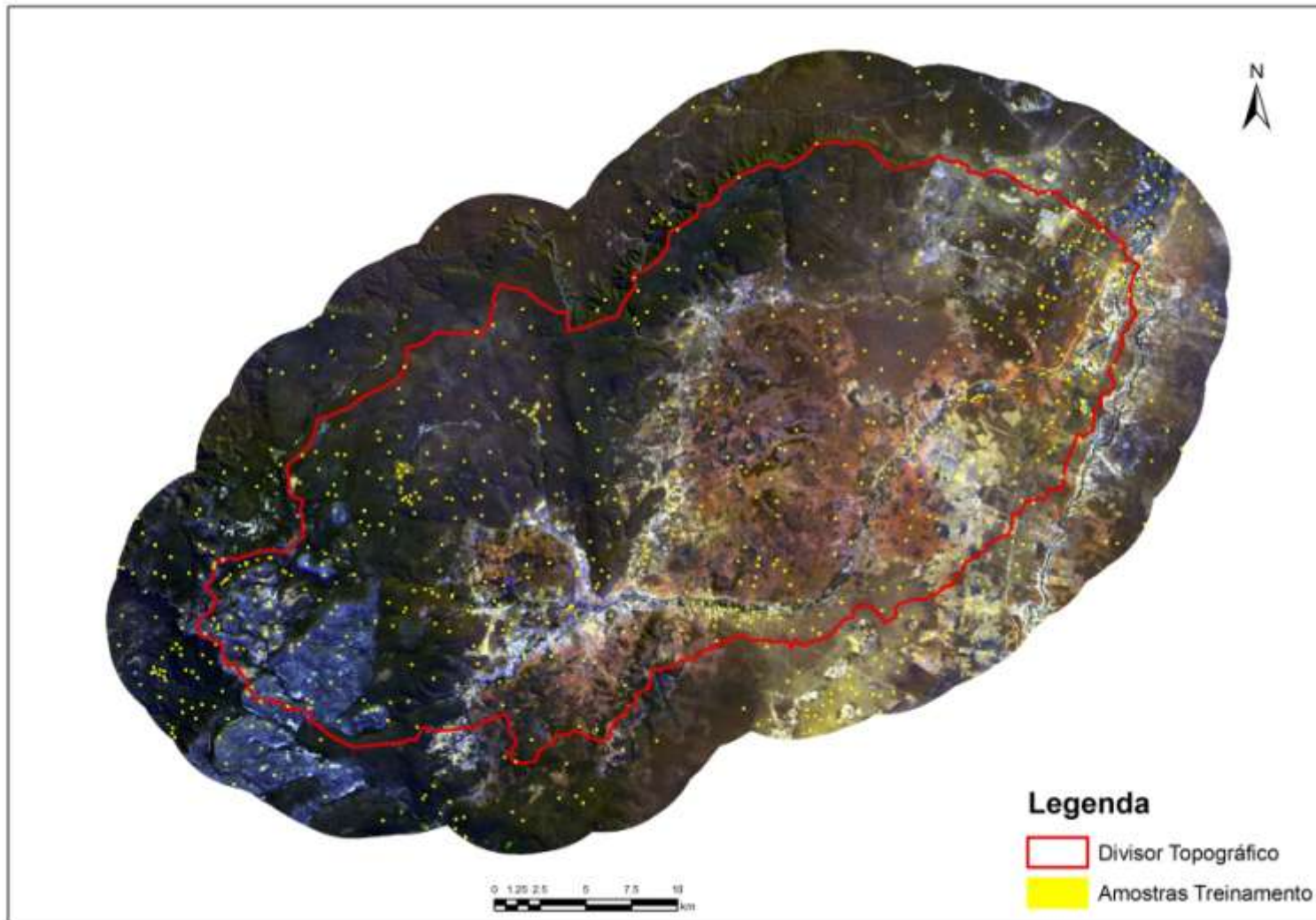


Figura 25: Amostras de treinamento utilizadas para classificar imagem TM/LandSat 5 de 2011 recortada com buffer de 5 km do divisor topográfico

A classificação supervisionada com o algoritmo máxima verossimilhança foi realizada para todas as 1.023 combinações possíveis tomando grupos de uma até dez bandas. Os índices Kappa foram ainda comparados estatisticamente pelo teste Z (CONGALTON, 1999) ao nível de 95 % de significância. A este nível, para que os Kappas não difiram estatisticamente: $-1,96 \leq Z \leq 1,96$.

$$Z = \frac{K_2 - K_1}{\sqrt{\sigma_{K_2}^2 + \sigma_{K_1}^2}}$$

Onde: K_i é o coeficiente de exatidão da combinação i ; e

$\sigma_{K_i}^2$ é a variância do índice Kappa da combinação i .

O desvio padrão do índice Kappa foi calculado pela seguinte equação de Bishop et al. (1975):

$$\hat{\sigma}_k = \frac{1}{n} \left[\frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2 - \theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4 - 4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right]$$

onde: $\theta_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c x_{ii}$; $\theta_2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}$; $\theta_3 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^c x_{ii} (x_{i+} + x_{+i})$; e

$$\theta_4 = \frac{1}{n^3} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^c x_{ij} (x_{j+} + x_{+j})^2.$$

3. Resultados e Discussões

As classificações supervisionadas realizadas para contemplar todas as combinações de bandas possíveis resultaram em 1023 respostas que tiveram sua acurácia temática apurada por meio do índice Kappa. Os resultados são apresentados nas próximas tabelas:

Tabela 2: Número de combinações por intervalos de índice Kappa

Índice Kappa	$\geq 0,93$	$\geq 0,90$	$\geq 0,85$	$\geq 0,80$	$< 0,40$
Combinações de bandas	32	405	749	877	10

A Figura 26 demonstra o que foi comentado acima. Ele relaciona a posição na classificação geral que cada combinação obteve em relação ao Kappa obtido. Percebe-se que a grande maioria das combinações de bandas conseguiu resultados acima de 0,80 e menos de 13% obtiveram índices abaixo de 0,40.

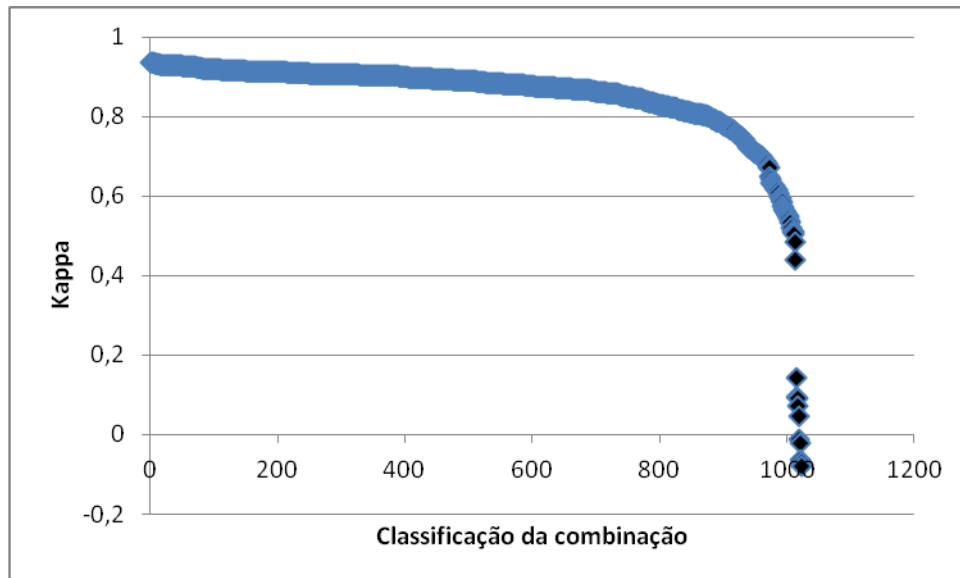


Figura 26: Classificação da combinação de bandas por Kappa obtido

A combinação que obteve o maior índice Kappa foi realizada a partir das bandas 1, 2, 3, 4 e 7 da imagem TM/LandSat-5, mais a segunda componente principal. Esta composição obteve índice Kappa de 0,93622 e uma exatidão global de 0,94178. Entretanto, estatisticamente pelo teste Z a 95 % de significância, os resultados das 361 melhores combinações não diferiram entre si, sendo tão bons quanto a primeira colocada (resultados com Kappa acima de 0,90429).

Dentre estas 361 melhores combinações, ocorreram duas com apenas quatro bandas: bandas 1, 5, 7 e PCA1 (242^a), com Kappa de 0,90995 e exatidão global de 0,9178; e bandas 1, 4, 5 e NDVI (357^a), com Kappa de 0,90431 e Exatidão Global de 0,91267. Ambas compartilham as bandas do azul, infravermelho médio e infravermelho distante. A primeira completa a combinação com a primeira componente principal e a segunda com o infravermelho próximo. Denotam-se destes dados a importância das bandas do infravermelho para a detecção de vegetação e o poder de condensação de informação não redundante nas componentes principais.

Cada banda participou de 512 diferentes combinações. A Tabela 3 expõe a taxa de ocorrência destas dentre as que obtiveram rendimento máximo.

Tabela 3: Taxa de ocorrência (%) das combinações possíveis para determinada banda dentre as 361 melhores

Bandas	b1	b2	b3	b4	b5	b7	NDVI	PCA1	PCA2	PCA3
Taxa de ocorrência	44,14	37,30	42,38	40,82	48,63	54,88	48,63	42,58	43,75	36,91

Na Tabela 4 observa-se que a banda 7 ocorre em 78% das melhores combinações, constituindo a mais representativa para estes resultados. As bandas 5 e NDVI também foram utilizadas com considerável frequência: 69% dos casos para ambas.

Tabela 4: Ocorrência de combinações com certa banda dentro das melhores resultados

Classificações	Ocorrência da banda (%)									
	b1	b2	b3	b4	b5	b7	NDVI	PCA1	PCA2	PCA3
5 melhores	100	40	100	60	60	80	40	60	100	0
10 melhores	100	40	100	70	70	90	40	60	100	0
20 melhores	90	50	100	60	55	95	55	55	95	5
50 melhores	74	64	100	70	68	84	68	60	80	2
361 melhores	63	53	60	58	69	78	69	60	62	52

A seguir estão expostas as ocorrências de combinações com “n” bandas dentre as “x” melhores combinações (Tabela 5):

Tabela 5: Ocorrência de combinações com “n” bandas dentre as “x” melhores combinações

(x) Melhores Classificações	Número de bandas nas combinações (n)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5 melhores	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0
10 melhores	0	0	0	0	0	4	6	1	0	0
20 melhores	0	0	0	0	0	10	8	2	0	0
50 melhores	0	0	0	0	3	19	19	8	1	0
361 melhores	0	0	0	2	85	143	92	33	6	0
Combinações possíveis	10	45	120	210	252	210	120	45	10	1

Observa-se que, 76,7 % das combinações de sete bandas, 73,3 % das de oito bandas, 68,1 % de seis bandas, 60,0 % das de nove bandas e 33,7 % das de cinco bandas alcançaram o melhor desempenho. Utilizar todas ou menos de cinco bandas para classificar áreas semelhantes à sub-bacia do rio Pacuí provavelmente não trará os melhores resultados. Combinações de 6 a 8 bandas deverão responder satisfatoriamente à tarefa, sobretudo quando se utilizam as faixas 5, 7 e NDVI. Percebe-se ainda que as bandas 1, 3 e PCA 2 são componentes recomendáveis para as combinações, já que obtiveram excelentes resultados dentre as 20 melhores composições. É possível perceber também que as bandas 2 e PCA 3 têm baixo rendimento, pois as combinações que participam são as que menos aparecem dentre os melhores resultados. Portanto não são recomendáveis suas utilizações.

As combinações de uma, duas e três bandas não obtêm resultados satisfatórios. Apenas combinações muito específicas de quatro bandas resultam em excelentes resultados e a variabilidade para este grupo é muito grande. A combinação de todas as bandas garante um resultado expressivo, muito próximo das primeiras colocadas, mas o excesso de informação leva a confusão e perda de rendimento. As combinações de nove bandas sofrem do mesmo problema, entretanto, a maior parte consegue os resultados esperados. As de cinco bandas têm de ser utilizadas com maior observação, pois apenas um terço delas resulta excelentes resultados. As de seis e,

sobretudo, sete e oito bandas tem maiores garantias de sucesso. Disto, depreende-se que a complexidade deste ambiente requer um número elevado de bandas para ser mais bem reconhecida, porém, o excesso de informação pode prejudicar a separação das feições. A curva de regressão da dispersão dos valores de Kappa em relação ao número de bandas utilizado na combinação também corrobora, pois, a partir das combinações de seis bandas atinge-se um “platô” de rendimento, com um ligeiro declínio a partir de nove bandas.

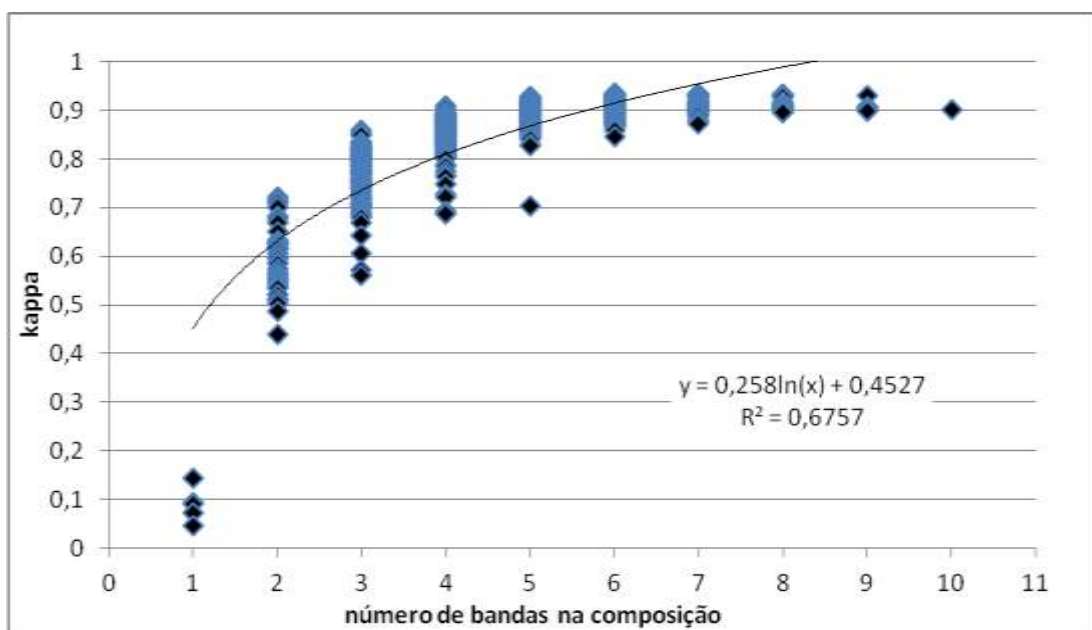


Figura 27: Dispersão de valores de Kappa por número de bandas nas combinações

A Figura 28 mostra o valor dos índices Kappa médios obtidos pelas combinações onde certa banda aparece, excetuando-se as combinações de uma banda, pois apresentaram resultados extremamente baixos:

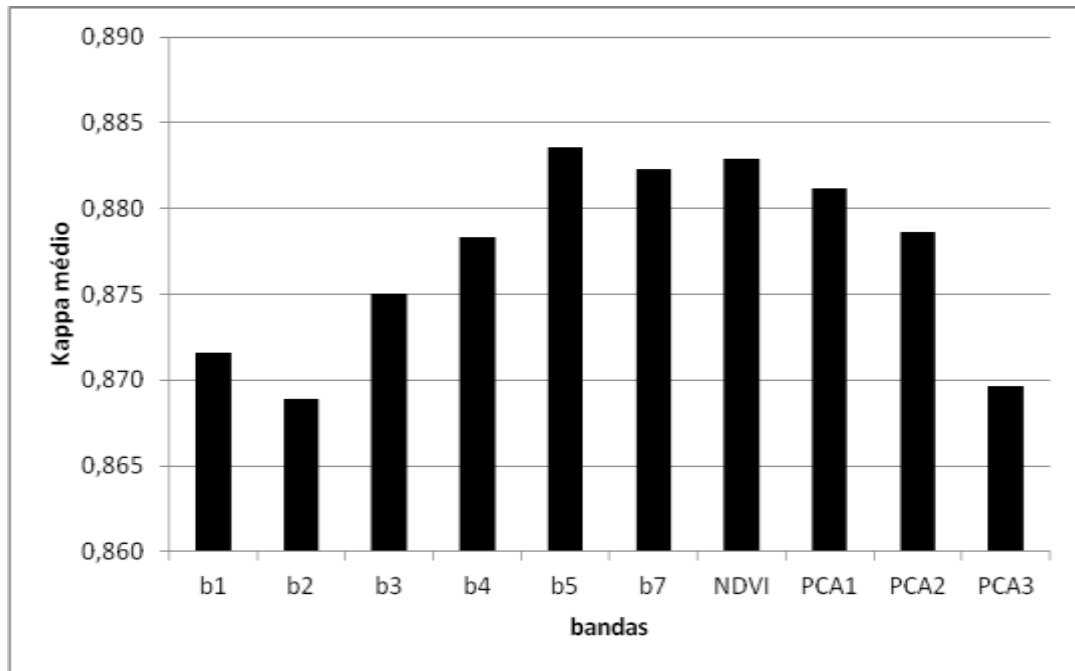


Figura 28: Valores de Kappa médio para as combinações em que determinada banda é utilizada

Percebe-se que a diferença entre índices Kappa médios não é grande, mas aponta exatamente as bandas que apareceram com maior frequência nas combinações mais bem sucedidas. As bandas 5, 7, NDVI e PCA1 são confirmadas como as que mais contribuem para os melhores resultados e as bandas 2 e PCA3 para os piores.

As figuras Figura 29 e Figura 30 apresentam os índices Kappa médios das 100 melhores combinações em que cada banda participa e nas 361 melhores em geral. Observa-se que todas as bandas têm condições de formar combinações com excelentes Kappas, chegando a banda 3 a conseguir resultados mais expressivos que as bandas 5, 6, NDVI e PCA1. Nas análises apresentadas até o momento percebe-se que há bandas que tem alta probabilidade de conseguir bons resultados utilizando-se uma combinação qualquer e que há outras que mesmo com média probabilidade de participar de combinações de sucesso, podem apresentar resultados excelentes.

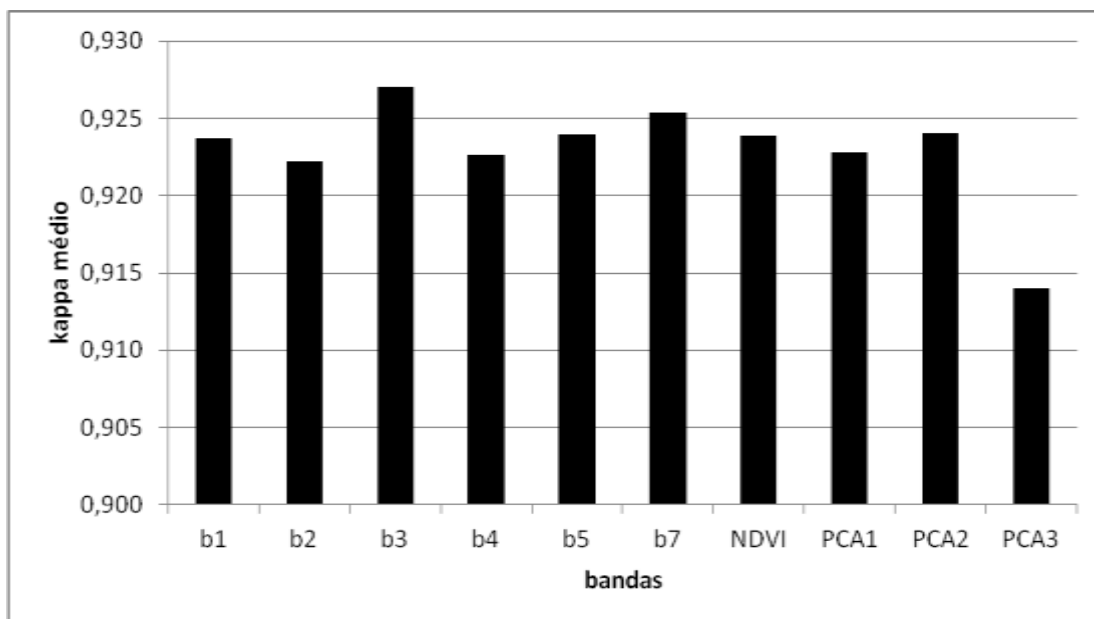


Figura 29: Valores de Kappa médio para as 100 melhores combinações em que determinada banda é utilizada

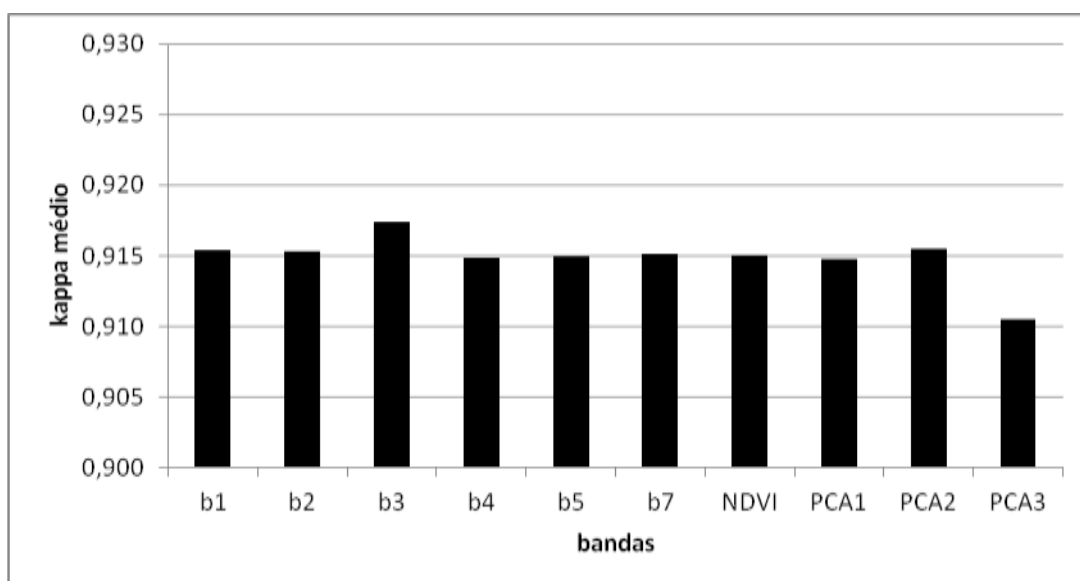


Figura 30: Valores de Kappa médio para as combinações em que determinada banda é utilizada, dentre as 361 melhores

A seguir, apresenta-se gráfico demonstrando o índice Kappa médio que as combinações possíveis de determinados grupos de bandas conseguiram, excetuando-se as de apenas uma banda:

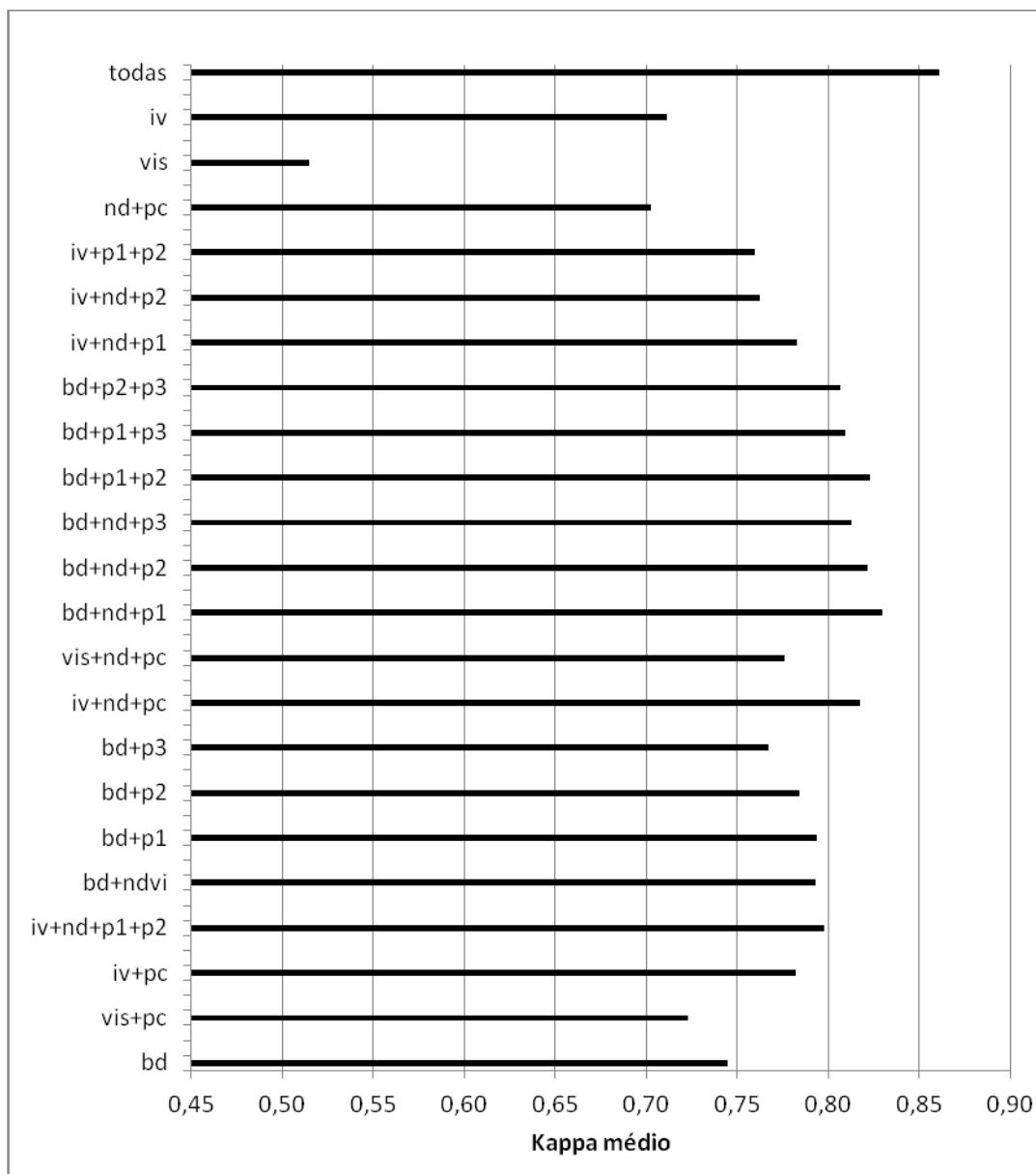


Figura 31: Valores de Kappa médio para as combinações em que apenas determinado grupo de bandas é utilizado, excetuando-se as de apenas uma banda (bd: bandas naturais do sensor TM; nd: índice de vegetação por diferença normalizada; pc: Componentes Principais; p1: Componente Principal 1; p2: Componente Principal 2; p3: Componente Principal 3; iv: bandas naturais do infravermelho; vis: bandas naturais do visível)

Percebe-se que a ausência de algum grupo de bandas afeta, ainda que moderadamente, o índice Kappa médio. Logo, confirma-se que as combinações de maior êxito são as compostas de muitas bandas. A porção central do gráfico reúne combinações que agrupam até oito bandas e como esperado, são as que têm os melhores resultados. Dentre as que agrupam até sete bandas destaca-se a que usa as bandas do infravermelho, as PCAs

e O NDVI. Fica claro que as bandas naturais s3s n3o obt3m resultados t3o expressivos. 3 necess3rio utilizar pelo menos as bandas do infravermelho e formar combina33es com duas artificiais para aumentar as chances de obter excelentes combina33es.

Lista-se abaixo as combina33es com os tr3s piores resultados dentro de cada grupo de combina33es:

3 bandas: b3b4b10; b1b2b3; b1b2b10;

4 bandas: b2b3b4b10; b1b3b4b10; b1b2b3b10;

5 bandas: b1b2b3b4b10; b2b3b4b6b10; b1b2b3b8b10;

6 bandas: b1b2b3b4b6b10; b1b3b4b7b8b10; b1b2b3b6b8b10

7 bandas: b1b2b3b4b5b9b10; b1b2b3b5b8b9b10; b1b2b3b4b7b8b10;

8 bandas: b1b2b3b4b7b8b9b10; b2b3b4b5b6b7b8b10;

b1b2b3b4b5b8b9b10;

9 bandas: b2b3b4b5b6b7b8b9b10; b1b2b4b5b6b7b8b9b10;

b1b2b3b4b5b6b7b8b10;

A banda b10, terceira componente principal, aparece em todas as piores combina33es. 3 justific3vel, pois, as duas primeiras PCAs carregam a maior parte da informa33o de toda a imagem e para esta e as demais (que n3o foram utilizadas por esta raz3o) sobra res3duo. Apenas em duas combina33es b3 n3o aparece. A banda b2 s3o n3o aparece em tr3s das combina33es acima. Em cinco combina33es b1 n3o aparece. Em seis b4. PCA2 em 10. Em catorze, b5, b6 e NDVI. A segunda componente principal, b9, n3o aparece em 15 combina33es das 21 analisadas. As bandas PCA1, b5, b6, NDVI e PCA2 aparecem apenas nos maiores conjuntos, onde obrigatoriamente deveriam aparecer, pois h3 menos combina33es poss3veis.

Analisando-se as duplas de bandas que mais ocorreram, excetuando-se as combina33es com b10, resultou: b2b3 (16 vezes), b3b4 (14 vezes), b1b2 (14 vezes), b1b3 (12 vezes), b2b4 (12 vezes), b1b4 (10 vezes).

Quanto às trincas, as que apareceram com maior frequência nas combinações menos exitosas, excetuando-se as com b10, foram: b1b2b3 (12 vezes); b2b3b4 (11 vezes); b1b3b4 (9 vezes); b1b2b4 (8 vezes).

Para obter conclusões mais confiáveis, analisou-se todas as combinações com índices Kappa moderados e baixos. Foram encontradas 158 combinações que têm índice Kappa abaixo de 0,8050. Escolheu-se este valor de exatidão devido a não haver diferenças estatísticas a 95 % de significância entre as combinações deste valor até 0,7580:

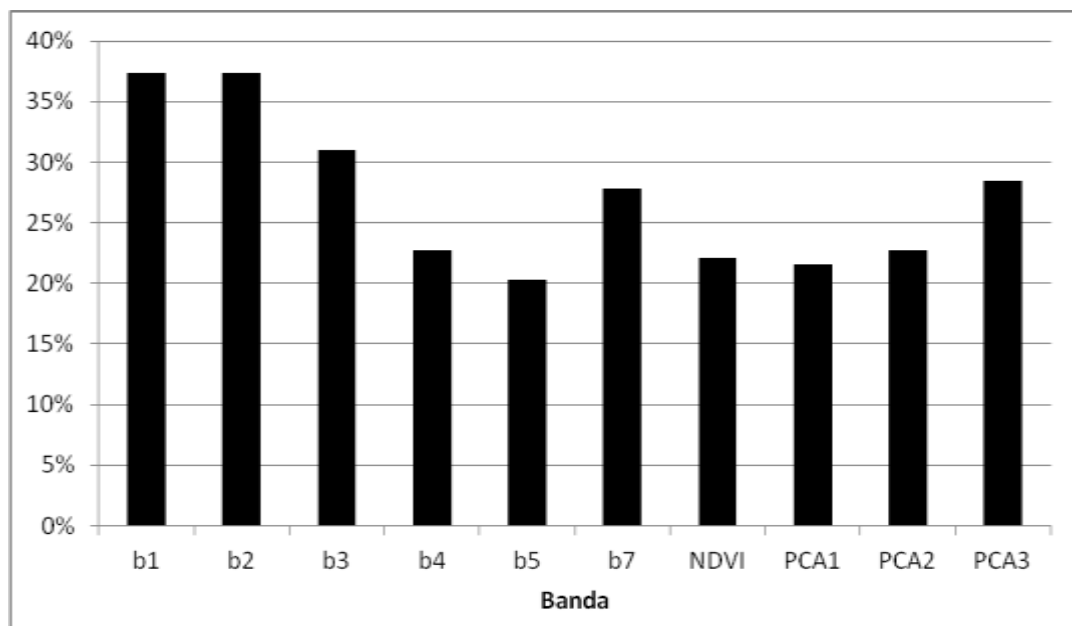


Figura 32: Taxa de ocorrência de determinada banda dentro das combinações com índices Kappa moderados e baixos (158)

Neste grupo as bandas 1, 2 e 3 superaram a PCA3 em contribuição para resultados menos expressivos. Entende-se disto que as três primeiras bandas (visível) tendem a causar depreciação e que a PCA3 apenas carece de variabilidade de informação. Quando a combinação tem poucas bandas, sua participação é requerida além do que pode contribuir. Já as demais possuem maior variabilidade, no entanto que em muitos casos causam confusão para o classificador.

As três melhores combinações para cada grupo de combinações foram:

3 bandas: b4b5b6; b5b7b8; b5b6b8;

4 bandas: b1b5b6b8; b1b4b5b6; b3b6b9b10;

5 bandas: b3b4b6b7b9; b3b4b5b6b9; b3b4b5b6b7;

6 bandas: b1b2b3b4b6b9; b1b3b4b5b6b9; b1b2b3b6b8b9;

7 bandas: b1b3b4b5b7b8b9; b1b3b5b6b7b8b9; b1b3b4b5b6b8b9;

8 bandas: b1b2b3b4b6b7b8b9; b1b3b4b5b6b7b8b9; b1b2b3b4b5b7b8b9;

9 bandas: b1b2b3b4b5b6b7b8b9; b1b3b4b5b6b7b8b9b10;

b1b2b3b4b5b6b8b9b10;

Bandas mais frequentes (em 21 combinações): b6 (18 vezes); b3 (16 vezes); b5 (16 vezes); b4 (15 vezes); b1 (14 vezes); PCA2 (14 vezes); PCA1 (13 vezes); NDVI (10 vezes); b2 (6 vezes); PCA3 (3 vezes).

Percebe-se que a banda PCA3 praticamente não participa dos melhores resultados, confirmando seu fraco desempenho. Aparece duas vezes nas combinações de 9 bandas porque só há uma combinação possível sem ela, justamente a que obteve maior Kappa. A banda b2 também apareceu pouco, mostrando que sua utilização deve ser avaliada com mais cuidado. Analisando-se a taxa de participação das bandas dentro das combinações que atingiram índices Kappa maiores que 0,90, obteve-se resultados concordantes.

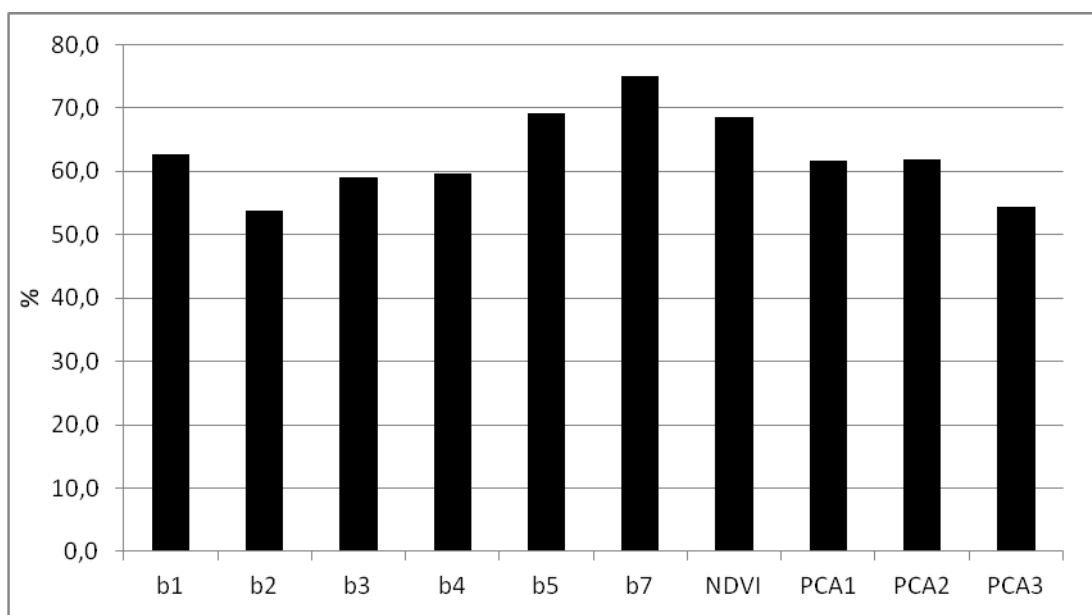


Figura 33: Taxa de ocorrência de determinada banda dentre as combinações que conseguiram índices Kappa acima de 0,90

Vale a pena observar a ocorrência da banda 7: fica em quinto lugar dentre as que aparecem nas piores combinações e em primeiro nas que formam as melhores combinações. É provável que sua importância esteja relacionada à sua sensibilidade à morfologia do terreno (INPE, 2009). O relevo da sub-bacia do rio Pacuí promove a ocorrência de chuvas orográficas, que é um dos fatores de maior importância para a variabilidade das formações vegetais. É provável que no estudo de áreas de caatinga mais planas a banda participe de combinações menos exitosas.

4. Conclusões

De acordo com o exposto anteriormente, conclui-se que a utilização da terceira componente principal não é recomendável. A maior parte das combinações com ela obtiveram índices Kappa inferiores. As combinações com a banda 2 também conseguiram pouca representação dentre as melhores. Sua utilização deve ser feita atentando-se para as raras combinações que se correlacionam bem com os ambientes do Submédio São Francisco. Já NDVI, PCA1 e PCA2, bem como as bandas do infravermelho são sempre boas opções para formar combinações exitosas. Por fim, percebeu-se que as combinações com mais bandas possuem maior probabilidade de êxito e devem ser as utilizadas nas classificações de ambientes semelhantes ao estudado. O ideal é utilizar entre seis e nove bandas.

5. Considerações Finais e Recomendações

Prezando-se por menores processamentos de dados, seria recomendada a utilização em mapeamentos de classes de usos, as duas combinações de quatro bandas que ficaram dentre as primeiras colocadas: b1b5b6b8 e b1b4b5b6. No entanto, como a probabilidade de combinações desta ordem obterem os melhores resultados é muito baixa, deve-se optar por no mínimo combinações de seis bandas.

Analisando-se a tradicional combinação 3, 4 e 5 percebe-se que apesar de apresentar índice Kappa 0,82, aparece apenas em 834ª colocada e é apenas a 17ª melhor combinação de três bandas. Logo se percebe que

pode ser utilizada nesta região estudada, porém há diversas outras opções de combinações que possibilitarão maior segurança na obtenção de bons resultados.

CAPÍTULO II

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA SUB-BACIA DO RIO PACUÍ UTILIZANDO CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA E SUBTRAÇÃO DE NDVIS A PARTIR DE IMAGENS TM/LANDSAT-5

1. Introdução

É visto em toda a sub-bacia do rio Pacuí e em todo o submédio São Francisco a continuidade da prática de desmatamento e o raleamento da caatinga pelo sobrepastoreio. Além disso, há incremento e abandono de áreas agrícolas sazonalmente ou definitivamente. Como a Caatinga possui apenas cerca de 2 % de sua área protegida por unidades de conservação de proteção integral (Tabarelli e Vicente, 2003), preocupa o avanço humano desregrado sobre as últimas parcelas preservadas do bioma. É preciso demonstrar à sociedade que a situação é grave e urgente. Muito deste ambiente já foi perdido antes mesmo que fosse conhecido. A região da sub-bacia do rio Pacuí está inserida na área de amortecimento do pretendido Parque Nacional do Boqueirão da Onça e dentro do também previsto Monumento natural da Toca da Boa Vista. A importância ecológica desta região, um dos últimos refúgios da vida silvestre em todo o nordeste, é inegável. A implantação das unidades de conservação na prática demandará muita habilidade, planejamento e dedicação no trabalho de conscientização e adequação dos processos produtivos junto à população. Saber os setores prioritários de atuação onde se encontram as áreas mais ameaçadas e prioritárias para a conservação é fundamental.

Neste capítulo foram testados e empregados métodos de sensoriamento remoto para o reconhecimento da situação ambiental de grandes áreas no submédio São Francisco, utilizando-se a sub-bacia do rio Pacuí como área piloto. Foram analisados o uso e a ocupação da terra, e a evolução dos processos de antropização.

Para que sejam reconhecidas as áreas que estão degradadas há muito tempo e as que estão em processo de degradação nas frentes de alteração da paisagem, este trabalho estudou a evolução do uso da terra nas duas últimas décadas na sub-bacia do rio Pacuí, enfocando principalmente a condição de conservação, degradação e recuperação da

cobertura vegetal, atentando-se ainda para o aproveitamento ou não pela agricultura. Deste modo, se fez possível reconhecer os setores que tem sofrido maior pressão e aqueles onde há recuperação ambiental, facilitando o direcionamento das políticas públicas de conservação dos recursos naturais. A análise se pautou, sobretudo, na longa série de dados coletados pelo satélite Landsat-5 sobre a superfície da Terra.

Trabalhos semelhantes foram executados por Ferrari et al. (2011) e Costa et al. (2011) estudando a variação da cobertura vegetal em áreas de Alegre - ES e Cachoeiro do Itapemirim - ES, respectivamente, utilizando o método de subtração de imagens NDVI. Chegaram à conclusão de que a técnica possibilitou satisfatoriamente detectar a degradação e a regeneração da vegetação. Estes autores utilizaram o intervalo “média mais desvio padrão a média menos desvio padrão” como referência para delimitar mudanças não significativas na cobertura vegetal. Os valores acima e abaixo foram considerados regeneração e desmatamento respectivamente. Já Silva et al. (2009) dividiu sua área de estudos em classes e dentro destas fez distinções de três níveis de perda, três níveis de ganho e uma faixa de estabilidade. Todos os intervalos foram calculados com referência nas médias e desvios padrões de cada classe.

2. Materiais e métodos

Os materiais cartográficos utilizados foram imagens TM/Landsat-5 de 2011, 2001, 1992 e duas imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission): SC-24-V-C e SC-24-Y-A. As primeiras foram fornecidas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e as do SRTM pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) por meio de seus portais eletrônicos. Indiretamente, para melhor definição de classes, foram utilizadas duas imagens GeoEye de 2010, uma fornecida pela Codevasf e a outra obtida por meio do software Google Earth. Em campo foram utilizados aparelhos de GPS de navegação “Garmin eTrex Vista” para registro de localizações de interesse.

Foram utilizados dois métodos: a classificação supervisionada do uso do solo (vide capítulo 1) e a subtração de índices de vegetação NDVI. O

primeiro consistiu na definição de todas as classes de uso e cobertura separáveis na imagem por meio do algoritmo Máxima Verossimilhança. A partir disto foram analisadas as que correspondiam a áreas degradadas ou conservadas. O segundo método se baseia na subtração das imagens NDVI pixel a pixel. A degradação ou regeneração da cobertura vegetal é evidenciada pela separação das áreas com pixels contendo os valores extremos da curva de distribuição, de modo que os mais baixos ou os mais altos valores significam alteração brusca. Os valores limites são definidos a partir de áreas em que se conhece o histórico de uso.

De posse da imagem de 10 de junho de 2011 georreferenciada, recortada e classificada por uso da terra (vide capítulo 1), procedeu-se o georreferenciamento (com base na imagem de 2011) e a classificação das demais imagens TM-Landsat-5 (com coleta de novas amostras de treinamento e validação). A primeira foi capturada em 4 de outubro de 2001 e a segunda em 24 de agosto de 1992. Estas imagens foram escolhidas por apresentarem cobertura de nuvens praticamente nula, não possuírem erros radiométricos, perdas de linhas, e representarem aproximadamente uma e duas décadas respectivamente, antes de 2011. A combinação das bandas escolhida foi 1, 2, 3, 4, 5, 7 e NDVI, pois obteve resultados excelentes para as três classificações supervisionadas. O índice Kappa para a classificação da imagem de 2011 foi de 0,93 e a Exatidão Global de 0,94. Para a de 2001, foram respectivamente de 0,90 e 0,91. Para a de 1992, 0,92 e 0,93. Para o cálculo dos índices, foram utilizadas novas amostras de validação coletadas sobre as imagens em setores com usos e ocupações conhecidos.

Após a classificação supervisionada das imagens e obtenção das classes de uso do solo, procedeu-se o cálculo das respectivas áreas. Com estes valores analisou-se a evolução das áreas degradadas e preservadas. Foram consideradas áreas degradadas a expansão de campos rupestres e as classes “agricultura”, “solo exposto” e “campo sujo”. Não foram consideradas no cálculo as áreas de “caatinga parque” devido a sua proximidade espectral com a caatinga aberta a depender do estágio fenológico das plantas, característica que está diretamente correlacionado com a distribuição temporal e a intensidade pluviométrica. Quando as áreas

de caatinga parque encontram-se com as plantas restantes em pleno vigor vegetativo, há um mascaramento da exposição do solo pelas copas e espécies rasteiras. Já no caso das áreas de caatinga aberta, durante a seca há maior exposição do solo e a resposta espectral se aproxima daquela referente às áreas antropizadas. Logo, foram analisadas apenas as áreas degradadas com perda intensa dos componentes arbóreo e arbustivo.

Em seguida, foi feita a análise da evolução do desmatamento por meio do método de subtração de NDVIs. Foram utilizadas as mesmas três imagens antes citadas e ainda outra de 13 de maio de 2001 (final de época úmida), a qual foi denominada “2001a” para diferenciar-se da imagem de época seca, 2001b. Como duas ou mais imagens sempre serão produzidas em condições de umidade, visibilidade, insolação e elevação solar diferentes, para serem comparadas devem passar por tratamentos. Neste caso as bandas do vermelho e do infravermelho próximo de cada imagem foram submetidas a calibração radiométrica e normalização. O primeiro tratamento consiste na conversão dos números digitais das bandas para radiância ($W/m^2.sr.\mu m$) a nível do sensor e foi baseado no trabalho de CHANDER et. al. (2009), que apresenta coeficientes e métodos para a calibração de imagens Landsat. A equação utilizada para conversão do Número Digital (ND) em radiância monocromática, de acordo com MARKHAM e BARKER (1987), é a seguinte:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n}}{DN_{m\acute{a}x} - DN_{m\acute{i}n}} \right) * (DN - DN_{m\acute{i}n}) + L_{m\acute{i}n}$$

Onde:

L_{λ} □ Radiância espectral monocromática ($W/m^2.sr.\mu m$)

$L_{m\acute{a}x}$ e $L_{m\acute{i}n}$ □ São constantes de calibração de um determinado sensor

$DN_{m\acute{a}x}$ e $DN_{m\acute{i}n}$ □ São os valores máximos e mínimos que o Número Digital pode alcançar

DN □ Número digital de cada pixel

O próximo passo foi calcular a reflectância de superfície, que pode ser obtida utilizando-se a equação:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda}}{E_{\lambda} * \cos(z) * d_r}$$

Onde:

ρ_{λ} □ Reflectância de superfície.

L_{λ} □ Radiância espectral monocromática (W/m².sr.μm);

E_{λ} □ Irradiância solar média no topo da atmosfera (mW/cm².Ω.μm);

z □ Ângulo solar zenital (graus) no momento da aquisição;

d_r □ Inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol em unidades astronômicas;

Para aprimorar a análise, antes de se produzir os NDVIs, foram aplicadas sobre as reflectâncias de superfície a Uniformização de Médias e Variâncias (UMV). O método utiliza-se de uma transformação linear para igualar variâncias e médias entre as bandas correspondentes de diferentes imagens. Foi tomada como referência a imagem de 2011. As equações utilizadas para o procedimento foram as seguintes:

$$S' = S \cdot \text{ganho} + \text{offset}$$

$$\text{ganho} = \sqrt{\frac{\sigma_R^2}{\sigma_S^2}}$$

$$\text{offset} = \mu_R - \sqrt{\frac{\sigma_R^2}{\sigma_S^2}} * \mu_S$$

Onde:

S' é a imagem uniformizada;

S é a imagem a ser ajustada;

σ_R^2 é variância da imagem de referência;

σ_S^2 é a variância da imagem a ser ajustada;

μ_R é a média da imagem de referência;

μ_S é a média da imagem a ser ajustada.

Para a produção dos NDVIs foram utilizadas as bandas de reflectância de superfície uniformizadas produzidas, seguindo a equação proposta por Rouse et al. (1973):

$$NDVI = \left(\frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \right)$$

Onde:

ρ_{IVP} □ Reflectância na faixa do infravermelho próximo

ρ_V □ Reflectância na faixa do vermelho

Tabela 6: Parâmetros estatísticos dos NDVIs

Ano da imagem							
1992		2001 ^a		2001b		2011	
μ	σ	μ	Σ	μ	σ	μ	Σ
0,3986	0,1400	0,4053	0,1601	0,4153	0,1397	0,4035	0,1512

A partir dos NDVIs, fez-se a subtração simples daqueles referentes às imagens de época seca (08/1992 e 10/2001) por aqueles referentes às imagens de fim de época úmida (05/2001 e 06/2011). Logo, como é esperado para a época úmida que o NDVI apresente maiores valores, a operação descrita retornou os menores referentes à regeneração ou reposição foliar natural da vegetação e os mais elevados referentes a desmatamento. Ou seja, se na imagem mais recente e de época úmida a cobertura do solo responde com NDVI menor que o da época seca do passado, é porque foi danificada.

As imagens diferença foram divididas por classes de uso e ocupação encontradas para a imagem mais antiga, de modo que as variações pudessem ser analisadas em setores homogêneos. Cada parte da imagem foi dividida em três classes limitadas por valores de referência encontrados a partir de áreas com histórico de evolução da cobertura vegetal conhecido: desmatamento, inalteração e regeneração.

Atentou-se por retirar das áreas de regeneração aquelas que na verdade consistiam em implantação de cultura agrícola, ou correspondiam à regeneração foliar natural da vegetação. Não foram considerados desmatamentos em áreas de solos expostos e qualquer alteração em afloramentos calcários, nuvem e sombra.

Com isto, foram calculadas as respectivas áreas e feitas as devidas análises.

3. Resultados e Discussões

Classificação Temática Supervisionada

A classificação supervisionada das imagens de 10 de junho de 2011, 4 de outubro de 2001 e 24 de agosto de 1992 resultou nos quantitativos de áreas para as classes determinadas apresentados na Tabela 7 e expostos na Figura 34.

Tabela 7: Áreas e percentuais de classes temáticas para a sub-bacia do rio Pacuí em diferentes anos

Classe temática	1992		2001		2011	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Agricultura	2.156	2,1	2.095	2,1	4.090	4,1
Caatinga aberta	14.417	14,3	10.215	10,2	16.217	16,1
Caatinga densa	23.188	23,1	22.700	22,6	24.413	24,3
Caatinga parque	10.364	10,3	13.645	13,6	4.941	4,9
Calcário (afloram.)	575	0,6	768	0,8	440	0,4
Campo rupestre	7.529	7,5	8.639	8,6	8.820	8,8
Pastagem	15.530	15,4	16.944	16,8	16.439	16,3
Nuvem	0	0,0	0	0,0	4	0,0
Cerrado	16.971	16,9	14.621	14,5	15.082	15,0
Solo exposto	4.733	4,7	7.364	7,3	6.594	6,6
Sombra	1.171	1,2	443	0,4	1.536	1,5
Vegetação ciliar	3.926	3,9	3.155	3,1	2.032	2,0
Total	100561	100%	100589	100%	100609	100%

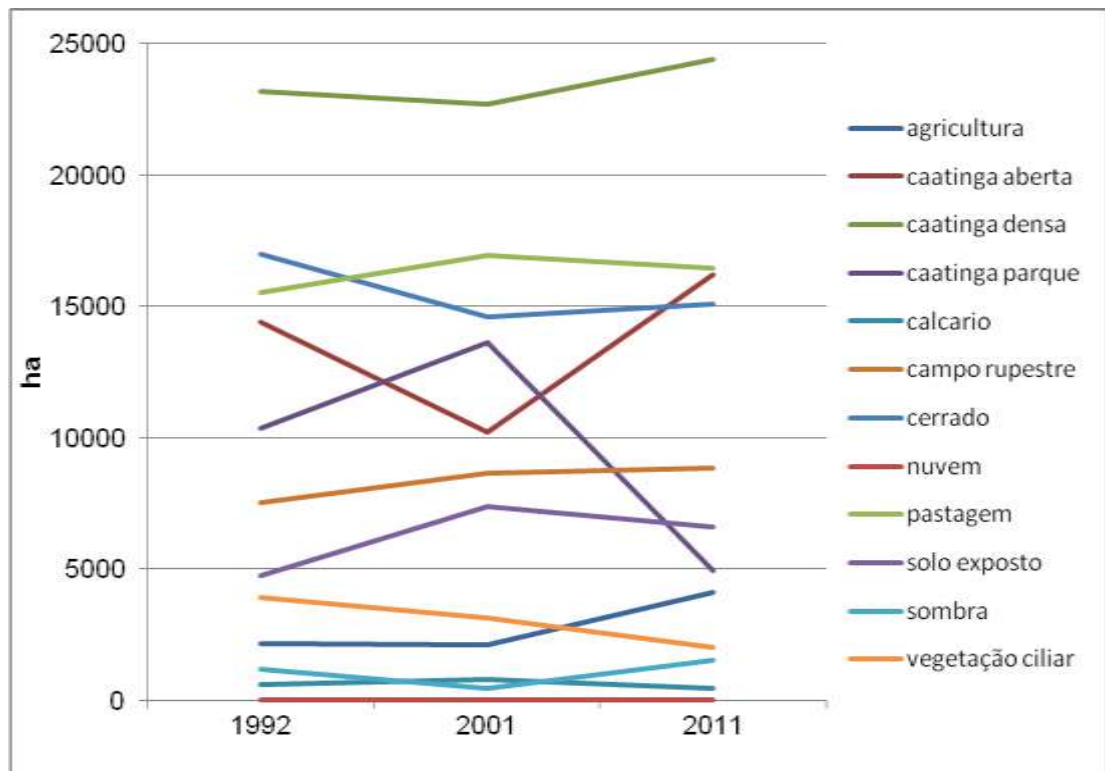


Figura 34: Avaliação da cobertura vegetal na sub-bacia do rio Pacuí em três diferentes momentos das duas últimas décadas

Ao analisar classificações temáticas referentes a áreas de caatinga, deve-se sempre atentar para o estágio fenológico em que a vegetação se encontra. Nas épocas úmidas o vigor da vegetação, ainda que em locais degradados, leva áreas com valores espectrais próximos ao limite de uma classe a migrarem para classes com características de vegetação mais densa. Na seca, a senescência foliar torna áreas como os campos rupestres e caatingas abertas, mais confundíveis com classes de vegetação mais esparsa como campos sujos, solo exposto e caatinga parque.

Devido a estes fatores, a evolução das classes deve ser analisada em conjunto, por grupos de interação. Como o objetivo deste trabalho foi reconhecer as transformações no uso da terra na sub-bacia do rio Pacuí, a antropização severa do ambiente foi analisada como se expõe a seguir.

Foram consideradas como áreas severamente antropizadas as seguintes classes: solo exposto, campo sujo, expansão de campos rupestres e agricultura. Áreas de caatinga parque não foram mensuradas neste conjunto devido ao alto confundimento com caatinga aberta (dependente do estágio fenológico) e por ainda conterem boa parte do estrato arbóreo. A

ampliação de campos rupestres entra no somatório, pois, as regiões de solos litólicos com a cobertura vegetal degradada frequentemente tem resposta espectral semelhante a esta classe. Mesmo que estes solos possuam baixo potencial agrícola, em muitas áreas a vegetação que os cobre tem sido removida para ampliação de pastagens, criação extensiva de rebanhos, obtenção de lenha e implantação de cultivos de sequeiro. Em 1992, o acréscimo de campos rupestres não foi mensurado por ser o ano de referência. A classe calcário não foi considerada no somatório, pois sua alteração medida ao longo das duas décadas correlaciona-se bem com a pluviosidade apresentada nos períodos anteriores às capturas das imagens. Em meio ao afloramento rochoso, principalmente em fendas, e ao longo das bordas, há vegetação instalada naturalmente e a variação da densidade foliar das copas dos arbustos e árvores, dependente do estágio fenológico, provoca confundimento com outras classes na análise do classificador.

Em 1992, com o acréscimo de campos rupestres não mensurado (primeiro ano analisado), as áreas antropizadas somaram 22.419 ha. Em 2001 (segundo ano de referência) somaram 27.513 ha e em 2011 o resultado foi 28.414 ha.

Tabela 8: Evolução da antropização da sub-bacia do rio Pacuí

	1992		2001		2011	
	ha	%	ha	%	ha	%
ASA	22.419	22	27.513	27	28.414	28
AT Sub-acia	100.561		100.589		100.609	

%; percentuais em relação à área total da sub-bacia; ASA: áreas severamente antropizadas; AT: área total classificada.

O avanço da degradação da cobertura vegetal teve forte diminuição na última década, mas ainda continua. A abertura de áreas para a agricultura irrigada e o avanço da exploração de áreas ciliares e solos litólicos são as maiores contribuições.

As áreas ciliares são mais impactadas pela pecuária, enquanto a agricultura irrigada impacta predominantemente áreas de Cambissolos

Eutróficos dos tabuleiros próximos ao rio Pacuí. A agricultura de sequeiro ampliou seus domínios na região a leste de Engenho do Pacuí com o cultivo de sisal e em 2011, a forte ampliação da área classificada como agricultura se deve ainda às culturas de ciclo curto plantadas durante a estação chuvosa sobre áreas de solos expostos e campos sujos principalmente sobre os Cambissolos Eutróficos.

Sabe-se que o relevo tem forte influência sobre a constituição dos ambientes e sobre a ocupação humana. A pluviosidade, os solos e o grau de dificuldade para a construção de acessos são alguns dos principais fatores que moldam o uso da terra. Percebe-se claramente durante a análise visual das imagens classificadas que há grande diferença de ocorrência das classes entre a região serrana e o vale do rio Pacuí/ Salitre. A fim de quantificar melhor a antropização dos ambientes, foi feita a análise dos dados divididos nas duas regiões topográficas, ano a ano. A cota 680 m foi utilizada como limite.

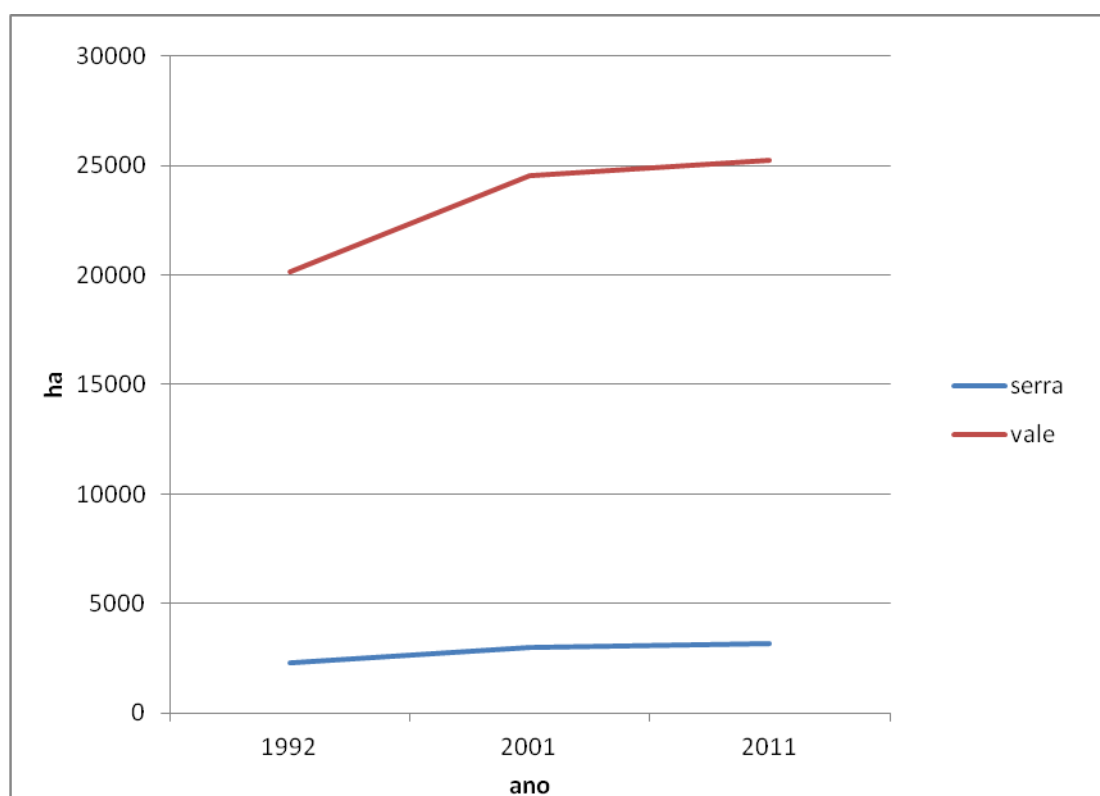


Figura 35: Área severamente antropizada em três diferentes anos, por setor topográfico

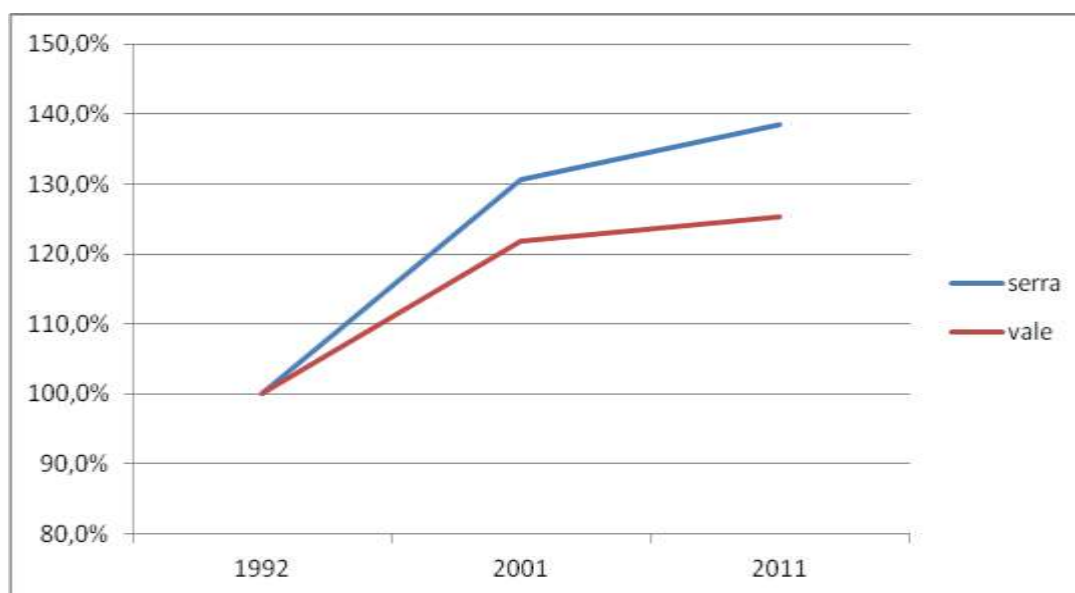


Figura 36: Percentual de áreas severamente antropizadas em relação ao ano de 1992, por setor topográfico

Percebe-se claramente que o quantitativo de áreas degradadas e em degradação no vale é muito maior que na serra. Em 2011 correspondiam a 44,5 % do vale e a 7,2 % das serras. A região de relevo mais branda, principalmente por sua maior facilidade de acesso e por seus melhores solos, tem historicamente sofrido maior pressão. No entanto, como uma grande proporção das áreas com alguma possibilidade de utilização agropecuária estão ocupadas neste setor, a pressão sobre a serra aumentou e o acréscimo relativo de áreas degradadas é maior nesta porção.

Tabela 9: Ocorrência de áreas severamente antropizadas por domínio topográfico

	1992		2001		2011	
	ha	%	ha	%	ha	%
ASA Serras	2.289	5,2	2.989	6,8	3.172	7,2
AT Serras	43.865		43.874		43.884	
ASA Vale	20.127	35,5	24.521	43,3	25.239	44,5
AT Vale	56.666		56.688		56.698	

%: percentuais em relação à área total da sub-bacia; ASA: áreas severamente antropizadas; AT: área total classificada.

A seguir estão expostos os dados detalhados obtidos na classificação supervisionada, divididos por domínio topográfico.

Tabela 10: Resultados da classificação temática segregados por domínio topográfico

1992	> 680 m	< 680 m
	ha	
vegetação ciliar	2450	1475
cerrado	16797	168
caatinga densa	13369	9812
caatinga aberta	885	13527
calcário	74	500
campo rupestre	6084	1441
caatinga parque	885	9476
agricultura	473	1683
pastagem	1342	14186
solo exposto	474	4257
nuvem	0	0
sombra	1032	139
Total	43865	56666

USO DA TERRA EM 1992

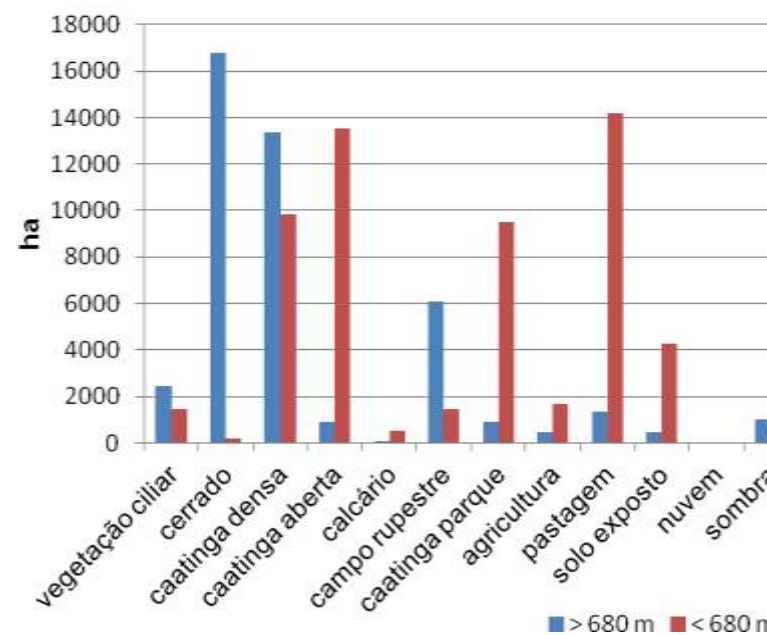


Figura 37: Ocorrência das diversas classes temáticas por domínio topográfico em 1992

Tabela 11: Resultados da classificação temática segregados por domínio topográfico

2001	> 680 m	< 680 m
	ha	
vegetação ciliar	2464	690
cerrado	14538	77
caatinga densa	14276	8418
caatinga aberta	771	9440
calcário	87	681
campo rupestre	7013	1622
caatinga parque	2271	11369
agricultura	411	1683
pastagem	966	15977
solo exposto	684	6680
nuvem	0	0
sombra	392	51
Total	43874	56688

USO DA TERRA EM 2001

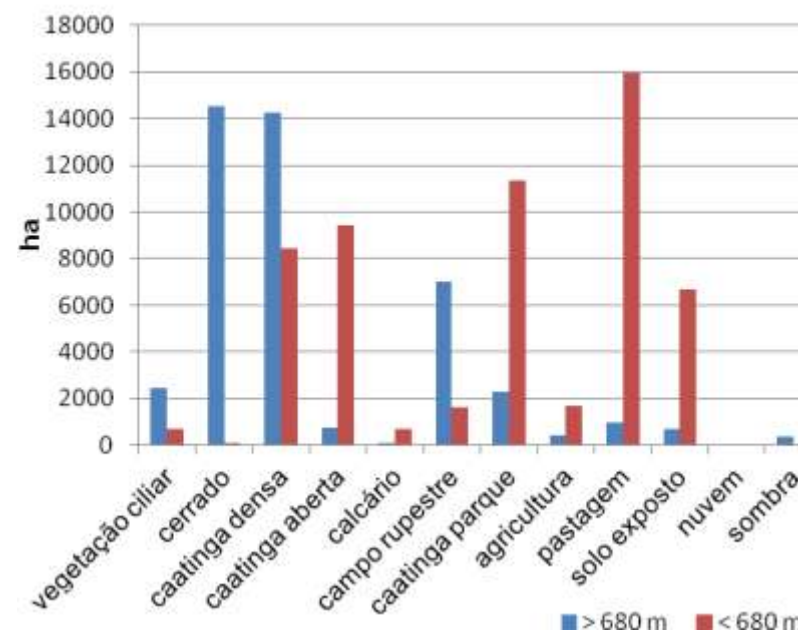


Figura 38: Ocorrência das diversas classes temáticas por domínio topográfico em 2001

Tabela 12: Resultados da classificação temática segregados por domínio topográfico

2011	> 680 m	< 680 m
	ha	
vegetação ciliar	1671	360
cerrado	14908	169
caatinga densa	16006	8403
caatinga aberta	499	15711
calcário	19	420
campo rupestre	6914	1902
caatinga parque	108	4831
agricultura	1073	3016
pastagem	868	15570
solo exposto	401	6192
nuvem	4	0
sombra	1413	123
Total	43884	56698

USO DA TERRA EM 2011

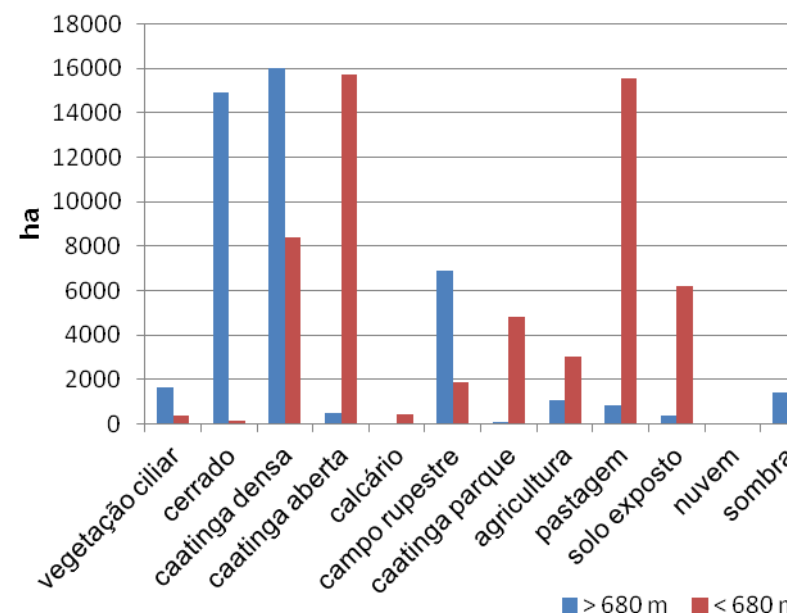


Figura 39: Ocorrência das diversas classes temáticas por domínio topográfico em 2011

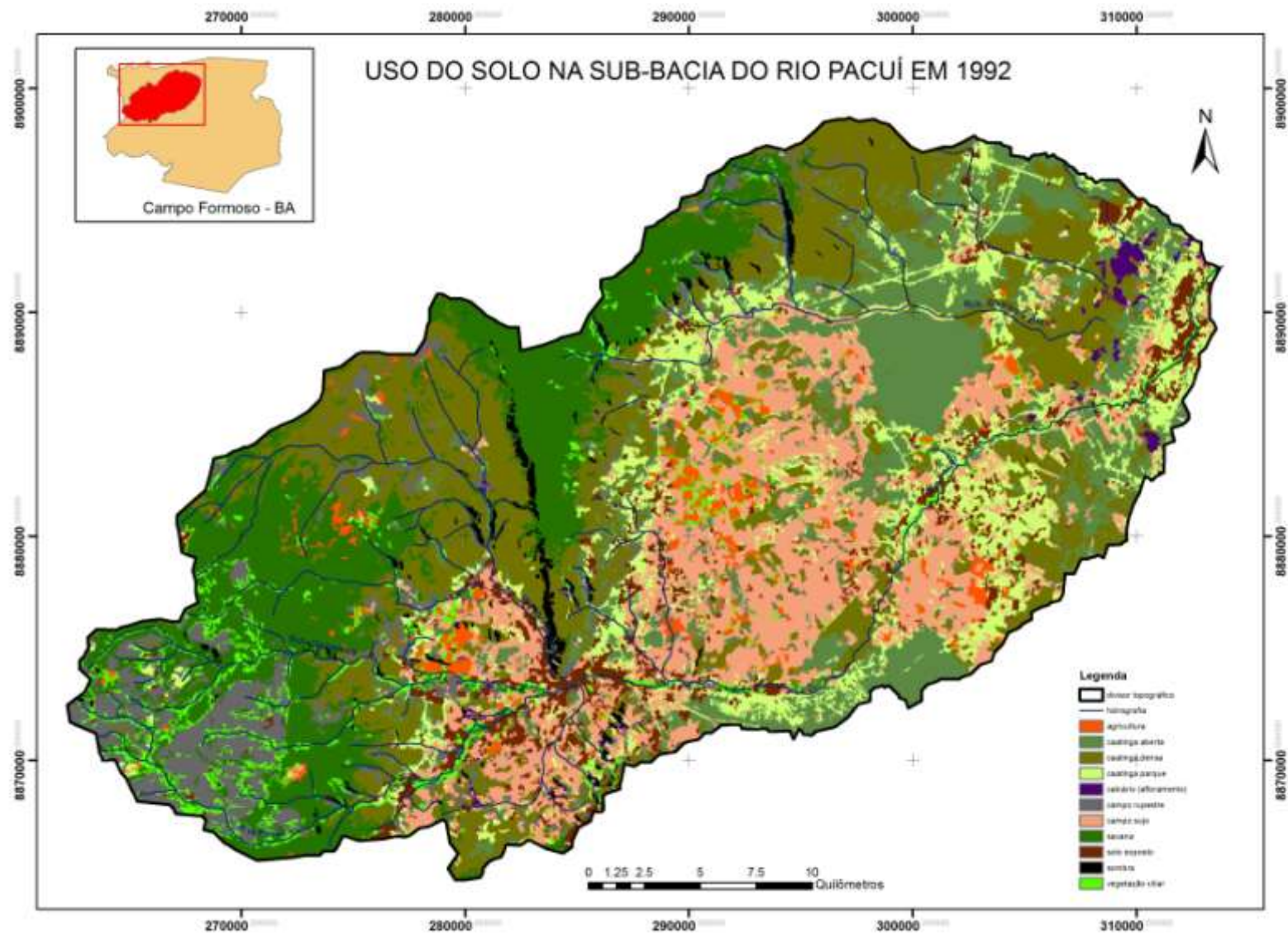


Figura 40: Resultado da classificação supervisionada de imagem TM/LandSat 5 de 1992

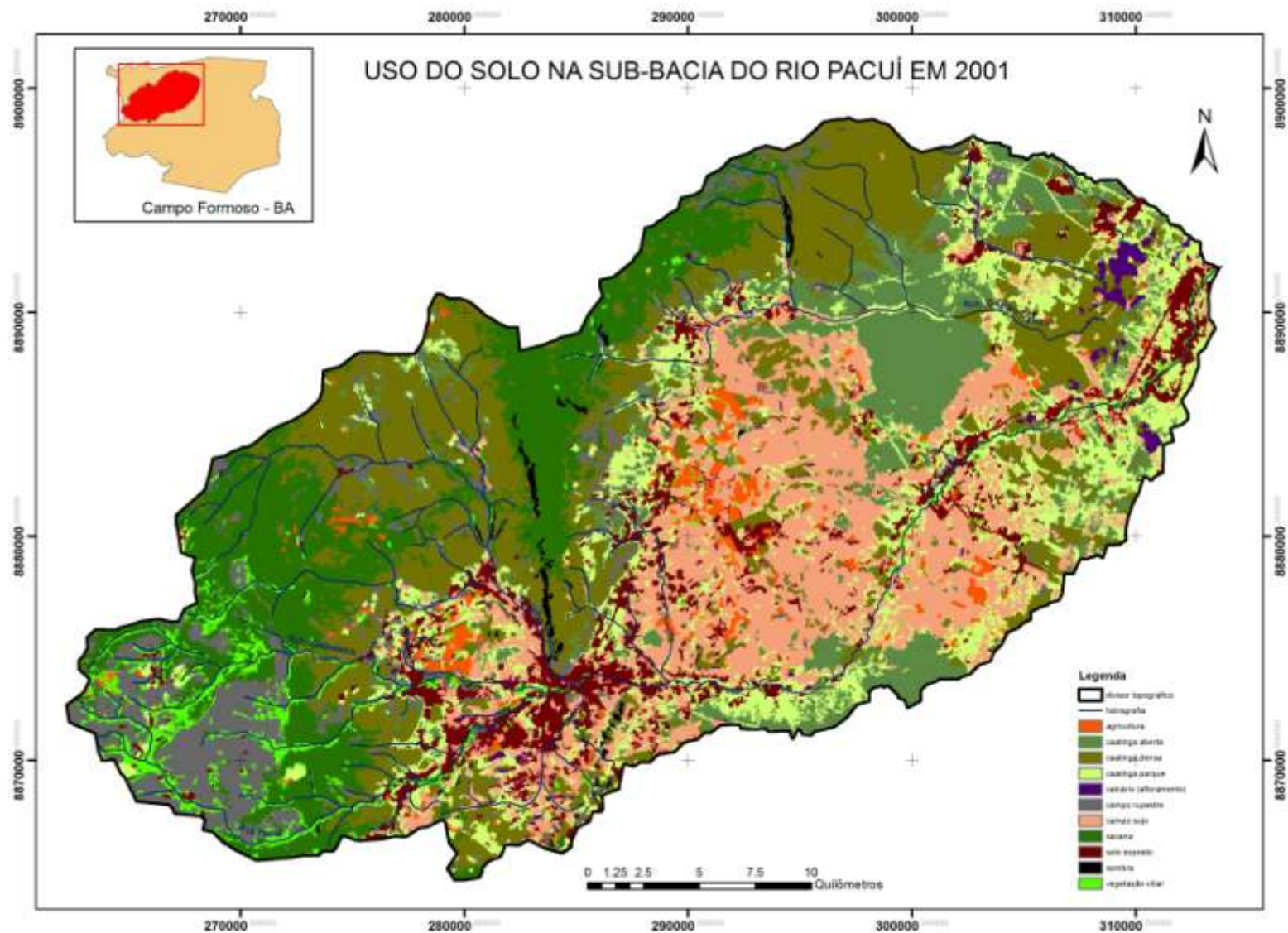


Figura 41: Resultado da classificação supervisionada de imagem TM/LandSat 5 de 2001

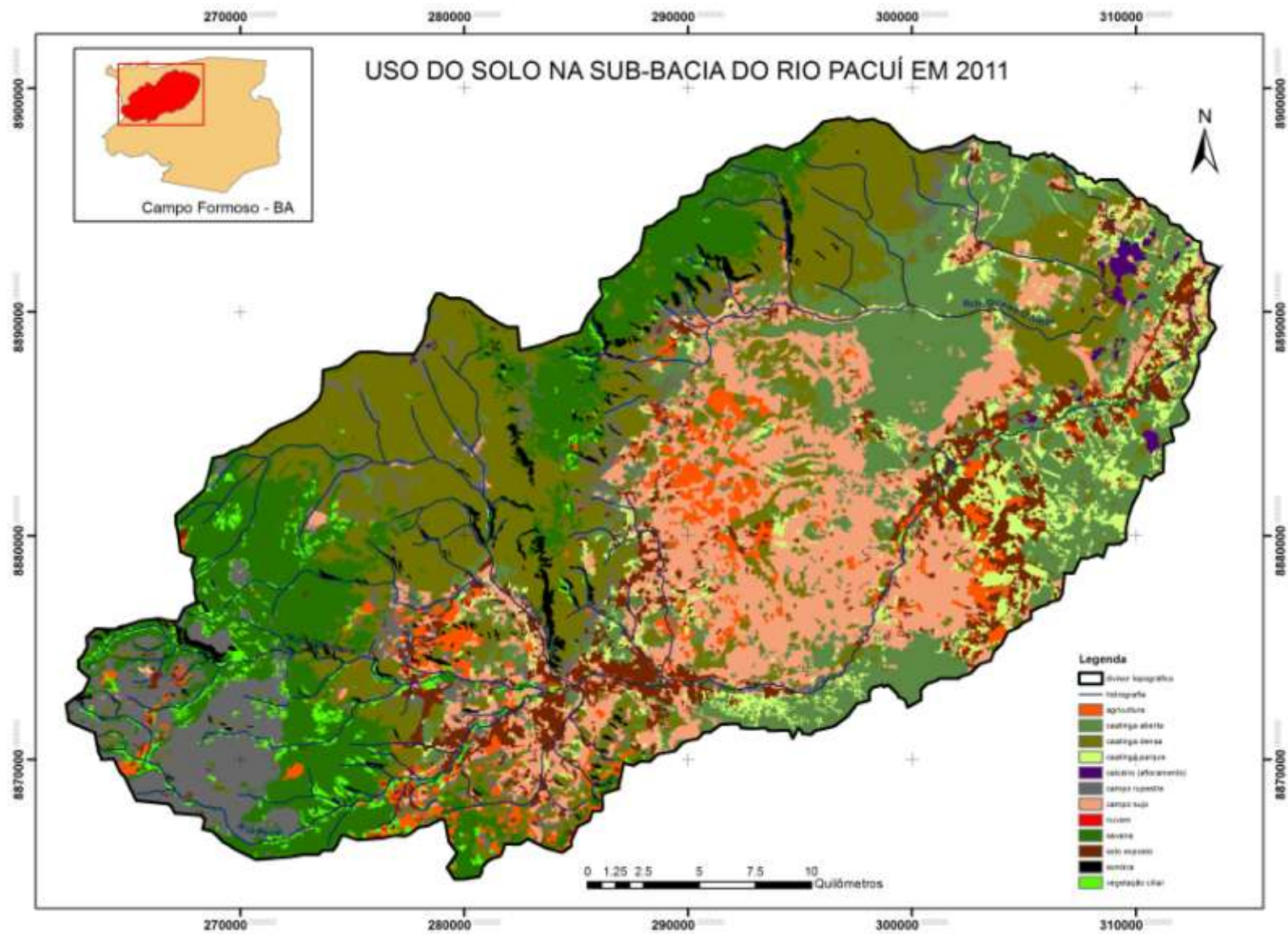


Figura 42: Resultado da classificação supervisionada de imagem TM/LandSat 5 de 2011

Fazendo uma análise mais completa do histórico das áreas utilizadas pela agricultura, foram encontrados os resultados expostos na Tabela 13. Ao total foram catalogados 5.366 ha que já foram utilizados como agricultura.

Tabela 13: Evolução do quantitativo de áreas agrícolas em hectares entre 1992 e 2011 na sub-bacia do rio Pacuí

Ano / Período	1992	1992-2001	2001	2001-2011	1992-2011	2011	1992-2001-2011
	ha						
Agricultura	2.156		2.095			4.090,2	
Se tornaram Agricultura		833		2.680	2.794		2.377
Deixaram de ser Agricultura		894		685	860		1.276
Permaneceram como Agricultura		1.262		1.410	1.296		993
Total de áreas utilizadas pela Agricultura							5.366

Percebe-se que durante uma década áreas expressivas são abandonadas e outras de mesma magnitude ou maiores têm culturas implantadas. Essa característica deve estar demonstrando caráter itinerante, onde a fertilidade natural dos solos é utilizada e quando há declínio produtivo, novas áreas são desmatadas para suprir a demanda. No entanto, deve-se sempre atentar para a pluviosidade anterior à imagem, pois em anos mais chuvosos, maiores áreas serão reocupadas com culturas de ciclo curto. Logo, nem todos os abandonos e incorporações deverão ser imediatamente entendidos assim, pois, o clima pode ter favorecido ou prejudicado as culturas.

As culturas de sisal e palma são predominantes nas áreas que foram sempre classificadas como agricultura em todas as três imagens. O grande

incremento de áreas agrícolas de 2001 para 2011 não corresponde totalmente à ampliação das áreas cultivadas. Deve-se atentar para a data de captura das imagens e a pluviosidade registrada nos períodos precedentes. Para o ano mais recente, houve pluviosidade normal e a data da imagem corresponde ao fim da época úmida, onde ainda se podia captar a cobertura de cultivos anuais em muitas áreas de sequeiro. Os dados expostos na Tabela 14 correspondem à pluviosidade acumulada em períodos anteriores às imagens em Petrolina/PE. Esta estação meteorológica foi escolhida por ser a mais próxima com série de dados sem falhas nos períodos analisados.

Tabela 14: Pluviosidade acumulada em períodos anteriores à captura das imagens em Petrolina/PE

Data da Captura da Imagem	Pluviosidade Acumulada no Período em mm		
	30 dias antes	90 dias antes	180 dias antes
24/08/1992	0	2	93
04/10/2001	21	29	71
10/06/2011	3	111	400

Fonte: ANA (2013)

Logo, em 2011, a área medida como agricultura se aproxima mais da realidade de áreas exploradas para fins agrícolas, seja com culturas perenes ou anuais.

Subtração de NDVIs

A partir dos NDVIs calculados com as bandas calibradas e normalizadas, foi feita a subtração entre as imagens de época seca pelas de época úmida. Os resultados mais baixos são referentes às áreas desmatadas, os intermediários são referentes à inalteração e os valores mais elevados são referentes às áreas que regeneraram. No semiárido a regeneração percebida pelas imagens diferença não deve ser entendida somente como recuperação de áreas degradadas, pois abriga principalmente os grandes ganhos de massa foliar que as formações de caatinga promovem entre épocas seca e úmida. A regeneração pode representar ainda a implantação de áreas agrícolas. Quanto ao desmatamento, não devem ser consideradas áreas que eram agricultura no

passado, nem mudanças em solos expostos e afloramentos rochosos, pois estas áreas logicamente sofrerão decréscimo do vigor da cobertura vegetal ou já estavam sem cobertura vegetal considerável, respectivamente. Áreas com nuvens ou sombreamento também devem ser desconsideradas dos cálculos, pois a interferência sobre a reflectância impede a correta aferição das mudanças ocorridas.

A sub-bacia foi dividida de acordo com a classificação supervisionada obtida para a imagem mais antiga do período, buscando analisar apenas setores homogêneos quanto à reflectância. A análise conjunta de toda a área resultaria no favorecimento de percepção de mudanças em determinadas classes em detrimento das demais. Foram testados diferentes valores de pixels das imagens diferença para determinar em cada classe de ocupação onde se encontrariam os limites dos valores correspondentes a degradação ou recuperação da cobertura vegetal. Por fim, chegou-se à conclusão que cada subimagem diferença obtida deveria ter seus pixels segregados em dez diferentes faixas de valores definidas a partir da média e do desvio padrão. Os limites estão expostos na Tabela 15.

Tabela 15: Faixas de valores de pixels das imagens diferença a serem considerados para análise da evolução da cobertura vegetal

Acréscimo do Vigor da Vegetação				
alto	Médio	Baixo	muito baixo	insignificante
$\leq \mu - 3\sigma$	$\mu - 3\sigma$ a $\mu - 2\sigma$	$\mu - 2\sigma$ a $\mu - 1,5\sigma$	$\mu - 1,5\sigma$ a $\mu - \sigma$	$\mu - \sigma$ a μ
Decréscimo do Vigor da Vegetação				
insignificante	muito baixo	Baixo	médio	alto
μ a $\mu + \sigma$	$\mu + \sigma$ a $\mu + 1,5\sigma$	$\mu + 1,5\sigma$ a $\mu + 2\sigma$	$\mu + 2\sigma$ a $\mu + 3\sigma$	$\geq \mu + 3\sigma$

Cada área correspondente a determinada classe foi analisada utilizando-se todos os valores de limites e assim foi visto qual correspondia melhor à transição entre inalteração e alteração real. Se a delimitação das áreas alteradas conhecidas não ficasse bem definida utilizando-se intervalos de valores baseados no desvio padrão, novos limites poderiam ser testados

para encontrar a melhor configuração possível. Não foram necessários novos testes de intervalos, pois houve boa correspondência com os limites testados. Verificando as frações que realmente correspondiam às mudanças, foram estabelecidos os limites das classes anteriormente citadas, constantes nas Tabela 16, 17 e 18.

Tabela 16: Limites inferiores (regeneração) e superiores (desmatamento) dos intervalos de diferenças de NDVI selecionados como mudanças reais na cobertura vegetal (em cinza) entre 1992 e 2011.

	1992 a 2011								
	$\leq \mu - 3\sigma$	$\mu - 3\sigma$ a $\mu - 2\sigma$	$\mu - 2\sigma$ a $\mu - 1,5\sigma$	$\mu - 1,5\sigma$ a $\mu - \sigma$	$\mu - \sigma$ a $\mu + \sigma$	$\mu + \sigma$ a $\mu + 1,5\sigma$	$\mu + 1,5\sigma$ a $\mu + 2\sigma$	$\mu + 2\sigma$ a $\mu + 3\sigma$	$\geq \mu + 3\sigma$
Caatinga aberta	-0.169	-0.108	-0.078	-0.047	-	0.074	0.105	0.135	0.196
Caatinga densa	-0.215	-0.140	-0.103	-0.065	-	0.085	0.122	0.160	0.235
Caatinga parque	-0.414	-0.273	-0.203	-0.132	-	0.149	0.220	0.290	0.431
Campo rupestre	-0.363	-0.259	-0.207	-0.154	-	0.054	0.106	0.159	0.263
Pastag.	-0.237	-0.157	-0.117	-0.077	-	0.083	0.123	0.163	0.243
Savana	-0.299	-0.209	-0.165	-0.120	-	0.060	0.105	0.150	0.239
Solo exposto	-0.210	-0.137	-0.101	-0.064	-	0.082	0.118	0.155	0.227
Veget. Ciliar	-0.244	-0.162	-0.121	-0.080	-	0.085	0.126	0.167	0.250

Tabela 17: Intervalos de diferenças de NDVI selecionados como mudanças significativas na vegetação (em cinza) entre 1992 e 2001

	1992 a 2001								
	$\leq \mu - 3\sigma$	$\mu - 3\sigma$ a $\mu - 2\sigma$	$\mu - 2\sigma$ a $\mu - 1,5\sigma$	$\mu - 1,5\sigma$ a $\mu - \sigma$	$\mu - \sigma$ a $\mu + \sigma$	$\mu + \sigma$ a $\mu + 1,5\sigma$	$\mu + 1,5\sigma$ a $\mu + 2\sigma$	$\mu + 2\sigma$ a $\mu + 3\sigma$	$\geq \mu + 3\sigma$
Caatinga aberta	-0.244	-0.166	-0.127	-0.088	-	0.067	0.106	0.145	0.222
Caatinga densa	-0.301	-0.213	-0.170	-0.126	-	0.049	0.093	0.137	0.224
Caatinga parque	-0.276	-0.190	-0.147	-0.104	-	0.069	0.113	0.156	0.242
Campo rupestre	-0.320	-0.211	-0.156	-0.101	-	0.117	0.172	0.227	0.336
Pastagem	-0.232	-0.148	-0.106	-0.064	-	0.104	0.146	0.188	0.272
Savana	-0.238	-0.156	-0.115	-0.074	-	0.090	0.131	0.172	0.254
Solo exposto	-0.334	-0.234	-0.184	-0.134	-	0.066	0.116	0.166	0.266
Vegetação Ciliar	-0.407	-0.262	-0.190	-0.118	-	0.172	0.245	0.317	0.462

Tabela 18: Intervalos de diferenças de NDVI selecionados como mudanças significativas na vegetação (em cinza) entre 2001 e 2011

2001 a 2011									
	$\leq \mu - 3\sigma$	$\mu - 3\sigma$ a $\mu - 2\sigma$	$\mu - 2\sigma$ a $\mu - 1,5\sigma$	$\mu - 1,5\sigma$ a $\mu - \sigma$	$\mu - \sigma$ a $\mu + \sigma$	$\mu + \sigma$ a $\mu + 1,5\sigma$	$\mu + 1,5\sigma$ a $\mu + 2\sigma$	$\mu + 2\sigma$ a $\mu + 3\sigma$	$\geq \mu + 3\sigma$
Caatinga aberta	-0.155	-0.095	-0.064	-0.034	-	0.086	0.116	0.146	0.206
Caatinga densa	-0.247	-0.166	-0.125	-0.085	-	0.077	0.118	0.158	0.239
Caatinga parque	-0.298	-0.198	-0.148	-0.098	-	0.101	0.151	0.201	0.301
Campo rupestre	-0.281	-0.187	-0.140	-0.093	-	0.096	0.144	0.191	0.285
Pastagem	-0.186	-0.109	-0.071	-0.033	-	0.120	0.159	0.197	0.274
Savana	-0.236	-0.161	-0.124	-0.086	-	0.064	0.102	0.139	0.214
Solo exposto	-0.365	-0.248	-0.190	-0.132	-	0.102	0.160	0.219	0.335
Vegetação Ciliar	-0.345	-0.214	-0.149	-0.084	-	0.177	0.243	0.308	0.438

A Tabela 19 apresenta os resultados obtidos sem descontar as áreas que não podem ser consideradas como desmatamento ou regeneração.

Tabela 19: Evolução da cobertura vegetal por subtração de NDVI a partir de dados não corrigidos

Período	Desmatamento	Inalteração	Regeneração
	ha		
1992 a 2001	2051.0	98217.3	813.0
2001 a 2011	1132.5	99524,9	854.8
1992 a 2011	2247.6	97579.4	1745.3

Áreas que realmente regeneraram só podem ser as que foram classificadas no passado como antropizadas: caatinga parque, pastagens, solos expostos e alguns casos especiais de Neossolos litólicos que tiveram a cobertura vegetal suprimida e se comportam espectralmente como campos rupestres. Quanto à caatinga parque, há que se atentar que a regeneração considerável não deve englobar a recomposição da massa foliar das plantas e sim o adensamento da cobertura vegetal pela incorporação de novas plantas. Todas as outras classes temáticas representam formações vegetais preservadas e que caracteristicamente sofrem fortes mudanças na massa foliar sazonalmente. Deve-se ainda atentar que áreas de agricultura do ano mais recente também não podem representar regeneração, pois é natural que áreas com cultivos implantados durante o intervalo de tempo analisado apresentem-se com NDVI superior.

Com isto, fizeram-se os recortes necessários nas áreas iniciais classificadas pela subtração dos NDVIs e obtiveram-se os resultados corrigidos expostos na Tabela 20.

Tabela 20: Cruzamento de dados para correções dos cálculos de desmatamento e regeneração no período de 1992 a 2011

	1992-2001		2001-2011		1992-2011	
	DESMAT	RECUP	DESMAT	RECUP	DESMAT	RECUP
	ha					
AGRICULTURA	-	-	-	-	-	-
CAA ABERTA	247,25	-	89,27	-	610,15	-
CAA DENSA	1457,60	-	370,99	-	938,98	-
CAA PARQUE	175,93	45,78	173,13	210,39	20,98	3,42
CALCÁRIO	-	-	-	-	-	-
CAMPO RUP.	4,98	-	154,13	-	138,39	5,58
PASTAGEM	25,59	299,71	16,75	314,29	40,51	318,75
NUVEM	-	-	-	-	-	-
SAVANA	49,05	-	278,82	-	347,77	-
SOLO EXPOSTO	-	121,57	-	205,94	-	467,09
SOMBRA	-	-	-	-	-	-
VEG CILIAR	90,64	-	49,36	-	150,85	-
Total	2051,04	467,06	1132,46	730,63	2247,63	794,84

*(DESMAT: desmatamento; RECUP: recuperação; RUP: rupestre)

Deste modo foi possível obter os dados corrigidos sobre degradação e regeneração (Tabela 21).

Tabela 21: Dados da evolução da cobertura vegetal corrigidos e proporção de ocorrência nas classes

Período	D	I	R	R_exp	R_past	R_parq
	ha			%		
1992 a 2001	2051,04	98488,70	467,06	26,0	64,2	9,8
2001 a 2011	1132,46	99143,71	730,63	28,2	43,0	28,8
1992 a 2011	2247,63	97964,34	794,84	58,8	40,1	0,4

*D: desmatamento; I: inalteração; R: recuperação; R_exp: recuperação de áreas de solos expostos; R_past: recuperação de áreas de pastagens; R_parq: recuperação de áreas de caatinga parque;

Percebe-se que os valores de desmatamento corrigidos permanecem iguais aos brutos, pois como se referem às classes do primeiro ano, já não englobam as áreas agrícolas desta época. A participação de áreas de solos expostos e pastagens é predominante, pois sua detecção depende apenas do estabelecimento ou adensamento de plantas rasteiras cujo crescimento é

rápido. A diferença de pluviosidade entre as épocas em que as imagens foram captadas pode gerar queda da precisão. A detecção da regeneração nas demais formações depende do estabelecimento de plantas arbóreas e arbustivas e o tempo requerido é bem maior, já que muitas espécies demoram mais de uma década para chegar à fase adulta.

Ao analisar os mapas que representam as áreas desmatadas observa-se uma pulverização de manchas por toda a área, o que demonstra pressão sobre todos os setores. Há concentração em algumas regiões, mas todas as partes estão sendo impactadas. A pecuária provavelmente é a maior responsável por este raleamento.

O desmatamento tem diminuído, mas avança ainda na sub-bacia do rio Pacuí e em todo o submédio São Francisco. Na primeira década se destaca a destruição profunda de um bloco de caatinga de pelo menos 173 ha localizado na porção central sul, como pode ser visto na Figura 47. Representava um fragmento em meio a principalmente pastagens das regiões baixas. Neste primeiro período fica retratado que há uma maior pressão sobre os fragmentos restantes da caatinga densa nas áreas de relevo brando. Na segunda década se destaca o desmatamento de uma área de pelo menos 70 ha de savana e caatinga densa na região serrana, porção central oeste, como pode ser visto na Figura 48. Fica claro, analisando-se os demais desmatamentos, que há aumento da pressão antrópica sobre estas áreas ainda preservadas outrora de pouco interesse devido à oferta de terras mais atrativas nas baixadas. Foi percebido durante a viagem de campo que novas estradas e cercas têm sido instaladas nesta parte e há criação de bovinos de forma extensiva.

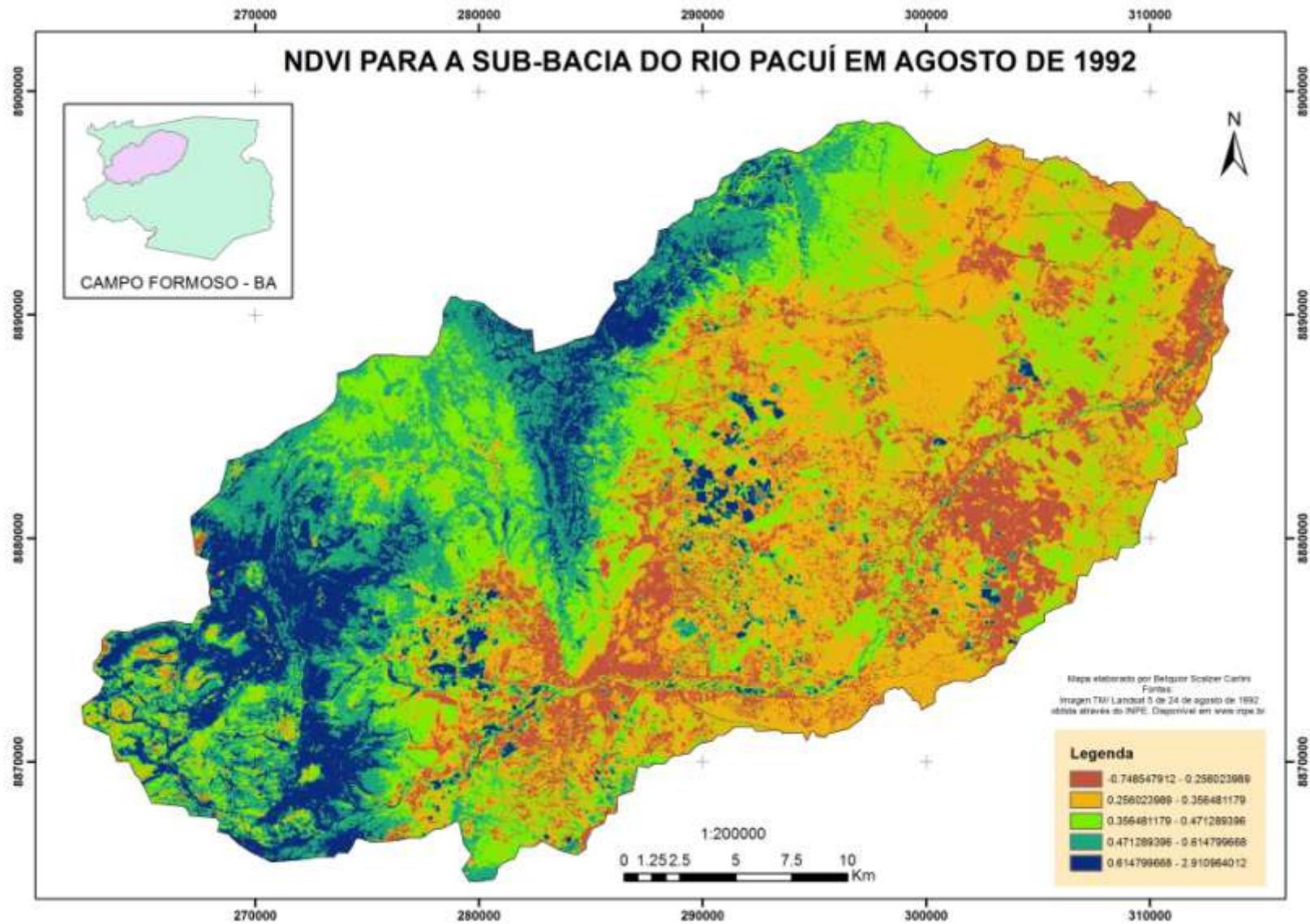


Figura 43: NDVI para a imagem TM/LandSat 5 de agosto de 1992

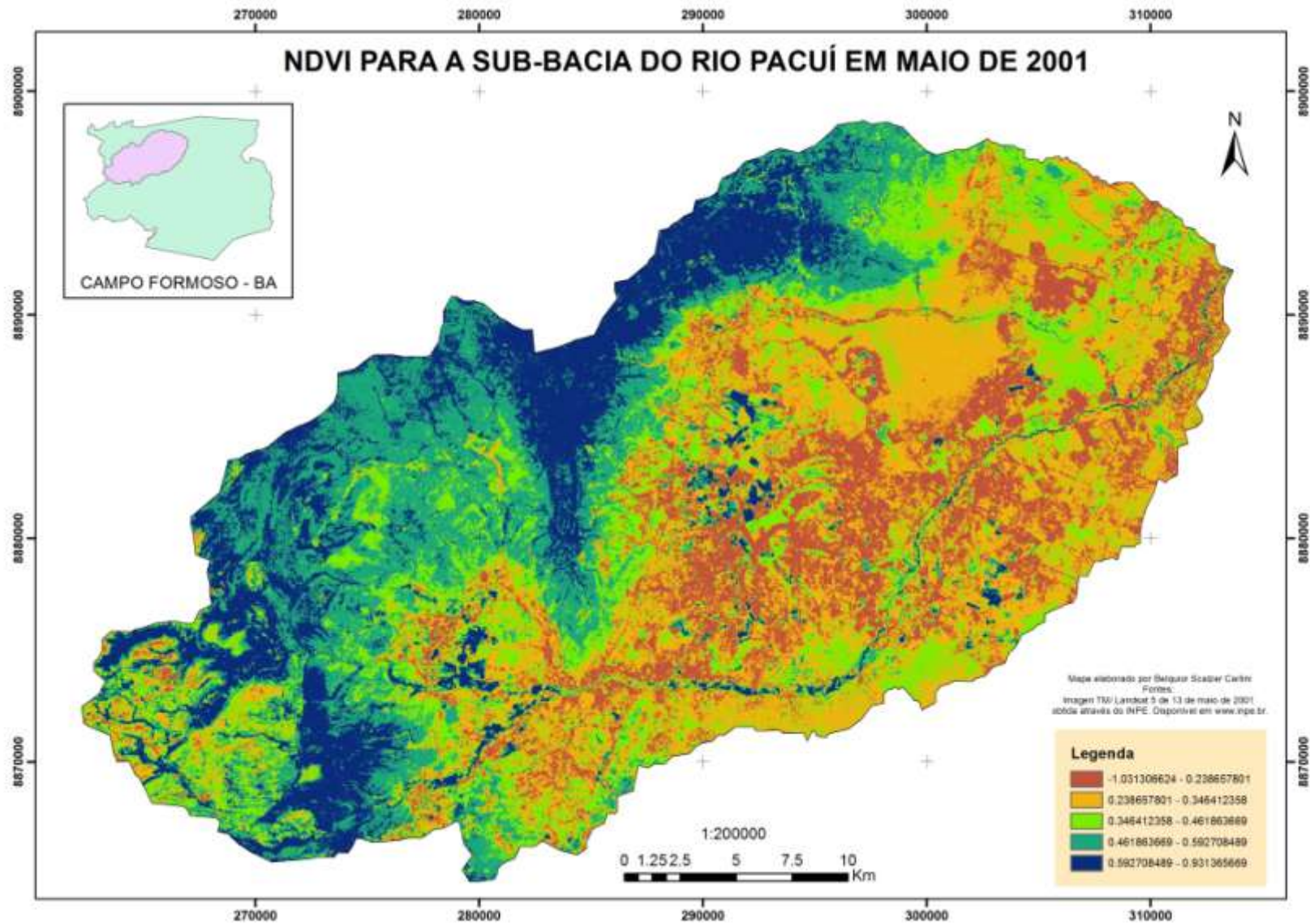


Figura 44: NDVI para a imagem TM/LandSat 5 de maio de 2001

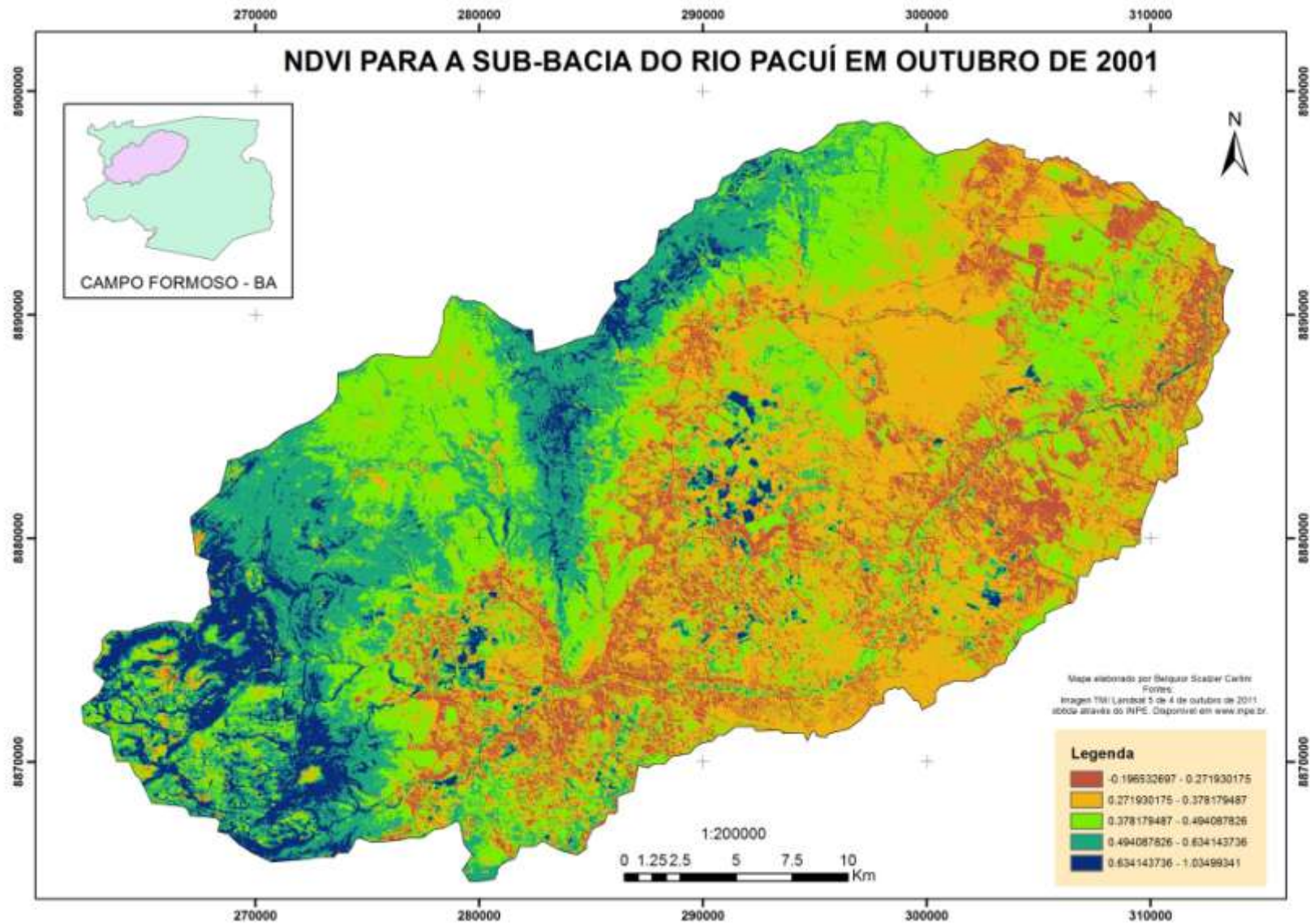


Figura 45: NDVI para a imagem TM/LandSat 5 de outubro de 2001

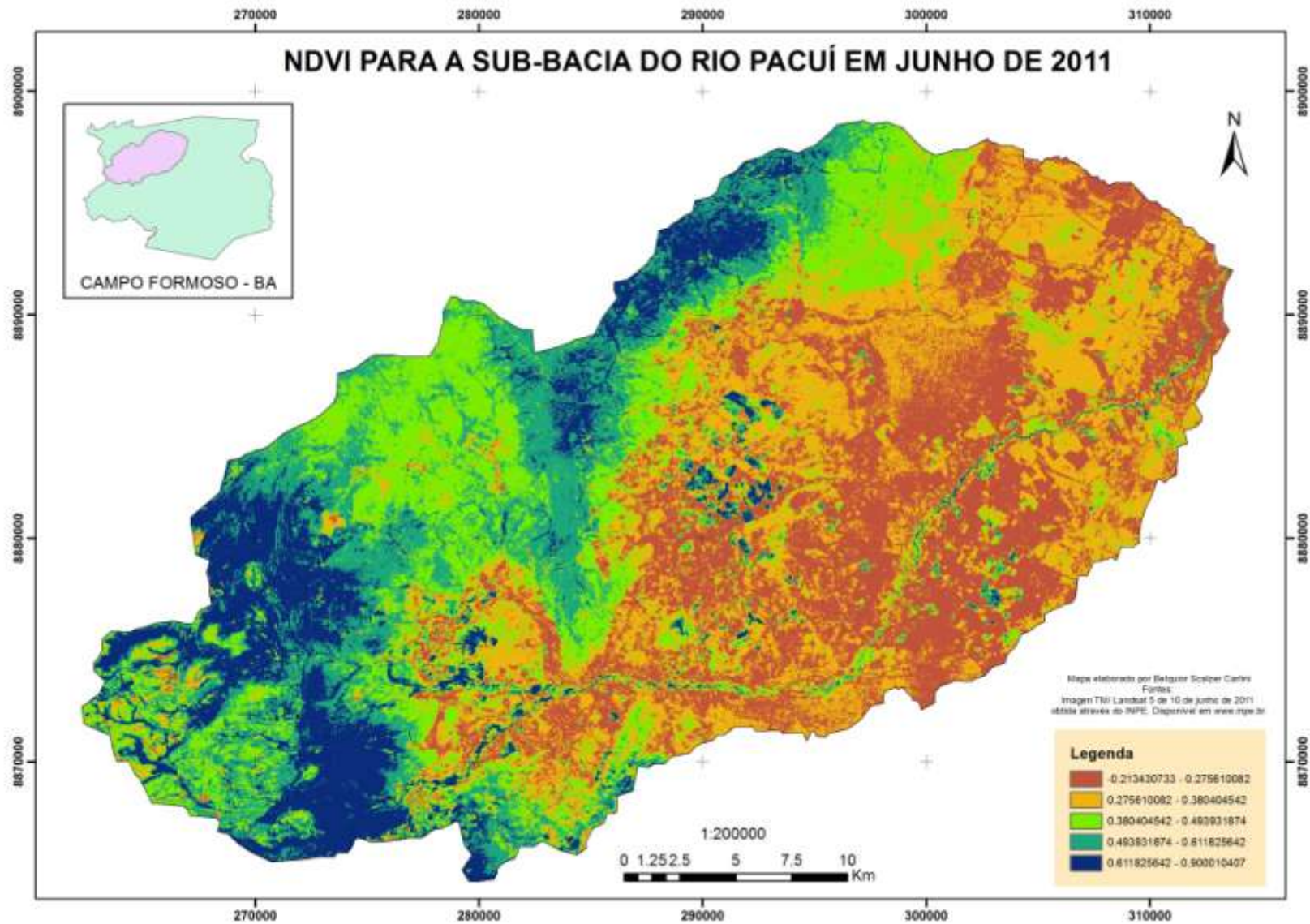


Figura 46: NDVI para a imagem TM/LandSat 5 de junho de 2011

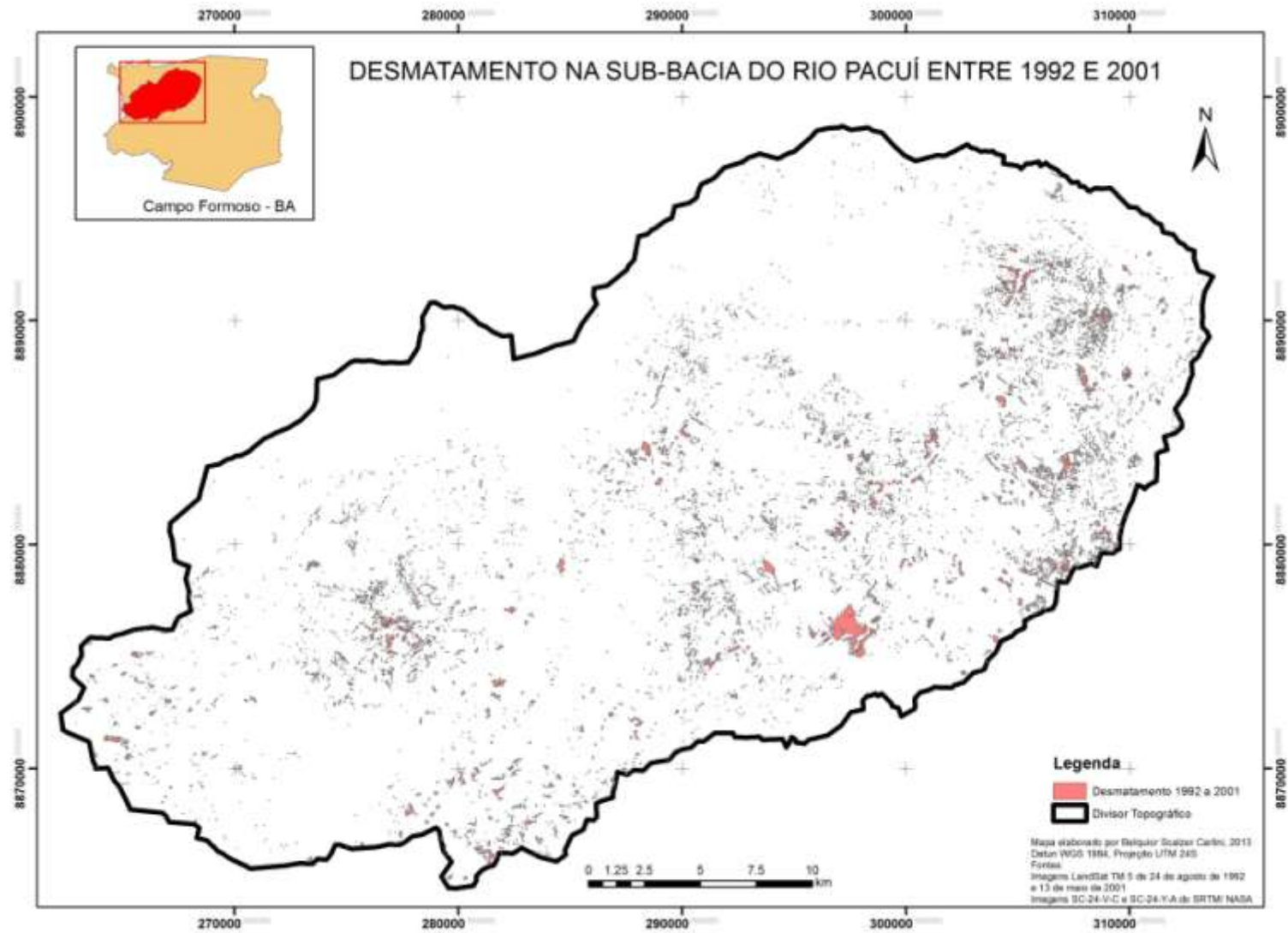


Figura 47: Resultado da análise de desmatamento utilizando-se o método de subtração de imagens NDVI dos anos de 1992 e 2001

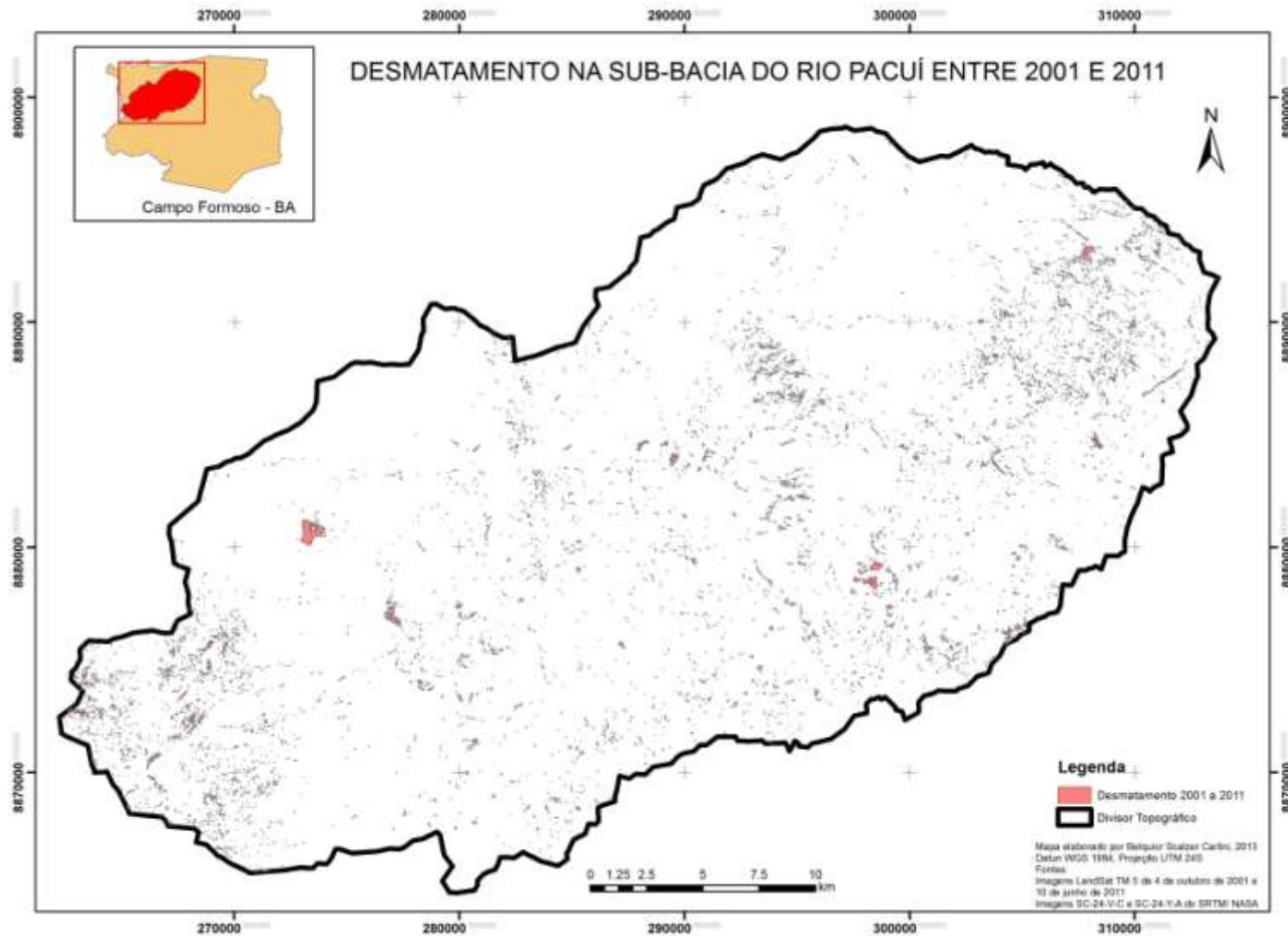


Figura 48: Resultado da análise de desmatamento por meio da subtração de imagens NDVI dos anos de 2001 e 2011

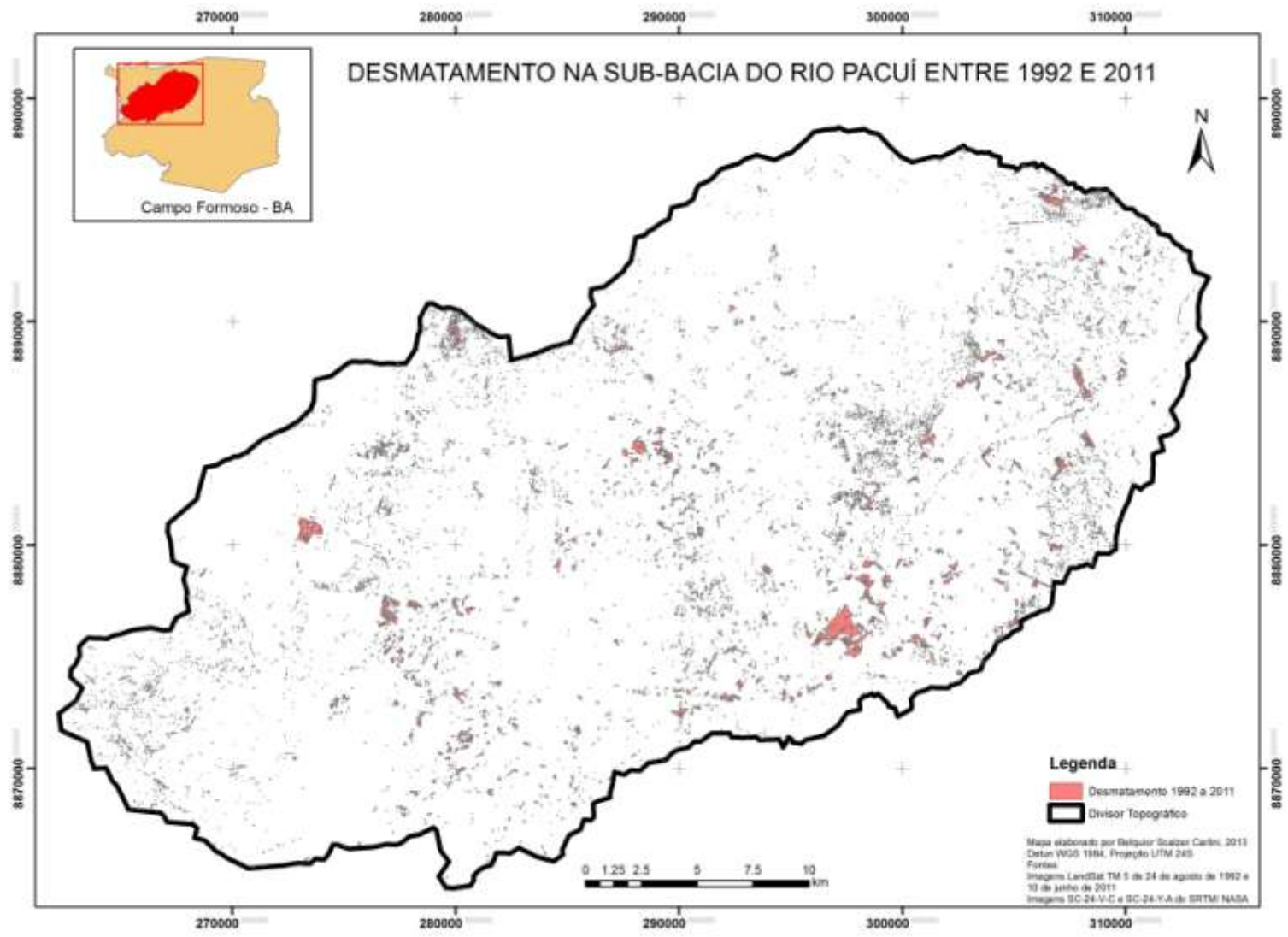


Figura 49: Resultado da análise de desmatamento por meio da subtração de imagens NDVI dos anos de 1992 e 2011

4. Conclusões

Todas as fitofisionomias nativas continuam sendo degradadas na sub-bacia do rio Pacuí, ainda que em ritmo menor. A regeneração é verificada bastante incipiente nas duas últimas décadas, se pautando principalmente ao recobrimento rasteiro de solos expostos ou ao adensamento de pastagens.

A classificação supervisionada se mostrou bastante adequada para definir as classes de uso e ocupação. Há confusões entre alguns temas, mas predominantemente a distinção foi satisfatória, sobretudo para mensurar as áreas degradadas. As confusões se devem geralmente à degradação promovida pela pecuária extensiva, a qual raleia a caatinga em seus extratos de menor porte e as árvores e arbustos restantes mascaram a real condição de cobertura do solo. O raleamento se evidencia em parte pelo grande número de pequenos fragmentos de desmatamentos encontrados em meio à maior parte das grandes áreas cuja classificação resultou em alguma classe temática de cobertura vegetal preservada.

O método da subtração de NDVIs se mostrou adequado para a detecção de frentes de degradação, entretanto a precisão de delimitação dos limites e quantificação de áreas é baixa. A forte sazonalidade do vigor da vegetação e a irregularidade das chuvas torna bastante dificultoso encontrar grupos de imagens com padrões espectrais próximos. Entretanto, quando se estudam grandes áreas, o apontamento dos setores com mudanças mais e menos bruscas na cobertura vegetal auxilia bastante a encontrar os setores que requerem maior atenção.

5. Considerações Finais e Recomendações

Foi verificado que além do raleamento da vegetação, impacto causado principalmente pela pecuária extensiva, grandes blocos de áreas contíguas ainda são desmatados na região. Isto demonstra que existe grande ameaça sobre os fragmentos da vegetação nativa que restam. Preocupa ainda mais o fato de que um dos grandes blocos desmatados se encontra sobre as serras que se pretende proteger por meio da criação do Parque Nacional do Boqueirão da Onça. A antropização tem avançado sobre

esta que é uma das últimas áreas preservadas do bioma Caatinga e se atitudes mais concretas não forem tomadas, também será perdida. Recomenda-se celeridade no processo de criação das unidades de conservação pretendidas e planejamento para num futuro muito próximo serem criadas mais unidades de conservação. É de suma importância também que o governo aplique melhor e amplie os recursos destinados à fiscalização ambiental, educação ambiental e incentivo à modernização ecológica das técnicas produtivas.

CAPÍTULO III

SOLOS, AMBIENTES ASSOCIADOS, USOS PRATICADOS E RISCOS AMBIENTAIS PARA A SUB-BACIA DO RIO PACUÍ

1. Introdução

Segundo Silva (2004), a região Nordeste apresenta 40% de seu território em áreas úmidas costeiras, chapadas altas e de vegetação pré-amazônica maranhense, e 60% são de terras semiáridas, com risco alto a muito alto de degradação. Cerca de 181.000 km² das terras semiáridas do Nordeste estão em processo de desertificação (MMA, 2001; 2003). Os solos de regiões semiáridas são em geral rasos ou pouco profundos, ricos em sais, de estrutura frágil e pobres em matéria orgânica. Estas condições aliadas a chuvas irregulares e frequentemente concentradas os tornam frágeis, com alto risco de degradação frente à antropização. Quando a degradação ocorre, as consequências são muito graves, pois a profundidade dos horizontes é pequena e de fácil remoção devido à fraca estrutura.

Além de conhecer como evolui o uso da terra, para traçar e aplicar planos de conservação e recuperação dos recursos naturais deve-se conhecer detalhadamente outros aspectos da natureza dos locais de interesse, como as características físicas e pedológicas. Deste modo pode-se correlacioná-las e distinguir ambientes, bem como definir sua fragilidade e comparar os usos praticados e os recomendáveis.

O solo é um componente fundamental para a caracterização de um ambiente. É produto da geologia, do clima, dos organismos vivos, do relevo e do tempo, havendo, portanto, diversas tipologias. É o meio básico de suporte de grande parte da vida nos continentes. Nele se desenvolvem toda sorte de organismos e a base da alimentação humana. É fonte e estoque de nutrientes, água e matéria orgânica. Sua saúde é vital para a sobrevivência humana. Sua degradação muitas vezes leva a mudanças tão profundas e a pedogênese é um processo tão longo, que a restauração de um ambiente se torna impossível diante da escala de tempo da vida humana. Kämpf e Curi (2012) citam ainda que “os solos servem para a habitação, lazer e para a

saúde humana. Funcionam como amortecedores (= tampões) de mudanças ambientais. A sua capacidade de absorção e armazenamento da água das chuvas previne inundações catastróficas. Atuam como filtros de produtos tóxicos, mantendo a pureza das águas subterrâneas, e podem, por sua vez, ser poluídos.

As diversidades entre as tipologias de solos resultam em classes mais frágeis ou menos frágeis à antropização. O contexto ambiental também é muito importante, pois determina a intensidade dos agentes naturais às quais têm de resistir.

Pautado nos mapas existentes de solos, geologia e vegetação, bem como em imagens de satélite GeoEye e TM/Landsat 5, e ainda no conhecimento prévio de diversas partes da sub-bacia do rio Pacuí, percebeu-se a necessidade de aprimorar os conhecimentos existentes sobre as características ambientais desta região. O principal fator gerador desta demanda é a necessidade de adequação dos sistemas produtivos às potencialidades e fragilidades do ambiente, fazendo ainda a recuperação das áreas degradadas. Este capítulo vem cruzar as ferramentas de geoprocessamento e o levantamento das características físicas e químicas dos solos para gerar uma aproximação do cenário ambiental atual da sub-bacia do rio Pacuí.

2. Material e Métodos

O levantamento de solos da sub-bacia do rio Pacuí iniciou-se percorrendo os caminhos traçados ao longo de estradas mapeadas por meio do software Google Earth. Estas estradas permitiram acesso a todas as tipologias de solos, geologia e vegetação descritas por RADAMBRASIL (1983). Foram abertos onze perfis completos, onde foi coletada uma amostra deformada para cada horizonte distinguido em campo. A metodologia de descrição dos perfis foi baseada no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) e foram utilizadas planilhas de campo disponíveis no Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2007). As avaliações morfológicas realizadas em campo se referiram a profundidade, cor, estrutura e tipo de

transição entre horizontes. Para melhor delimitação da ocorrência das classes de solos, foram coletadas amostras extras em cinco pontos onde três resultaram em amostras das camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, e outras duas em que foi possível apenas coletar a primeira faixa devido à pouca profundidade do solo. Os 49 diferentes materiais coletados foram acondicionados em sacos plásticos etiquetados e enviados para os laboratórios do Departamento de Solos da UFV, onde foram feitas as análises.

As amostras foram destorroadas, passadas em peneira de 2 mm e foi determinada a pedregosidade através da pesagem de todo o material não orgânico retido. Foram determinadas a composição granulométrica por dispersão com auxílio de NaOH em agitador mecânico tipo Wagner a 50 rpm por 16 h (Embrapa, 1997, modificado por Ruiz, 2005), argila dispersa em água (metodologia equivalente à análise granulométrica sem o dispersante químico), densidade do solo (método da proveta) e densidade de partículas (álcool etílico como líquido penetrante em balão volumétrico), conforme Embrapa (1997).

A densidade do solo foi determinada por meio do método da proveta, pois não havia como transportar amostras indeformadas do campo para os laboratórios. Para a maioria dos solos acredita-se que os resultados sejam coerentes, pois correspondem a amostras com textura média a grossa com fraca estrutura.

Empregando-se os métodos de determinação de umidade via mesa de tensão e via câmaras de Richards descritos por Embrapa (1997), obtiveram-se as curvas características de retenção de água no solo a -4, -6, -10, -50, -100, -500 e -1500 kPa. Foram utilizadas amostras deformadas saturadas dos horizontes B mais superficiais ou, na ausência destes, os horizontes A.

As determinações químicas realizadas foram:

- pH em H₂O e KCl - relação 1:2,5 (Embrapa, 1997);
- P, Na, K – Extrator: Mehlich 1 (Defelipo e Ribeiro, 1997);
- Fe, Zn, Mn, Cu – Extrator Mehlich 1 (Embrapa, 1999);
- Ca, Mg, Al – Extrator: KCl 1 mol/L (Defelipo e Ribeiro, 1997);
- H+Al – Extrator: Acetato de Cálcio 0,5 mol/L a pH 7,0 (Defelipo e Ribeiro, 1997);
- B – Extrator: água quente;
- S – Extrator: Fosfato monocálcico em ácido acético (Defelipo e Ribeiro, 1997);
- P-rem – Método da solução de equilíbrio (Alvarez V. et al., 2000).

O Carbono Orgânico Total foi quantificado por oxidação da matéria orgânica por via úmida com K₂CrO₇ 0,167 mol/L em meio sulfúrico com aquecimento externo (Yeomans e Bremner, 1988). Para a obtenção dos valores de Matéria Orgânica, foi utilizado o método Walkley–Black (Camargo, 1986; Embrapa, 1999).

Foram determinadas as concentrações de metais pesados e de micronutrientes no intuito de obter e divulgar caracterização química mais completa dos solos, possibilitando embasamento mais preciso para a tomada de decisão quanto à utilização da terra. Compõem ainda marco referencial para avaliar impactos de atividades antrópicas futuras.

3. Resultados e Discussões

Solos encontrados e suas classificações de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006):

A seguir, estão descritas as características dos perfis estudados e, por fim, na Figura 61, está exposta a distribuição das classes de solos encontradas na sub-bacia do rio Pacuí.

Perfil 01

Data: 21/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Solo Litólico distrófico com A fraco e moderado, textura arenosa e média, fase rochosa, relevo forte ondulado e montanhoso;

Classificação atual: *Neossolo Litólico Eutrófico típico* - RLe – raso (≤ 50 cm), A moderado, Tb, CR solódico, êutrico, relevo montanhoso e fortemente ondulado.

Localização: encosta das serras que compõe o divisor topográfico direito da sub-bacia, 2,9 km ao sul de Lages dos Negros. Ponto 10°12'30.39" S, 40°55'45.37" O, datum WGS1984;

Altitude: 673 m;

Situação e declividade: Parte convexa de encosta com aproximadamente 100 % de declividade;

Formação geológica e litologia: formação Salitre, unidade Gabriel, cujas rochas predominantes são calcarenito e calcilutito (CPRM, 2003)

Material originário: rocha calcária moderadamente intemperizada, submetida a moderados processos pedogenéticos;

Uso atual: pastagem degradada com gramíneas e cactáceas. Caatinga densa a partir de 50 m a montante.

Relevo local: montanhoso;

Relevo regional: plano;

Drenagem: bem drenado;

Erosão: forte em sulcos e laminar;

Profundidade: 40 cm (raso);

Pedregosidade: extremamente pedregoso;

Rochosidade: rochosa;

Vegetação primária: caatinga densa.

Descrição Morfológica:

A: 0 a 10 cm; 10YR 6/ 6; textura franco-argilosa, cascalhenta; estrutura fraca de tamanho muito pequena, grãos simples; transição plana e clara;

CR: 10 a 40 cm; 10YR 6/ 6; textura franco-argilosa, muito cascalhenta; transição plana e abrupta;

Tabela 22: Características físicas encontradas para o Perfil 1

Perfil 1		Características Físicas										
Horizonte	Pdg	Comp. Gran. TFSA				ADA	GF	Silte/ Argila	Densid.		Porosid.	
Símb.	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				part.	solo	vol.	
	cm	kg/ kg	----- dag/ kg	-----	-----	-----	-----	-----	g/ cm ³	-----	%	
A	0 a 10	0.31	10	21	39	30	5.9	80.2	1.30	2.20	1.00	0.54
CR	10 a 40	0.55	11	16	42	31	7.8	74.8	1.35	2.59	1.02	0.61

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de flocação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade.

Tabela 23: Características químicas encontradas para o Perfil 1

Perfil 1		Características Químicas										
Horizonte	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)	
	H ₂ O	KCl	----- mg/ dm ³	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
A	7.58	7.39	39.30	54.00	5.50	15.26	1.05	0.00	0.00	16.47	16.47	16.47
CR	8.22	7.87	15.90	4.00	19.60	10.84	0.24	0.00	0.00	11.18	11.18	11.18

Horizonte	V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- %	-----	-----	----- dag/kg	---	----- mg/L	-----	-----	----- mg/ dm ³	-----	-----
A	100.00	0.00	0.15	7.85	25.70	1.32	2.30	69.30	0.00	0.76	0.00
CR	100.00	0.00	0.76	4.12	17.30	0.00	0.10	2.70	0.00	0.70	0.00

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 50: Perfil 1 – Neossolo Litólico Eutrófico típico sob pastagem degradada em relevo montanhoso

Perfil 02

Data: 21/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Latossolo Vermelho-Amarelo Álico distrófico, A moderado e fraco, textura média, relevo plano e suavemente ondulado;

Classificação atual: *Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico* – CXbd - A fraco, relevo plano e suave ondulado;

Localização: início de vale próximo aos divisores topográficos, 8,0 km a sudoeste de Lages dos Negros. Ponto 10°11'10.90" S, 40°52'56.54" O, datum WGS1984;

Altitude: 727 m;

Situação e declividade: fundo de cabeceira de vale com relevo plano;

Formação geológica e litologia: corresponde à Formação Morro do Chapéu, cuja rocha predominante para o local é o arenito (CPRM, 2003);

Material originário: arenito intemperizado, submetido a intensos processos pedogenéticos;

Uso atual: caatinga parque com palmeiras;

Relevo local: plano;

Relevo regional: suave ondulado;

Drenagem: bem drenado;

Erosão: laminar;

Profundidade: > 100 cm;

Pedregosidade: não pedregosa;

Rochosidade: não rochosa;

Vegetação primária: caatinga densa com palmeiras;

Descrição Morfológica:

A: 0 a 2 cm; 2,5Y 7/ 2; textura franco-arenosa, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho médio, granular; transição ondulada e gradual;

AB: 2 a 15 cm; 2,5Y 7/ 2; textura franco-arenosa, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho médio, granular; transição ondulada e clara;

Bi: 15 a 50 cm; 2,5Y 7/ 3; textura franco-arenosa, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho médio, granular; transição ondulada e clara;

BC: 50 a 100+ cm; 2,5Y 7/ 4; textura franco-arenosa, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho médio, granular;

Tabela 24: Características físicas encontradas para o Perfil 2

Perfil 2		Características Físicas										
Horizonte	Pdg	Comp. Gran. TFSA					ADA	GF	Silte/ Argila	Densid.		Porosid.
Símb.	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				part.	solo	vol.	
	cm	kg/ kg	dag/ kg			%			g/ cm ³		%	
A	0 a 2	0.02	38	40	8	14	3.0	78.7	0.57	2.68	1.45	0.46
AB	2 a 15	0.02	42	35	7	16	4.6	71.5	0.44	2.66	1.43	0.46
Bi	15 a 50	0.04	31	36	17	16	5.9	63.1	1.06	2.61	1.39	0.47
BC	50 a 100+	0.03	32	41	11	16	0.4	97.8	0.69	2.64	1.44	0.45

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade.

Tabela 25: Características químicas encontradas para o Perfil 2

Perfil 2		Características Químicas										
Horizonte	pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)
	H ₂ O	KCl	mg/ dm ³			cmolc/dm ³						
A	5.18	4.13	15.90	40.00	1.50	0.42	0.00	0.38	6.10	0.53	0.91	6.63
AB	4.46	3.84	13.00	32.00	1.50	0.00	0.00	0.67	5.00	0.09	0.76	5.09
Bi	4.02	3.96	11.40	10.00	3.50	0.00	0.00	0.86	4.70	0.05	0.91	4.75
BC	3.99	4.03	5.50	4.00	5.50	0.00	0.00	0.76	4.10	0.03	0.79	4.13

Horizonte	V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	%		dag/kg		mg/L			mg/ dm ³			
A	8.00	41.80	0.72	1.46	42.50	1.97	36.10	22.00	0.21	0.47	13.40
AB	1.80	88.20	0.86	1.06	44.30	0.99	45.40	3.00	0.31	0.44	14.10
Bi	1.10	94.50	1.67	0.67	39.40	0.93	58.70	1.20	0.36	0.41	26.80
BC	0.70	96.20	3.03	0.27	32.90	0.92	26.30	0.60	0.35	0.60	42.20

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 51: Perfil 2 – Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico sob Caatinga Parque com Palmeiras em relevo plano a suave ondulado

Perfil 03

Data: 22/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Neossolo Litólico distrófico, A fraco, textura arenosa e média, fase pedregosa, relevo suavemente ondulado e ondulado;

Classificação atual: *Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico* – LVAd - Tb, A moderado, álico, relevo plano e suave ondulado;

Localização: sobre a serra do Escurial na área de drenagem superior do riacho Salobro, 12,5 km a nordeste de Lajes dos Negros e a 7,2 km de Gameleira. Ponto 10° 7'59.56" S, 41° 3'50.17" O, datum WGS1984;

Altitude: 880 m;

Situação e declividade: intermédio de cabeceira de vale com relevo plano;

Formação geológica e litologia: corresponde à Formação Morro do Chapéu, cuja rocha predominante para o local é o arenito (CPRM, 2003);

Material originário: arenito intemperizado, submetido a intensos processos pedogenéticos;

Uso atual: caatinga densa arbustiva com palmeiras.

Relevo local: plano;

Relevo regional: suave ondulado;

Drenagem: bem drenado;

Erosão: não aparente;

Profundidade: > 120 cm;

Pedregosidade: não pedregosa;

Rochosidade: não rochosa;

Vegetação primária: caatinga arbustiva densa com palmeiras;

Descrição Morfológica:

A1: 0 a 8 cm; 2,5Y 7/ 1; textura franco-arenosa, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho médio, granular; transição ondulada e gradual;

A2: 8 a 20 cm; 2,5Y 7/ 2; textura franco-arenosa, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho médio, granular; transição ondulada e clara;

AB: 20 a 40 cm; 2,5Y 7/ 4; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho muito pequena/ pequena, blocos angulares; transição ondulada e clara;

Bw1: 40 a 70 cm; 2,5Y 7/ 4; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta; estrutura moderada de tamanho médio/ grande, blocos angulares; transição ondulada e clara;

Bw2: 70 a 120+; 2,5Y 8/ 6; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta, estrutura moderada, grande/muito grande, blocos angulares;

Tabela 26: Características físicas encontradas para o Perfil 3

Perfil 3		Características Físicas										
Horizonte		Pdg	Comp. Gran. TFSA				ADA	GF	Silte/ Argila	Densid.		Porosid.
Símb.	Prof.		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				part.	solo	vol.
	cm	kg/ kg	dag/ kg				%			g/ cm ³		%
A1	0 a 8	0.00	20	55	10	15	3.2	78.8	0.67	2.55	1.34	0.47
A2	8 a 20	0.00	21	55	8	16	3.2	79.7	0.50	2.56	1.27	0.50
AB	20 a 40	0.01	18	52	9	21	3.8	81.9	0.43	2.63	1.29	0.51
Bw1	40 a 70	0.00	13	52	10	25	5.2	79.1	0.40	2.61	1.30	0.50
Bw2	70 a 120+	0.00	14	46	13	27	5.6	79.4	0.48	2.66	1.30	0.51

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade.

Tabela 27: Características químicas encontradas para o Perfil 3

Perfil 3		Características Químicas											
Horizonte		pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)
		H ₂ O	KCl	mg/ dm ³			cmolc/dm ³						
A1		4.52	3.60	0.70	56.00	1.50	0.00	0.00	1.24	7.20	0.15	1.39	7.35
A2		4.29	3.76	0.60	32.00	0.00	0.00	0.00	1.52	7.10	0.08	1.60	7.18
AB		4.40	3.98	0.30	20.00	0.00	0.00	0.00	1.62	6.30	0.05	1.67	6.35
Bw1		4.39	3.98	0.30	12.00	0.00	0.00	0.00	1.62	6.30	0.03	1.65	6.33
Bw2		4.40	3.96	0.10	8.00	0.00	0.00	0.00	1.71	5.50	0.02	1.73	5.52

Horizonte		V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
		%			dag/kg		mg/L			mg/ dm ³		
A1		2.00	89.20	0.47	2.13	44.30	0.88	50.30	1.60	0.21	0.88	14.00
A2		1.10	95.00	0.00	1.60	36.50	0.87	56.70	0.80	0.65	0.52	15.00
AB		0.80	97.00	0.00	0.93	33.00	0.83	51.20	0.30	0.53	0.58	11.20
Bw1		0.50	98.20	0.00	1.06	29.70	0.80	23.70	0.60	0.49	0.44	18.10
Bw2		0.40	98.80	0.00	0.67	27.10	0.82	22.30	0.20	0.51	0.44	15.40

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 52: Perfil 3 – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sob Caatinga Arbustiva Densa com Palmeiras

Perfil 04

Data: 22/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Neossolo Litólico distrófico – A fraco e moderado, textura arenosa e média, fase rochosa, relevo fortemente ondulado e montanhoso;

Classificação atual: *Neossolo Litólico Distrófico típico* – RLd - Tb, A moderado, raso, álico, relevo forte ondulado e montanhoso;

Localização: encosta da serra do Escurial, 13,0 km a nordeste de Lajes dos Negros e a 7,0 km de Gameleira. Ponto 10° 8' 28.99" S, 41° 4' 20.96" O, datum WGS1984;

Altitude: 886 m;

Situação e declividade: encosta em intermédio de longa face de vale bem dissecado com relevo forte ondulado;

Formação geológica e litologia: corresponde à Formação Morro do Chapéu, cuja rocha predominante para o local é o arenito (CPRM, 2003);

Material originário: arenito intemperizado, submetido a moderados processos pedogenéticos;

Uso atual: cerrado com palmeiras.

Vegetação primária: cerrado com palmeiras;

Relevo local: forte ondulado;

Relevo regional: forte ondulado;

Drenagem: bem drenado;

Erosão: não aparente;

Profundidade: 15 cm (raso);

Pedregosidade: extremamente pedregosa;

Rochosidade: extremamente rochosa;

Descrição Morfológica:

A: 0 a 15 cm; 2,5Y 6/ 1; textura argilosa, não cascalhenta; estrutura moderada de tamanho médio, blocos angulares; transição ondulada e abrupta;

Tabela 28: Características físicas encontradas para o Perfil 4

Perfil 4		Características Físicas									
Horizonte	Pdg	Comp. Gran. TFSA		ADA	GF	Silte/Argila	Densid.		Porosid.		
Símb.	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila		part.	solo	vol.		
	cm	kg/ kg	dag/ kg			%	g/ cm ³		%		
A	0 a 10	0.01	12 21	20	47	12.0 74.4	0.43	2.33 0.99	0.57		

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade.

Tabela 29: Características químicas encontradas para o Perfil 4

Perfil 4		Características Químicas										
Horizonte	pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)
	H ₂ O	KCl	mg/ dm ³					cmolc/dm ³				
A	4.28	3.68	2.10	175.00	5.50	0.70	0.28	2.10	15.90	1.45	3.55	17.35

Horizonte	V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	%		dag/kg		mg/L	mg/ dm ³					
A	8.40	59.20	0.67	6.32	27.50	1.15	108.20	3.60	0.00	1.17	25.10

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 53: Perfil 4 – Neossolo Litólico Distrófico típico sob cerrado em relevo forte ondulado

Perfil 05

Data: 22/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Cambissolo Eutrófico - Ta (argila de alta atividade), raso, C carbonático e não carbonático, A fraco, textura média e argilosa, fase rochosa relevo plano;

Classificação atual: *Neossolo Quartzarênico Hidromórfico típico* - RQg - distrófico, A fraco, fase Caatinga de várzea intermitente, relevo plano;

Localização: no leito maior do trecho intermitente do rio Pacuí, entre Lajes dos Negros e Engenho do Pacuí, 8,0 km a oeste do primeiro povoado e a 11,0 km do segundo. Ponto 10°11'14.36" S, 40°53'17.16" O, datum WGS1984;

Altitude: 556 m;

Situação e declividade: leito maior de rio intermitente em relevo plano;

Formação geológica e litologia: encontra-se no limite entre a Unidade Nova América, Formação Salitre, cujas rochas predominantes são calcilutito e calcarenito, e Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas (CPRM, 2003). Entretanto o material que compõe o solo corresponde a depósitos aluvionares provindos de toda a bacia hidrográfica a montante;

Material originário: depósitos aluvionares;

Uso atual: caatinga parque/ solo exposto.

Vegetação primária: caatinga densa arbórea ciliar;

Relevo local: plano;

Relevo regional: suave ondulado;

Drenagem: acentuadamente drenado;

Erosão: moderada a forte;

Profundidade: > 140 cm;

Pedregosidade: não pedregosa;

Rochosidade: não rochosa;

Descrição Morfológica:

Ag: 0 a 4 cm; 2.5GY 8/ 1; textura areia, não cascalhenta; estrutura grãos simples; transição ondulada e gradual;

ACg1: 4 a 20 cm; 2,5GY 7/ 1; textura areia-franca, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho pequeno, blocos angulares; transição ondulada e gradual;

Cg1: 20 a 45 cm; 2,5GY 7/ 1; textura areia-franca, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho médio, grãos simples e blocos angulares; transição ondulada e gradual;

Cg2: 45 a 65 cm; 5GY 8/ 1; textura areia-franca, não cascalhenta; estrutura moderada de tamanho pequeno, grãos simples e blocos angulares; transição ondulada e clara;

Cg3: 65 a 140+; 5GY 8/ 1; textura areia-franca, não cascalhenta, estrutura moderada, tamanho médio, grãos simples e blocos angulares;

Tabela 30: Características físicas encontradas para o Perfil 5

Perfil 5		Características Físicas										
Horizonte	Pdg	Comp. Gran. TFSA				ADA	GF	Silte/Argila	Densid.		Porosid.	
Símb.	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				part.	solo	vol.	
	cm	kg/ kg	-----	dag/ kg	-----	-----	%	-----	--	g/ cm ³	--	%
Ag	0 a 4	0.00	64	23	9	4	1.0	76.2	2.25	2.68	1.45	0.46
ACg	4 a 20	0.00	31	47	16	6	2.0	67.4	2.67	2.53	1.43	0.43
CBg	20 a 45	0.01	28	53	12	7	2.0	72.0	1.71	2.60	1.39	0.47
Cg1	45 a 65	0.00	37	43	14	6	4.0	33.9	2.33	2.74	1.43	0.48
Cg2	65 a 140+	0.00	42	43	12	3	1.1	64.9	4.00	2.73	1.56	0.43

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade

Tabela 31: Características químicas encontradas para o Perfil 5

Perfil 5		Características Químicas										
Horizonte	pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)
	H ₂ O	KCl	-----	mg/ dm ³	-----	-----	-----	-----	-----	cmolc/dm ³	-----	-----
Ag	6.64	6.04	21.90	101.00	1.50	2.34	0.14	0.00	2.20	2.75	2.75	4.95
ACg	6.19	5.44	5.80	95.00	0.00	1.96	0.18	0.00	2.70	2.38	2.38	5.08
CBg	5.21	4.12	2.10	40.00	1.50	1.08	0.02	0.29	4.20	1.21	1.50	5.41
Cg1	4.95	3.94	2.00	30.00	1.50	0.72	0.00	0.48	3.80	0.81	1.29	4.61
Cg2	5.03	3.97	3.80	18.00	0.00	0.22	0.00	0.38	3.00	0.27	0.65	3.27

Horizonte	V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	-----	%	-----	dag/kg	-----	-----	mg/L	-----	-----	mg/ dm ³	-----
Ag	55.60	0.00	0.24	1.33	47.00	3.52	77.30	52.20	0.12	0.76	5.60
ACg	46.90	0.00	0.00	1.06	50.30	1.52	85.30	30.10	0.00	0.48	5.10
CBg	22.40	19.30	0.43	0.67	47.80	0.96	199.00	6.50	0.11	0.25	6.30
Cg1	17.60	37.20	0.51	0.40	44.80	0.97	225.70	9.90	0.10	0.44	7.10
Cg2	8.30	58.50	0.00	0.40	50.30	0.96	109.20	5.40	0.10	0.37	7.70

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 54: Perfil 5 - Neossolo Quartzarênico Hidromórfico típico sob caatinga de várzea intermitente – transição cambissolo (avermelhado) para neossolo (acinzentado) em várzea

Perfil 06

Data: 23/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Latossolo Vermelho-Amarelo Álico - A fraco e moderado, textura média e argilosa, relevo plano;

Classificação atual: *Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico* – LVAd - A fraco, Tb, álico, BW2, BW3 e BW4 solódicos, relevo plano;

Localização: proximidades do divisor topográfico sul na região central. Ponto 10° 11' 48.37" S, 40° 51' 25.31" O, datum WGS1984;

Altitude: 548 m;

Situação e declividade: leito maior de rio intermitente em relevo plano;

Formação geológica e litologia: Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas, (CPRM, 2003);

Material originário: Aglomerado, Laterita, Depósitos de areia e Depósitos de argila sob intensos processos pedogenéticos;

Uso atual: caatinga parque.

Vegetação primária: caatinga arbustiva aberta;

Relevo local: plano;

Relevo regional: plano;

Drenagem: bem drenado;

Erosão: ligeira;

Profundidade: > 115 cm;

Pedregosidade: não pedregosa;

Rochosidade: não rochosa;

Descrição Morfológica:

A: 0 a 4 cm; 10 YR 8/ 4; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta; estrutura fraca, tamanho médio, blocos angulares; transição ondulada e gradual;

BW1: 4 a 35 cm; 10 YR 8/ 4; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho médio, blocos angulares; transição ondulada e gradual;

BW2: 35 a 50 cm; 10 YR 7/ 4; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta; estrutura moderada de tamanho médio, blocos angulares; transição ondulada e gradual;

BW3: 50 a 70 cm; 10 YR 7/ 4; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta; estrutura moderada de tamanho médio a grande, blocos angulares; transição ondulada e gradual;

BW4: 70 a 115+; 10 YR 7/ 4; textura argilo-arenosa, não cascalhenta, estrutura fraca, tamanho pequeno e grande, blocos angulares;

Tabela 32: Características físicas encontradas para o Perfil 6

Perfil 6		Características Físicas										
Horizonte	Pdg	Comp. Gran. TFSA				ADA	GF	Silte/ Argila	Densid.		Porosid.	
Símb.	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				part.	solo	vol.	
	cm	kg/ kg	dag/ kg		%			g/ cm ³		%		
A	0 a 4	0.02	28	31	12	29	4.5	84.6	0.41	2.55	1.39	0.46
BW1	4 a 35	0.02	25	41	9	25	0.9	96.6	0.36	2.69	1.33	0.51
BW2	35 a 50	0.03	26	29	13	32	0.2	99.4	0.41	2.52	1.30	0.48
BW3	50 a 70	0.02	24	28	14	34	1.1	96.8	0.41	2.65	1.29	0.51
BW4	70 a 115+	0.02	22	26	14	38	0.4	99.1	0.37	2.74	1.31	0.52

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade.

Tabela 33: Características químicas encontradas para o Perfil 6

Perfil 6		Características Químicas											
Horizonte	pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)	
	H ₂ O	KCl	mg/ dm ³			cmolc/dm ³							
A	4.75	3.98	4.30	60.00	1.50	0.19	0.00	0.67	3.90	0.35	1.02	4.25	
BW1	4.32	3.81	11.90	42.00	1.50	0.00	0.00	0.95	4.10	0.12	1.07	4.22	
BW2	4.37	3.89	1.70	55.00	6.10	0.00	0.00	1.24	4.10	0.17	1.41	4.27	
BW3	4.31	3.90	0.60	70.00	12.20	0.00	0.00	0.33	3.90	0.23	1.56	4.13	
BW4	4.17	3.84	0.20	74.00	8.10	0.00	0.00	1.33	3.80	0.23	1.56	4.03	

Horizonte	V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	
	%		dag/kg		mg/L						mg/ dm ³	
A	8.20	65.70	0.64	0.40	31.00	1.03	12.00	35.60	1.06	0.41	21.80	
BW1	2.80	88.80	0.61	0.40	39.10	0.81	10.10	14.70	1.12	0.40	43.50	
BW2	4.00	87.90	1.88	0.39	21.30	0.99	12.60	46.60	1.52	35.59	112.40	
BW3	5.60	85.30	3.40	0.39	19.10	1.18	13.90	57.40	2.03	38.09	104.80	
BW4	5.70	85.30	2.26	0.39	19.80	1.07	15.70	39.60	1.76	41.75	85.90	

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 55: Perfil 6 – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico sob Caatinga Aberta em relevo plano

Perfil 07

Data: 23/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Cambissolo Eutrófico - Ta (argila de alta atividade), raso, C carbonático, A fraco, textura média e argilosa, fase rochosa, relevo ondulado e suavemente ondulado;

Classificação atual: *Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico* – CXbe - A fraco, profundo (> 100 cm e ≤ 200 cm), êutrico, relevo plano e suave ondulado;

Localização: região central da sub-bacia, 5,7 km a oeste de Engenho do Pacuí. Ponto 10° 6'16.56" S, 40°52'21.84" O, datum WGS1984;

Altitude: 624 m;

Situação e declividade: pequeno vale formado no suave ondulado declive entre a porção ligeiramente elevada da região central da sub-bacia e o trecho intermitente do rio Pacuí, a jusante de Lajes dos Negros;

Formação geológica e litologia: Unidade Nova América, Formação Salitre, cujas rochas predominantes são calcilito e calcarenito (CPRM, 2003).

Material originário: rocha calcária;

Uso atual: borda de caatinga densa, a poucos metros de pastagens.

Vegetação primária: caatinga arbórea densa;

Relevo local: plano;

Relevo regional: suave ondulado;

Drenagem: bem drenado;

Erosão: moderada;

Profundidade: 110 cm (profundo);

Pedregosidade: ligeiramente pedregosa;

Rochosidade: não rochosa;

Descrição Morfológica:

A: 0 a 5 cm; 7,5 YR 8/ 3; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta; estrutura moderada, tamanho pequeno, granular e blocos angulares; transição ondulada e gradual;

AB: 5 a 20 cm; 7,5 YR 8/ 4; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta; estrutura moderada de tamanho médio, blocos angulares; transição ondulada e gradual;

Bi1: 20 a 50 cm; 5 YR 8/ 4; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta; estrutura moderada de tamanho pequeno e médio, blocos angulares; transição ondulada e gradual;

Bi2: 50 a 110 cm; 5 YR 8/ 4; textura franco-argilo-arenosa, não cascalhenta; estrutura moderada de tamanho médio a grande, blocos angulares;

Tabela 34: Características físicas encontradas para o Perfil 7

Perfil 7		Características Físicas										
Horizonte		Pdg	Comp. Gran. TFSA				ADA	GF	Silte/ Argila	Densid.		Porosid.
Símb.	Prof.		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				part.	solo	vol.
	cm	kg/ kg	dag/ kg				%			g/ cm ³		%
A	0 a 5	0.00	15	41	23	21	4.2	79.9	1.10	2.55	1.29	0.50
AB	5 a 20	0.00	16	41	21	22	4.6	79.3	0.95	2.41	1.39	0.42
Bi1	20 a 50	0.00	16	39	22	23	6.0	73.7	0.96	2.25	1.41	0.37
Bi2	50 a 110+	0.02	12	40	24	24	3.9	83.9	1.00	2.65	1.44	0.45

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de flocação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade.

Tabela 35: Características químicas encontradas para o Perfil 7

Perfil 7		Características Químicas											
Horizonte		pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)
		H ₂ O	KCl	mg/ dm ³				cmolc/dm ³					
A		6.50	6.69	37.80	326.00	10.20	8.67	1.30	0.00	0.90	10.84	10.84	11.74
AB		6.41	6.80	10.30	144.00	6.10	4.45	0.48	0.00	1.10	5.33	5.33	6.43
Bi1		6.25	6.61	5.10	82.00	6.10	2.80	0.30	0.00	1.10	3.34	3.34	4.44
Bi2		6.46	5.05	2.40	39.00	6.10	5.30	0.71	0.00	1.90	6.14	6.14	8.04

Horizonte		V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
		%			dag/kg	mg/L						
A		92.30	0.00	0.41	3.26	32.30	8.02	7.00	399.60	0.35	42.61	0.00
AB		82.90	0.00	0.50	1.17	35.90	3.13	7.70	204.20	1.48	52.52	6.40
Bi1		75.20	0.00	0.79	0.52	36.10	1.99	18.60	79.70	1.49	42.12	6.40
Bi2		76.40	0.00	0.43	0.39	32.60	1.22	27.40	31.10	0.66	37.70	20.30

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 56: Perfil 7 – Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico sob Caatinga Densa em relevo plano a suave ondulado

Perfil 08

Data: 23/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Cambissolo Eutrófico - Ta (argila de alta atividade), raso, C carbonático e não carbonático, A fraco, textura média e argilosa, fase rochosa, relevo suavemente ondulado;

Classificação atual: *Cambissolo Háptico Tb Eutrófico léptico* - CXbe - A fraco, raso, êtrico, relevo plano e suave ondulado;

Localização: região central da sub-bacia, 11,2 km a oeste de Engenho do Pacuí. Ponto 10° 6'11.00" S, 40°55'22.56" O, datum WGS1984;

Altitude: 669 m;

Situação e declividade: patamar entre a porção ligeiramente elevada da região central da sub-bacia e o vale do riacho Queixo D'antas;

Formação geológica e litologia: Unidade Nova América, Formação Salitre, cujas rochas predominantes são calcilito e calcarenito (CPRM, 2003).

Material originário: rocha calcária;

Uso atual: solo exposto.

Vegetação primária: caatinga arbórea densa;

Relevo local: plano;

Relevo regional: suave ondulado;

Drenagem: bem drenado;

Erosão: ligeira

Profundidade: 50 cm (raso);

Pedregosidade: ligeiramente pedregosa;

Rochosidade: não rochosa;

Descrição Morfológica:

A: 0 a 3 cm; 5 YR 7/ 6; textura franco-argilosa, não cascalhenta; estrutura moderada, tamanho pequeno, grãos simples e blocos angulares; transição ondulada e gradual;

AB: 3 a 15 cm; 5 YR 7/ 6; textura franco-argilosa, não cascalhenta; estrutura moderada de tamanho pequeno, blocos angulares; transição ondulada e gradual;

Bi1: 15 a 35 cm; 5 YR 7/ 6; textura franco-argilosa, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho pequeno, blocos angulares; transição ondulada e gradual;

Bi2: 35 a 50; 5 YR 7/ 6; textura franco-argilosa, não cascalhenta; estrutura fraca, de tamanho pequeno, em blocos angulares;

Tabela 36: Características físicas encontradas para o Perfil 8

Perfil 8		Características Físicas										
Horizonte	Pdg	Comp. Gran. TFSA					ADA	GF	Silte/ Argila	Densid.		Porosid.
Símb.	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				part.	solo	vol.	
	cm	kg/ kg	dag/ kg			%			g/ cm ³		%	
A	0 a 3	0.02	10	25	31	34	9.7	71.4	0.91	2.62	1.28	0.51
AB	3 a 15	0.00	11	24	32	33	12.8	61.2	0.97	2.89	1.26	0.56
Bi1	15 a 35	0.03	9	23	31	37	13.8	62.8	0.84	2.35	1.26	0.46
Bi2	35 a 50+	0.03	10	22	30	38	10.3	72.8	0.79	2.74	1.26	0.54

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de flocação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade

Tabela 37: Características químicas encontradas para o Perfil 8

Perfil 8		Características Químicas										
Horizonte	pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)
	H ₂ O	KCl	mg/ dm ³			cmolc/dm ³						
A	7.40	6.56	9.20	286.00	10.20	5.32	0.72	0.00	1.30	6.81	6.81	8.11
AB	6.67	6.64	4.60	247.00	16.20	7.52	0.91	0.00	0.90	9.13	9.13	10.03
Bi1	6.57	6.50	1.60	172.00	10.20	5.92	0.87	0.00	1.70	7.27	7.27	8.97
Bi2	6.10	6.44	1.90	126.00	12.20	6.49	0.79	0.00	1.40	7.65	7.65	9.05

Horizonte	V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	%		dag/kg			mg/L			mg/ dm ³		
A	84.00	0.00	0.65	1.70	33.90	5.63	18.90	354.30	6.04	31.33	8.20
AB	91.00	0.00	0.77	1.57	30.20	5.40	13.90	315.30	5.31	41.87	21.90
Bi1	81.00	0.00	0.61	0.13	27.70	2.55	28.50	130.60	5.28	46.36	20.20
Bi2	84.50	0.00	0.69	0.52	27.20	1.69	18.30	52.70	3.28	41.13	12.30

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 57: Perfil 8 - Cambissolo Háplico Tb Eutrófico léptico sob solo exposto em relevo plano a suave ondulado

Perfil 09

Data: 24/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Cambissolo Eutrófico – Ta e Tb, raso, C. carbonático, A fraco, textura média e argilosa, fase rochosa, relevo plano e suavemente ondulado;

Classificação atual: *Cambissolo Háptico Carbonático saprolítico* – CXk - Tb eutrófico, A fraco, CR solódico, êutrico, cascalhento a muito cascalhento, fase erodida, relevo ondulado a forte ondulado;

Localização: terço final do trecho perene do vale do rio Pacuí, 3,1 km a sudoeste de Abreus. Ponto 10°1'49.37" S, 40°42'51.32" O, datum WGS1984;

Altitude: 495 m;

Situação e declividade: terço médio da encosta do vale do rio Pacuí, próximo à foz;

Formação geológica e litologia: Formação Bebedouro, Supergrupo São Francisco, cujas rochas predominantes no local são metassiltitos (RADAMBRASIL, 1983).

Material originário: metassiltito;

Uso atual: caatinga parque.

Vegetação primária: caatinga arbórea densa;

Relevo local: ondulado;

Relevo regional: forte ondulado;

Drenagem: bem drenado;

Erosão: forte

Profundidade: > 60 cm;

Pedregosidade: muito pedregosa;

Rochosidade: não rochosa;

Descrição Morfológica:

A: 0 a 2 cm; 7,5 YR 8/ 2; textura franco-argilosa, cascalhenta; estrutura fraca, tamanho pequeno, blocos angulares; transição ondulada e gradual;

Bi: 2 a 20 cm; 7,5 YR 7/ 2; textura franco-argilosa, cascalhenta; estrutura forte de tamanho pequeno, blocos angulares; transição ondulada e abrupta;

CR: 20 a 60+ cm; 7,5 YR 8/ 1; textura franco-argilosa, muito cascalhenta; grãos simples;

Tabela 38: Características físicas encontradas para o Perfil 9

Perfil 9		Características Físicas										
Horizonte	Pdg	Comp. Gran. TFSA					ADA	GF	Silte/Argila	Densid.		Porosid.
Símb.	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				part.	solo	vol.	
	cm	kg/ kg	dag/ kg			%			g/ cm ³		%	
A	0 a 2	0.31	17	8	41	34	8.4	75.2	1.21	2.50	1.16	0.54
Bi	2 a 20	0.34	16	12	36	36	11.3	68.6	1.00	2.40	1.14	0.53
CR	20 a 60+	0.69	25	9	37	29	8.8	69.7	1.28	2.53	1.13	0.55

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade.

Tabela 39: Características químicas encontradas para o Perfil 9

Perfil 9		Características Químicas										
Horizonte	pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)
	H ₂ O	KCl	mg/ dm ³			cmolc/dm ³						
A	8.30	7.43	1.00	247.00	20.20	17.98	2.25	0.00	0.60	20.95	20.95	21.55
Bi	8.29	7.52	0.90	61.00	22.20	18.62	2.41	0.00	0.50	21.29	21.29	21.79
CR	8.60	7.69	0.50	23.00	20.20	9.29	1.07	0.00	0.50	10.51	10.51	11.01

Horizonte	V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	%			dag/kg		mg/L			mg/ dm ³		
A	97.20	0.00	0.42	5.09	22.70	0.00	0.60	6.30	0.00	38.22	0.00
Bi	97.70	0.00	0.45	3.91	21.90	0.00	0.70	2.10	0.00	53.00	0.00
CR	95.50	0.00	0.84	1.30	25.50	0.00	0.50	3.20	0.00	44.28	0.00

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 58: Perfil 9 – Cambissolo Háplico Carbonático saprolítico sob Caatinga Parque em relevo ondulado

Perfil 10

Data: 24/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Cambissolo Eutrófico - Ta (argila de alta atividade), raso, C carbonático e não carbonático, A fraco, textura média e argilosa, fase rochosa relevo plano;

Classificação atual: *Cambissolo Háptico Tb Eutrófico latossólico* - CXbe - A fraco, pouco profundo (> 50 cm e ≤ 100 cm), êutrico, relevo plano a suave;

Localização: região leste da sub-bacia, intermédio entre rio Pacuí e divisor topográfico, 10,3 km ao sul de Abreus. Ponto 10° 5'28.56" S, 40°44'23.35" O, datum WGS1984;

Altitude: 523 m;

Situação e declividade: terraço elevado em relevo plano ;

Formação geológica e litologia: Formação Caatinga, cujas rochas predominantes no local são calcários cinza-esbranquiçados (RADAMBRASIL, 1983).

Material originário: rocha calcária;

Uso atual: caatinga parque

Vegetação primária: caatinga arbórea densa;

Relevo local: plano;

Relevo regional: plano;

Drenagem: bem drenado;

Erosão: ligeira

Profundidade: 95 cm;

Pedregosidade: não pedregosa;

Rochosidade: não rochosa;

Descrição Morfológica:

A: 0 a 4 cm; 7,5 YR 8/ 4; textura argila, não cascalhenta; estrutura moderada, tamanho pequeno, grãos simples e blocos angulares; transição ondulada e gradual;

AB: 4 a 25 cm; 7,5 YR 8/ 6; textura argila, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho pequeno e médio, blocos angulares; transição ondulada e difusa;

Bi: 25 a 50 cm; 7,5 YR 8/ 6; textura argila, não cascalhenta; estrutura moderada de tamanho pequeno e médio, blocos angulares; transição ondulada e clara;

BC: 50 a 95; 7,5 YR 8/ 6; textura argila, não cascalhenta; estrutura forte, de tamanho médio a grande, em blocos angulares;

Tabela 40: Características físicas encontradas para o Perfil 10

Perfil 10		Características Físicas										
Horizonte	Pdg	Comp. Gran. TFSA				ADA	GF	Silte/ Argila	Densid.		Porosid.	
Símb.	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				part.	solo	vol.	
	cm	kg/ kg	dag/ kg		%			g/ cm ³		%		
A	0 a 4	0.00	20	18	18	44	7.4	83.1	0.41	2.43	1.21	0.50
AB	4 a 25	0.00	17	15	16	52	2.2	95.8	0.31	2.37	1.20	0.49
Bi	25 a 50	0.02	15	14	16	55	4.1	92.6	0.29	2.67	1.24	0.54
BC	50 a 95	0.00	17	13	17	53	7.9	85.2	0.32	2.56	1.25	0.51

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade.

Tabela 41: Características químicas encontradas para o Perfil 10

Perfil 10		Características Químicas										
Horizonte	pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)
	H ₂ O	KCl	mg/ dm ³			cmolc/dm ³						
A	7.50	7.34	2.10	286.00	12.20	8.90	2.87	0.00	2.20	12.55	12.55	14.75
AB	7.36	6.70	1.00	126.00	12.20	12.48	2.49	0.00	2.20	15.34	15.34	17.54
Bi	6.40	4.77	0.30	59.00	20.20	9.70	1.85	0.00	3.10	11.79	11.79	14.89
BC	6.46	4.95	0.20	37.00	20.20	13.02	1.77	0.00	2.80	14.97	14.97	17.77

Horizonte	V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	%		dag/kg		mg/L						
A	85.10	0.00	0.42	3.78	25.80	5.33	13.30	308.20	2.46	36.78	0.00
AB	87.50	0.00	0.35	1.96	18.60	1.78	18.80	99.70	2.78	33.55	5.10
Bi	79.20	0.00	0.74	0.91	18.50	0.97	23.10	42.40	1.79	47.93	1.50
BC	84.20	0.00	0.59	0.52	24.40	0.89	19.20	32.40	1.32	43.81	0.00

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 59: Perfil 10 – Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico sob Caatinga Parque em relevo plano

Perfil 11

Data: 24/08/2012

Classificação RADAMBRASIL (1983): Cambissolo Eutrófico – Ta e Tb, C carbonático e não carbonático, A fraco e moderado, textura média e argilosa, relevo plano e suavemente ondulado;

Classificação atual: *Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico* – Rqo - Tb, A fraco, álico, A e AC solódicos;

Localização: meio norte da sub-bacia, no vale do rio Queixo D'antas, 9,9 km ao norte de Engenho do Pacuí. Ponto 10° 1'17.53" S, 40°48'59.12" O, datum WGS1984;

Altitude: 523 m;

Situação e declividade: terraço em relevo plano;

Formação geológica e litologia: Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas, (CPRM, 2003);

Material originário: Aglomerado, Laterita, Depósitos de areia e Depósitos de argila sob intensos processos pedogenéticos;

Uso atual: caatinga arbórea aberta

Vegetação primária: caatinga arbórea aberta;

Relevo local: plano;

Relevo regional: plano;

Drenagem: bem drenado;

Erosão: ligeira

Profundidade: > 140 cm;

Pedregosidade: não pedregosa;

Rochosidade: não rochosa;

Descrição Morfológica:

A: 0 a 3 cm; 5 YR 8/ 3; textura areia-franca, não cascalhenta; estrutura fraca, tamanho pequeno, grãos simples e granular; transição ondulada e gradual;

AC: 3 a 30 cm; 5 YR 8/ 4; textura areia-franca, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho pequeno, grãos simples, granular e blocos angulares; transição ondulada e gradual;

C1: 30 a 55 cm; 5 YR 8/ 6; textura areia-franca, não cascalhenta; estrutura fraca de tamanho médio, grãos simples e blocos angulares; transição ondulada e difusa;

C2: 55 a 140+ cm; 5 YR 8/ 8; textura franco-arenosa, não cascalhenta; estrutura fraca, de tamanho grande, grãos simples, blocos angulares e prismática;

Tabela 42: Características físicas encontradas para o Perfil 11

Perfil 11		Características Físicas										
Horizonte		Pdg	Comp. Gran. TFSA				ADA	GF	Silte/ Argila	Densid.		Porosid.
Símb.	Prof.		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				part.	solo	vol.
	cm	kg/ kg	dag/ kg				%			g/ cm ³		%
A	0 a 3	0.00	49	35	5	11	2.7	75.8	0.45	2.45	1.46	0.41
AC	3 a 30	0.00	52	33	5	10	3.5	65.4	0.50	2.63	1.47	0.44
C1	30 a 55	0.00	46	38	5	11	4.7	57.1	0.45	2.59	1.50	0.42
C2	55 a 140+	0.00	37	41	6	16	5.6	65.2	0.38	2.59	1.48	0.43

Pdg: pedregosidade; Comp. Gran. TFSA: composição granulométrica da terra fina seca ao ar; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de flocação; Densid.: densidade; Porosid.: porosidade

Tabela 43: Características químicas encontradas para o Perfil 11

Perfil 11		Características Químicas											
Horizonte		pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)
		H ₂ O	KCl	mg/ dm ³				cmolc/dm ³					
A		5.14	3.80	3.20	146.00	16.20	0.55	0.06	0.29	5.50	1.05	1.34	6.55
AC		4.46	3.57	1.20	47.00	8.10	0.00	0.00	0.76	4.40	0.16	0.92	4.56
C1		4.70	3.75	1.30	27.00	2.10	0.00	0.00	0.67	3.10	0.08	0.75	3.18
C2		4.25	3.91	0.50	23.00	2.10	0.00	0.00	0.86	3.00	0.07	0.93	3.07

Horizonte		V	m	ISNa	MO	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
		%			dag/kg		mg/L			mg/ dm ³		
A		16.00	21.60	5.26	1.96	49.40	1.88	52.50	10.90	0.35	36.52	12.70
AC		3.50	82.60	3.83	1.17	53.50	1.14	40.20	2.50	0.19	32.17	14.70
C1		2.50	89.30	1.22	0.78	50.10	0.95	27.10	1.60	0.22	51.62	12.80
C2		2.30	92.50	0.98	0.52	44.10	0.98	16.90	0.80	0.63	39.63	27.30

SB: soma de bases; (t): capacidade de troca de cátions efetiva; (T): capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação de bases; m: saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente.



Figura 60: Perfil 11 – Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico sob Caatinga Aberta em relevo plano

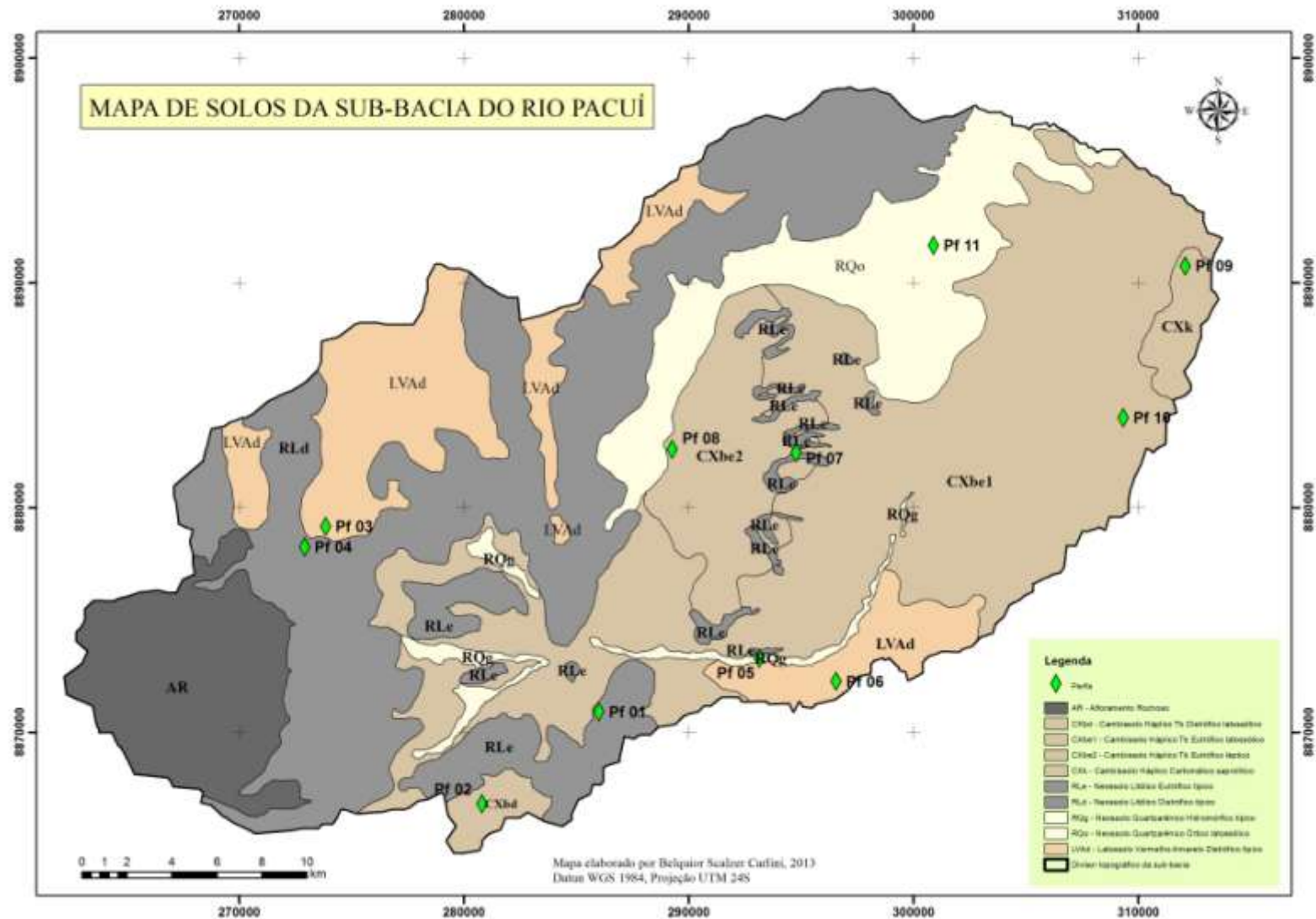


Figura 61: Distribuição das classes de solos encontradas na sub-bacia do rio Pacuí

Curvas Características de Retenção de Água nos Solos

A curva de retenção obtida para os primeiros horizontes B ou na ausência deste, os horizontes A, está exposta na Figura 62. O ordenamento e nomenclatura dos solos correspondem ao dos perfis, os quais seguiram a ordem cronológica de abertura.

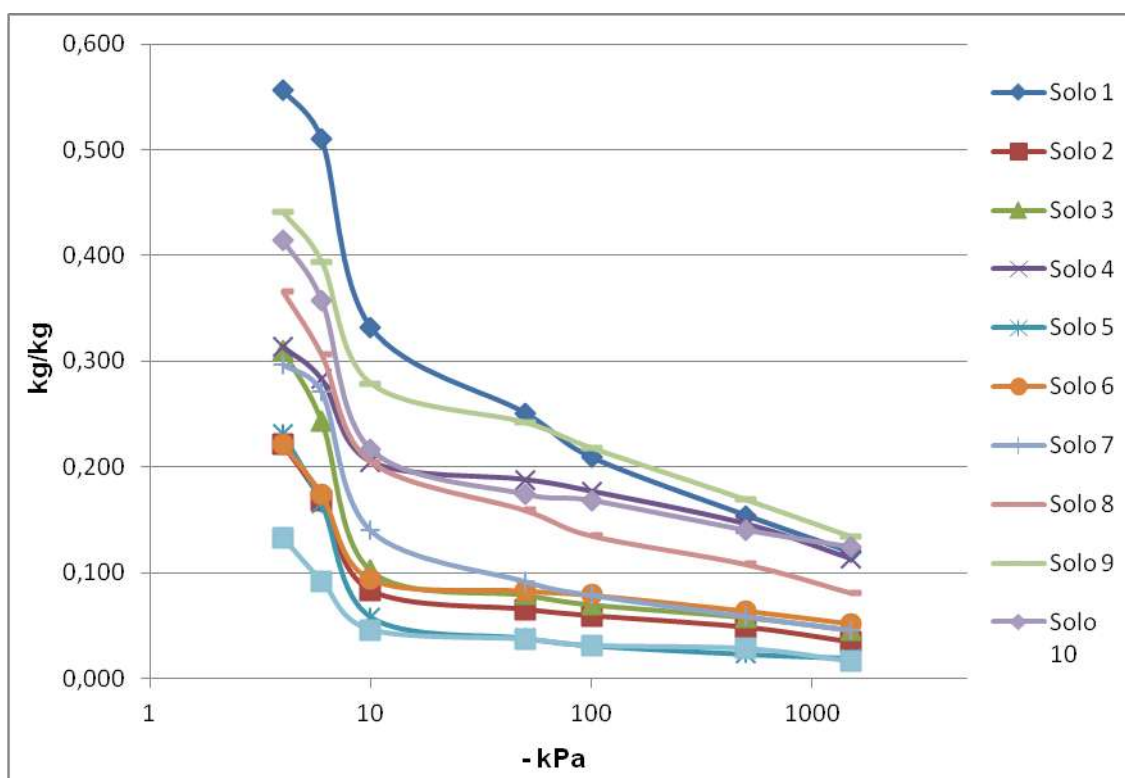


Figura 62: Curvas características de retenção de água para horizontes B ou, na ausência deste, A – numeração dos solos correspondente ao respectivo perfil

Ambientes Encontrados na Sub-bacia do Rio Pacuí

Ambiente 1: Neossolos Litólicos Eutróficos em relevo fortemente ondulado e montanhoso sobre rochas calcárias e originalmente sob Caatinga Densa

Este ambiente tem área de ocorrência correspondente à do solo encontrado no primeiro perfil. São os trechos com relevo ondulado, forte ondulado ou montanhoso onde a rocha matriz é calcária pertencente ao Grupo Bambuí. A cobertura do solo originalmente era composta por caatinga

densa em toda a sua extensão. Entretanto, devido à fertilidade do solo, alguns trechos foram desmatados para tentativas de implantação de pastagens e de cultivos agrícolas. Percebe-se que não obtiveram sucesso e estas áreas encontram-se degradadas, com sinais de erosão laminar. Apesar da boa capacidade de retenção hídrica, a pouca profundidade, a erodibilidade favorecida pela declividade, a alta pedregosidade, a solodicidade e a irregularidade pluviométrica devem ser os fatores de insucesso.



Figura 63: Ambiente 1 em relevo ondulado

Os teores de matéria orgânica foram os maiores encontrados dentre todos os ambientes, chegando a 7,85 dag/kg no horizonte A do solo. Esta característica compensa o alto teor de silte, conjuntamente com a alta pedregosidade, que conferem ao solo maior resistência à erosão e menores perdas de água. As rochas despontando na superfície diminuem a velocidade do escoamento superficial e conferem obstáculo ainda para o fluxo interno do solo, reduzindo evapotranspiração e percolação. A matéria orgânica melhora a estrutura do solo, diminui a perda de água e de

nutrientes. A curva de retenção de água (Figura 62, solo 1) demonstra ser este o solo com maior capacidade de armazenamento hídrico.

A fertilidade do solo foi interpretada de acordo com RIBEIRO et al. (1999). Apresenta pH moderadamente alcalino, entretanto considerado agronomicamente muito alto. As demais características foram classificadas como muito boas, exceto potássio que tem média e magnésio que tem boa disponibilidade. Pela alta saturação por bases, este solo pode ser classificado como eutrófico. Para CR, foi observado que o nível de sódio é elevado, retratando provavelmente a origem marinha da rocha matriz.



Figura 64: Ambiente 1 em relevo forte ondulado

Recomenda-se a recuperação e preservação deste ambiente, já que possui solos rasos, cascalhentos e muito declivosos. Todas as áreas antropizadas neste ambiente apresentavam cobertura vegetal insipiente, demonstrando a incapacidade para suportar sistemas produtivos sustentáveis. A reintrodução da vegetação nativa neste não seria limitada pela fertilidade, porém sim pelas propriedades físicas dos solo, pelo relevo e pela pluviosidade. Há pouca profundidade e o manejo é dificultoso pela alta

pedregosidade, pela dificuldade de acesso e pela baixa disponibilidade de água para a irrigação. A regeneração natural pode ser viável em muitos trechos, pois ainda há fontes de propágulos nos vários fragmentos preservados.

Ambiente 2: Cambissolos Háplicos Tb Distróficos sobre arenito em relevo suave ondulado e originalmente sob Caatinga Densa com Palmeiras

Este ambiente possui ocorrência correspondente à do solo encontrado no segundo perfil. O relevo varia de plano a suave ondulado e a cobertura vegetal originária era caatinga densa com palmeiras. Atualmente, a maior parte encontra-se antropizada e coberta por caatinga parque com palmeiras, pastagens degradadas ou solos expostos. Fica localizado próximo aos divisores topográficos, em meio a vale sem talvegue distinguível, demonstrando serem os solos bem drenados, o que é confirmado pelo teor de areia próximo a 80 %. A área é pouco declivosa e constitui uma mancha entremeada por encostas com Neossolos litólicos semelhantes aos do perfil 1. A geologia corresponde à Formação Morro do Chapéu, cuja rocha predominante é o arenito (CPRM, 2003).

O solo possui teor de matéria orgânica baixo e o pH varia de fortemente ácido e a extremamente ácido. Possui cátions trocáveis muito baixos, média acidez potencial e saturação por alumínio muito alta. A disponibilidade de fósforo é baixa e a de potássio também. Logo, percebe-se que o solo é distrófico, confirmando-se pela baixa saturação por bases. O material de origem é a principal causa disto. Possui textura grossa, estrutura fraca e uma das mais baixas capacidades de retenção de água, ficando à frente apenas dos Neossolos Quartzarênicos.

Esta porção foi desmatada em várias glebas seguindo o padrão dos cambissolos eutróficos existentes nas cotas mais baixas em direção a Campo Formoso. Provavelmente houve tentativa de uso agrícola de sequeiro que não rendeu bons resultados devido à baixa fertilidade. Foi notada apenas erosão laminar na área.

A utilização agrícola destes solos é possível e favorecida pela baixa declividade. Para isto, deveriam ser feitas as correções químicas adequadas e manejo cuidadoso, devido ao seu desenvolvimento incipiente e sua fraca estrutura. Entretanto, a baixa pluviosidade, a baixa capacidade de retenção de água, a grande distância de fontes hídricas e o maior investimento necessário se comparado aos solos de regiões próximas tornam este ambiente pouco viável para uso agropecuário. O custo seria muito elevado e seriam requeridos gastos excessivos de recursos naturais. Devido à profundidade e boa permeabilidade, há possibilidade que esta seja uma importante área de recarga hídrica do aquífero que mantém o rio Pacuí e estudos hidrogeológicos detalhados são necessários.



Figura 65: Aspecto atual do Ambiente 2

A recuperação ou o uso agropecuário requerem cuidados com o manejo do solo. Práticas mecânicas de conservação são favorecidas pela baixa pedregosidade, mas a fraca estrutura deve impossibilitar durabilidade razoável para as estruturas. Há grande dificuldade de estabelecimento de plantas devido à baixa fertilidade e à baixa retenção hídrica. A regeneração natural tem grande possibilidade de sucesso a médio e longo prazo devido à

presença de muitos fragmentos de vegetação antropizada, porém contendo boa diversidade de espécies nativas.

Ambiente 3: *Latossolos Vermelho-Amarelos Tb Distróficos sobre arenito em planalto com relevo suave ondulado e sob Cerrado ou Caatinga Arbustiva Densa*

O terceiro ambiente localiza-se sobre a serra do Escurial em uma região de relevo suave ondulado extensa que domina boa parte da área de drenagem superior do riacho Salobro e o topo dos divisores topográficos limites com a sub-bacia do riacho do Escurial. A geologia corresponde à Formação Morro do Chapéu (CPRM, 2003) e predomina como rocha matriz o arenito. Segundo RADAMBRASIL (1983), este local deveria abrigar Neossolos litólicos, entretanto, os solos são profundos e bem drenados, semelhantes aos do perfil 2 por ocorrerem sobre a mesma litologia e possuírem relevo semelhante. Nesta região ocorrem Latossolos Vermelho-Amarelos que tem ainda maior pobreza química, com teores de fósforo disponível muito baixos e maior acidez trocável e acidez potencial. A vegetação reflete bem esta condição de pouca retenção de água e características químicas adversas: apresenta porte arbustivo que não passa de 2 m de altura. Estas características químicas confirmam que este solo é mais intemperizado que o segundo, fato também concordante com a maior proporção areia fina/ areia grossa e menor relação silte/ argila apresentadas. Faz sentido, pois esta região recebe maior pluviosidade devido às chuvas orográficas. Mesmo em plena seca as plantas mantinham ainda alguma folhagem verde. A vegetação predominante é a Caatinga Arbustiva Densa.

Há aptidão para aplicação de técnicas agropecuárias modernas, onde se utilize correção química e irrigação, porém, pela enorme distância de fontes hídricas, pela elevada cota e pela baixa retenção hídrica, é inviável o uso agrícola. Até mesmo a pecuária extensiva é insustentável, pois as limitações químicas impedem que a vegetação nativa dê suporte a rebanhos e rapidamente seria degradada. Infelizmente esta última atividade já está em curso.

Este ambiente possui elevado grau de conservação, havendo mínima intervenção, porém em expansão. Estradas, cercas e casas têm sido construídas e um bloco de mais de 50 ha foi desmatado há pouco tempo. Há previsão de criação do Parque Nacional do Boqueirão da Onça que abrigaria esta região, que é refúgio para uma população sobrevivente de onças pintadas. Esta área pode ainda constituir uma das mais importantes zonas de recarga hídrica da sub-bacia do rio Pacuí, cabendo pesquisas detalhadas. Logo, por se tratar de uma das últimas áreas bem preservadas da caatinga, recomenda-se sua proteção integral, inclusive como medida emergencial.



Figura 66: Impactos atuais sobre o Ambiente 3

Ambiente 4: Neossolos Litólicos Distróficos sobre arenito em relevo fortemente ondulado a montanhoso sob Cerrado ou Caatinga Densa

Corresponde às encostas das serras onde ocorrem chuvas orográficas. Domina as áreas com solos caracterizados através do perfil 4. Eles têm coloração escura, são rasos, argilosos, com bom teor de matéria

orgânica e possuem a maior porosidade dentre todos os solos analisados. Há riqueza de matacões e calhaus com arestas arredondadas. A geologia corresponde à Formação Morro do Chapéu (CPRM, 2003), onde predomina o arenito.

Apesar da mesma rocha matriz, este ambiente diferencia-se do segundo e do terceiro justamente pelo relevo que não favorece a pedogênese, dificultando o acúmulo de sedimentos e o aprofundamento dos solos. Há também pobreza química, acidez elevada e alta concentração de alumínio que prejudicam o desenvolvimento das plantas. Fatos que compensam este quadro são a maior pluviosidade e o bom teor de matéria orgânica que auxilia na conservação de água e de nutrientes no solo. Há ainda potássio disponível despontando em concentração muito alta, fato visto também em várias outras amostras da sub-bacia.



Figura 67: Antropização do Ambiente 4

A aptidão agrícola é baixa devido e à pouca profundidade e facilidade de erosão. Ocorrem diversas áreas com declividade acima de 100 %, as caracterizando como de preservação permanentes. Possui a vegetação mais

exuberante da sub-bacia e quase totalmente preservada. Recomenda-se que seja mantida a conservação, atentando para as incursões das atividades humanas que têm se instalado na área. A retirada da cobertura vegetal tem grande potencial de desencadear processos erosivos que rapidamente destruiriam estes rasos solos. Este é um dos ambientes com maior fragilidade, pois há facilidade de degradação frente à alteração e as condições de sustentação da vegetação derivam do teor de matéria orgânica do solo.

Ambiente 5: Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos sob influência sazonal de rio intermitente em relevo plano e originalmente sob vegetação ciliar de caatinga

Este ambiente ocupa o leito maior do rio Pacuí e de seus afluentes (Salobro e Gameleira) em seus trechos intermitentes de relevo plano nas partes baixas da sub-bacia. A textura do solo varia de areia no horizonte A, a areia-franca nos demais. Há em média 80 % de areia, predominando areia grossa. A pedregosidade é praticamente nula. O talvegue é dominado por material arenoso com coloração acinzentada a esbranquiçada, evidenciando hidromorfismo. O material de origem tem proveniência aluvial. A vegetação corresponde às matas ciliares intermitentes do bioma caatinga, a qual se assemelha à caatinga densa, mas apresenta maior porte e durante a seca sofre menores perdas foliares.

A fertilidade natural é baixa e os níveis de matéria orgânica também. A retenção de água é a segunda menor da área de estudos. Há diversas áreas desmatadas próximas no próprio leito maior, onde parece ter havido tentativas com pouco sucesso de implantação de culturas agrícolas de sequeiro. Este ambiente situa-se em Áreas de Preservação Permanentes, segundo a Lei Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012 e deve ser recuperado e conservado. Este domínio encontra-se bastante alterado pelas atividades antrópicas, havendo muitas áreas desmatadas para uso agrícola e os fragmentos da vegetação nativa são destinados à caprino-ovinocultura. Vale ressaltar que esta última atividade ocorre com intensidade menor se comparada ao trecho perene do rio Pacuí, pois a dessedentação animal

nesta região só é possível quando se faz a exploração de águas subterrâneas. Há sinais de erosão em sulcos provocada pelas estradas que margeiam ou atravessam o talvegue. Erosão laminar ocorre por toda a região devido à deficiência de sub-bosque e serrapilheira provocadas pela pecuária extensiva. Outro grande impacto é a exploração de solo para fornecimento de areia, o que deixa grandes escavações e solo exposto suscetíveis à erosão, havendo poucas chances de reestabelecimento da vegetação naturalmente. Há necessidade urgente de conservação e recuperação destas áreas ciliares, pois já possuem a vegetação nativa quase extinta. É preciso também controlar o escoamento superficial nas estradas locais e nos povoados, pois são áreas com baixa infiltração e suscetíveis à erosão.



Figura 68: Exploração de areia no Ambiente 5

Ambiente 6: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico sobre coberturas detríticas em relevo plano a suave ondulado sob Caatinga Arbustiva Aberta

Este localiza-se próximo do divisor topográfico da sub-bacia em área de relevo plano dominada por Latossolos e com geologia correspondente a coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas, nas quais podem ocorrer depósitos de areia, depósitos de argila, aglomerados e lateritas (RADAMBrasil, 1983 e CPRM, 2003). A cobertura vegetal é composta de originalmente por Caatinga Arbustiva Aberta hiperxerófitas, atingindo pouco mais de 2 m de altura.

O solo é fortemente a extremamente ácido, apresenta pedregosidade baixa e textura franco-argilo-arenosa, evidenciando seu alto grau de intemperismo. É solódico a partir de 30 a 40 cm de profundidade.

Percebe-se que os dois primeiros horizontes (0 a 35 cm) possuem coloração diferenciada. De fato há um pouco menos argila e mais areia fina nestas camadas. O teor de matéria orgânica é muito baixo e corresponde à pobre vegetação da área. O teor de alumínio é alto, a saturação é muito alta e a acidez potencial é média. A disponibilidade nutricional em geral é muito baixa. A retenção de água é precária também e esta é uma das partes com menor pluviosidade e maiores temperaturas médias da bacia.

A exploração pecuária extensiva é inviável, pois a capacidade de suporte de ambiente tão pobre é baixa e como visto nas áreas mais próximas da calha do rio Pacuí, leva ao raleamento progressivo da vegetação e à exposição excessiva do solo às intempéries gerando processos erosivos. A estrutura do solo é propícia à agricultura, mas há fortes fatores impeditivos a este uso. Apesar de se poder fazer correção química, não há água disponível para suprir o déficit hídrico e a solodicidade torna este ambiente sujeito à salinização. O uso com cultivos de sequeiro também é inviável pela baixa retenção de água do solo.

Não há grandes áreas desmatadas, apenas vegetação raleada e estradas, podendo ser utilizada a regeneração natural para a recuperação de áreas de interesse. A dificuldade de uso deste ambiente fez com que permanecesse como um dos mais conservados e esta condição deve ser

mantida e favorecida, pois há solos mais propícios à agricultura em locais próximos. Esta porção pode ser uma importante zona de recarga hídrica da sub-bacia e estudos detalhados devem ser feitos para averiguação.



Figura 69: Aspecto do Ambiente 6

Ambiente 7: Cambissolos Háplicos Tb Eutróficos latossólicos sobre rochas calcárias em relevo plano e suave ondulado originalmente sob Caatinga Densa

Este ambiente ocupa a parte central baixa da sub-bacia, cujas rochas matrizes são calcárias. Abrange o domínio dos solos encontrados nos perfis 7 e 10. Compartilha parte da geologia com o Ambiente 1 e o Ambiente 8, diferenciando-se a pedologia principalmente pelo relevo. Está sobre o Grupo Bambuí e a Formação Caatinga. Ocorre em áreas planas e suave onduladas, enquanto o Ambiente 1 em áreas forte onduladas e montanhosas e o Ambiente 8 em áreas de relevo ondulado ou suave ondulado voltadas para oeste da porção semielevada cárstica central.

Os solos são profundos, possuem textura média em locais próximos às encostas e textura argilosa nos locais mais planos. Os originários da Formação Caatinga possuem textura mais fina e coloração avermelhada mais intensa. A estrutura é moderada e percebe-se suscetibilidade alta à erosão apenas onde o relevo é ondulado ou mais declivoso. A retenção de água é boa e o teor de matéria orgânica é baixo. Ocorrem afloramentos de calcário em diversos pontos, principalmente paralelamente à margem esquerda do rio Pacuí. O pH varia de moderadamente ácido a moderadamente alcalino. O teor de cálcio é muito bom e o de magnésio varia de médio a bom. Há deficiência de fósforo nos solos alcalinos com delta pH negativo, onde predominam cargas negativas e há maior retenção de cátions. Não há problemas com alumínio e o teor de potássio é alto. A saturação de bases em todo o perfil dos solos é elevada, sendo classificados como eutróficos.

A cobertura vegetal original é de Caatinga Densa bastante rica e de porte arbóreo, devido a boas condições químicas e de retenção hídrica do solo. Este quadro natural, aliado à disponibilidade de água no trecho perene do rio Pacuí, faz com que este ambiente seja o que mais sofre pressão antrópica. Foi massivamente desmatado e é utilizado para cultivos de sequeiro e irrigados. Verificou-se que a maioria dos sistemas de irrigação utilizam métodos gravitários e conferem forte risco de salinização aos solos. Os fragmentos restantes da vegetação original sofrem ainda com o sobrepastoreio. As aglomerações urbanas também se concentram sobre este domínio e causam geração de forte escoamento superficial devido à compactação e impermeabilização do solo, levando à erosão das encostas do rio Pacuí que sempre estão adjacentes.

Se faz necessário para a conservação dos solos e da biodiversidade o fim do sobrepastoreio. Alternativas de renda e novas técnicas de produção devem ser apresentadas e viabilizadas à população. Deve-se cuidar ainda para que sejam contidos os processos erosivos e recuperada a capacidade de infiltração dos solos.

A utilização agrícola deste ambiente deve ser feita com maiores cuidados técnicos que os atuais. Apenas as áreas de relevo mais brando

devem ser utilizadas, adotando-se práticas de manejo conservacionista dos solos. A irrigação deve adotar técnicas pressurizadas de gotejamento ou microaspersão e somente as áreas planas e de solos profundos devem ser utilizadas. A agricultura itinerante deve ser substituída por técnicas modernas de adequação e preservação química dos solos.

Preocupa o estado das pastagens, geralmente degradadas. Aos poucos a erosão laminar tem desgastado os horizontes superficiais desta área. As porções mais declivosas de solos rasos também foram desmatadas em locais de baixa aptidão agropecuária. Recomenda-se utilização menos intensiva das pastagens, com reposição de nutrientes e complementando a alimentação animal por meio da implantação de capineiras e forrageiras. Práticas mecânicas de conservação dos solos deveriam ser adotadas tanto em pastagens, quanto nas estradas.



Figura 70: Ambiente 7 no limite com Ambiente 1 – pastagem degradada



Figura 71: Cultivo de sisal no Ambiente 7

Ambiente 8: *Cambissolo Háplico Tb Eutrófico léptico sobre rocha calcária em relevo suave ondulado originalmente sob Caatinga Densa*

O oitavo ambiente caracteriza-se por ocorrer sobre rocha calcária da Formação Salitre, Unidade Nova América (CPRM, 2003) – Grupo Bambuí (RADAMBrasil, 1983), em relevo suave ondulado e possuir solos rasos. A diferença para o Ambiente 7 está principalmente relacionada à maior declividade dos terrenos (relevo suave ondulado e ondulado).

Os solos são rasos, com estrutura moderada, médio teor de matéria orgânica e mediana retenção de água. É a principal região de produção do sisal na sub-bacia. A textura do solo é média, a estrutura moderada e o teor de matéria orgânica é médio. Os níveis de nutrientes são médios a muito bons. A excelente fertilidade, estrutura moderada e retenção hídrica suficiente são os motivos por ser esta a área mais intensamente utilizada por cultivos de sequeiro.

Quando da utilização agrícola, deve ser feita com manejo cuidadoso do solo, e apenas nas áreas menos declivosas. A aplicação de fertilizantes também deve ser bem calculada, pois a profundidade é pequena e o solo é pouco intemperizado, havendo risco de salinização. Não é recomendada a irrigação devido à pouca profundidade e risco de salinização.

Como a área foi excessivamente desmatada, ocorre erosão laminar e, nas estradas e partes mais declivosas, em sulcos. Recomenda-se a recuperação da cobertura vegetal nativa nas partes mais frágeis e o incentivo e apoio para o uso de técnicas sustentáveis para as demais áreas. As estradas devem receber estruturas para contenção do escoamento superficial.



Figura 72: Cultivo de sisal no Ambiente 8

Ambiente 9: *Cambissolo Háptico Carbonático sapolítico sobre siltito em relevo ondulado a montanhoso originalmente sob Caatinga Densa e Caatinga Aberta*

Este ambiente compreende o trecho mais severamente degradado da sub-bacia. Sua área de ocorrência possui alta correspondência com os limites de mancha da Formação Bebedouro, rica em siltitos (RADAMBrasil, 1983). Corresponde aos limites do solo encontrado no perfil 9.

O solo é cascalhento, havendo material sapolítico carbonático em grande quantidade em todos os horizontes. O teor de matéria orgânica é alto no horizonte A, médio em Bi e baixo em CR. A retenção de água é mediana. O pH é fortemente alcalino, sempre acima de 8. O solo é eutrófico e possui cálcio e magnésio em níveis muito bons, fósforo disponível muito baixo e potássio muito bom superficialmente e médio no horizonte Bi. O horizonte CR é solódico.

Os solos possuem textura franco-argilosa, com cerca de 40 % de silte ao longo do perfil, o que confere baixa permeabilidade e estrutura fraca. Naturalmente, esta área apresenta perda de solo acentuadamente maior que as demais ao longo da calha do rio Pacuí, fato exposto na Figura 73 e percebido pela largura destacada do vale neste trecho.

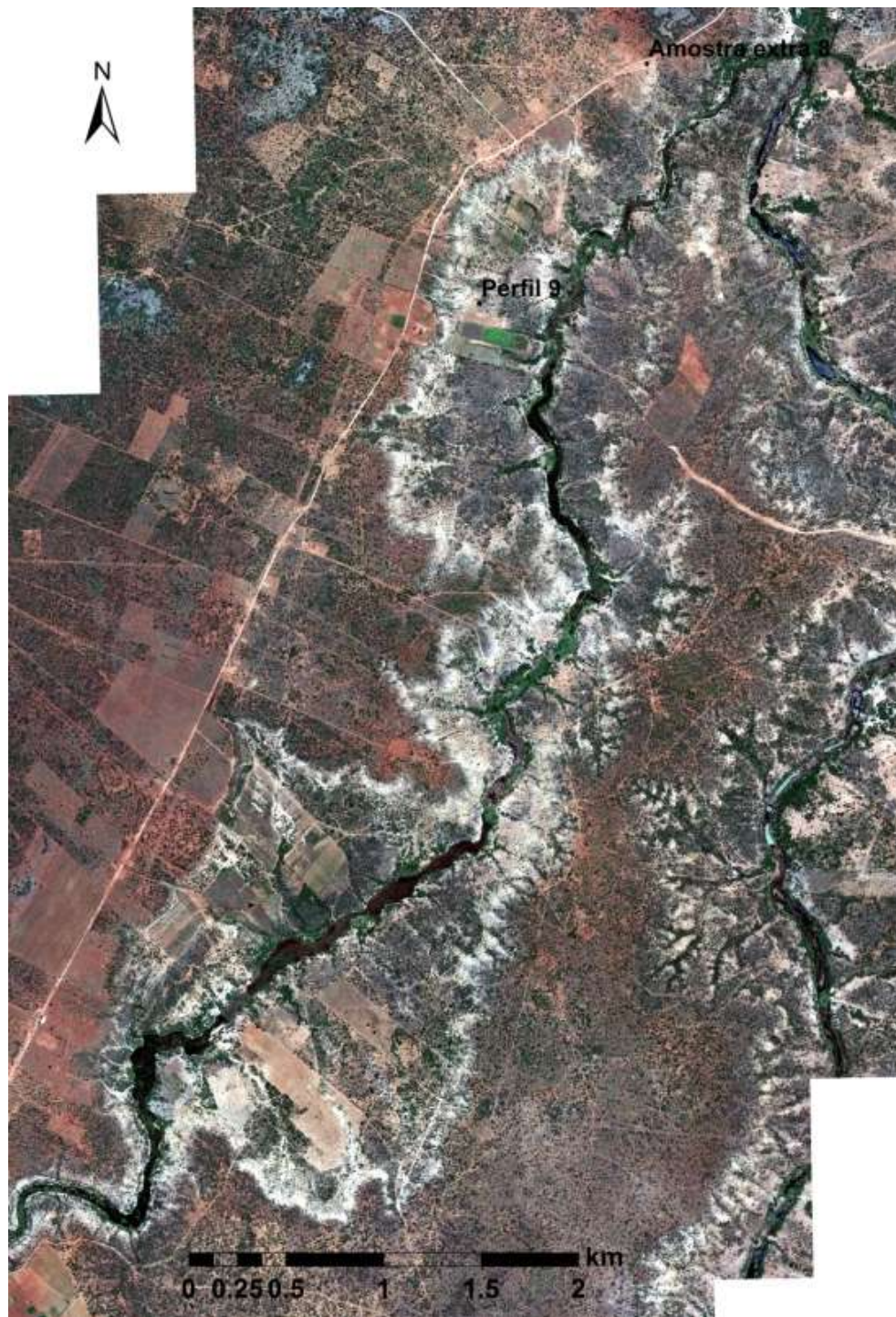


Figura 73: Detalhe de imagem GeoEye da área correspondente ao Ambiente 9 (vale amplo central)

A antropização tem acelerado a perda de solo, sobretudo pela introdução de práticas de pecuária extensiva, provocando depreciação na cobertura vegetal e processos erosivos de grandes proporções se instalaram nas encostas fazendo surgir diversos voçorocamentos. O nível de degradação é tão elevado que atualmente não há fragmentos da cobertura

vegetal original e o banco de sementes está praticamente vazio. Restam áreas de solos expostos e caatinga parque. Percebe-se que estes solos além de serem os que se degradam com mais facilidade, são os mais difíceis de recuperar na sub-bacia, pois são siltosos, extremamente alcalinos, rasos, com teores elevados de sódio e os horizontes superficiais estão perdidos em uma fração muito grande da área.



Figura 74: Processos erosivos intensos no Ambiente 9

Alguns trechos com menor declividade têm sido utilizados para a agricultura irrigada. No entanto, o risco de salinização é elevado e não se recomenda a continuidade desta prática. A área não tem aptidão agrícola devido à alta erodibilidade, movimentação do relevo, pouca profundidade, alcalinidade elevada e risco de salinização.

Recomenda-se prioridade para a intervenção neste ambiente. Deve ser feito o isolamento contra a pecuária extensiva, ações urgentes de controle dos processos erosivos e a destinação total à conservação por ser uma área com alto risco de desertificação. Devem ser também contidos os aportes de escoamento superficial das áreas de caatinga parque, pastagens

e solos expostos localizadas no tabuleiro ao redor. É muito provável que apenas a regeneração natural não seja suficiente para a estabilização e recuperação ambiental da área. Será preciso conter ao máximo o escoamento superficial e ampliar as fontes de propágulos, pois restam poucos fragmentos de vegetação nativa e com agravante de estarem raleados com dominância de algumas espécies pioneiras ou mais resistentes.

Ambiente 10: Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico sobre coberturas detríticas em relevo plano a suave ondulado sob Caatinga Aberta

Esta região ocupa quase toda a parte baixa da microbacia do riacho Queixo d'Antas e de algumas outras drenagens efêmeras a leste. Abrange a área de ocorrência do solo encontrado no perfil 11. A geologia corresponde a coberturas detríticas provavelmente do tipo depósito de areia. Os solos são muito profundos e com cerca de 85 % de areia nos horizontes superficiais e aproximadamente 80 % nos mais profundos, de modo que a textura varia de areia franca a franco arenosa. A cobertura vegetal é do tipo Caatinga Aberta. O solo é muito profundo, porém a retenção de água é a mais baixa encontrada na sub-bacia. O teor de matéria orgânica é baixo, a acidez trocável é baixa e a acidez potencial é alta. O pH do solo é fortemente ácido. Todos os macronutrientes possuem teores muito baixos, exceto potássio que ocorre com disponibilidade mediana nos horizontes mais superficiais. O solo é distrófico e solódico.

Só há declividade aparente nas proximidades do talvegue do riacho principal, onde é notada a ocorrência de processos erosivos decorrentes da implantação de estradas, inclusive com voçorocas de grande porte. O estado geral de conservação da vegetação é bom, devendo-se principalmente às poucas fontes hídricas e à pobreza química do solo, fatores que fizeram despertar poucos interesses de ocupação.

Há possibilidade de este ambiente ser importante zona de recarga hídrica, devendo-se realizar estudos hidrogeológicos detalhados para a confirmação. A aptidão agrícola desta área é limitada devido à textura

grossa, baixa retenção hídrica e de nutrientes, solodicidade e distância excessiva de fontes hídricas. A fragilidade dos solos frente às intempéries é grande e qualquer exposição, mesmo em áreas de baixa declividade, é muito arriscada. O uso para a pecuária extensiva também não é recomendado devido à baixa capacidade de suporte de vegetação destes solos. Logo, percebe-se que a continuidade e ampliação da conservação da biodiversidade é o melhor uso para este ambiente.



Figura 75: Aspectos da vegetação e do solo no Ambiente 10



Figura 76: Processo erosivo de grandes proporções no Ambiente 10

4. Conclusões

Os solos de regiões com baixa pluviosidade apresentam textura e demais características físicas e químicas, corroborando para a suscetibilidade à erosão. As características da cobertura vegetal nativa controlada pela pluviosidade dificultam ainda mais a conservação pedológica, pois o lento crescimento frente à voracidade dos herbívoros exóticos leva à desproteção do solo. Os terrenos declivosos, ainda que moderados, devem ser cuidados com grande zelo, pois a alta suscetibilidade do ambiente semiárido à erosão os torna potenciais áreas degradadas. Na sub-bacia do rio Pacuí não é diferente e o uso das terras deve ser revisto e práticas produtivas correspondentes às potencialidades de cada ambiente devem ser adotadas.

Os cambissolos são os solos que ocupam a maior área na parte baixa da sub-bacia, sendo os mais utilizados para a agricultura e também os mais antropizados. Possuem os melhores níveis de fertilidade natural, boa

retenção de água e a movimentação do relevo é baixa, salvo algumas exceções. As comunidades locais obtêm sustento deles, pois são essencialmente agrícolas e preocupa a utilização de forma itinerante e a exposição destes em áreas com declives moderados ou mais acentuados, pois são vistos diversos processos erosivos em atividade. A irrigação destes solos por métodos gravitários também é muito preocupante, pois há elevado risco de salinização e percebe-se que há erosão em alguns trechos. Os latossolos seriam os mais indicados para o uso agrícola, mas a distância de fontes hídricas torna inviável sua utilização.

Os solos provenientes da Formação Bebedouro devem receber atenção especial no vale do rio Salitre, pois são altamente frágeis e constituem graves núcleos de desertificação. Tem contribuído com uma carga de sedimentos muito grande para os rios. Sua recuperação é urgente e bastante complexa. Demandará o esforço de parcerias entre o governo e instituições de pesquisa para encontrar as soluções mais adequadas.

É preciso que muitos outros estudos aprimorem os conhecimentos sobre a Caatinga e, sobretudo, sejam desenvolvidas técnicas de convívio sustentável e recuperação das áreas degradadas. A população carece de melhores condições de formação profissional, apoio técnico e acesso a recursos para transformação dos processos produtivos. Se continuar a ser explorada conforme é atualmente, a sub-bacia do rio Pacuí terá seus recursos naturais progressivamente mais empobrecidos e a população será cada vez mais forçada a migrar.

CONCLUSÕES GERAIS

As ferramentas, materiais e métodos testados para reconhecer ambientes e destacar áreas carentes de intervenção para a recuperação ou conservação se mostraram válidos e úteis para o submédio São Francisco, região que reúne climas, vegetação e solos semelhantes aos da sub-bacia estudada. Destaca-se a possibilidade de reconhecimento em curto prazo do uso da terra e o apontamento dos setores que sofreram ou tem sofrido maiores impactos sobre a cobertura vegetal. Logo, os métodos testados se mostraram aptos a selecionar áreas prioritárias para a aplicação de recursos com a finalidade de recuperação de áreas degradadas ou conservação da biodiversidade no submédio São Francisco.

A classificação supervisionada para a região estudada obtêm melhores resultados nas combinações com as maiores quantidades de bandas, à exceção da utilização da terceira componente principal, a qual em geral traz prejuízo para o resultado. Foi percebido que as bandas que promovem combinações mais exitosas são as do infravermelho, NDVI e as duas primeiras componentes principais.

A quantidade de áreas severamente antropizadas já passa de 28 % da sub-bacia. Há ainda outras grandes áreas com a cobertura raleada sob a forma de caatinga parque, resultando num montante entre 5 e 15 % da área total. Quando se faz a distinção entre os domínios topográficos, percebe-se que a remoção completa da cobertura vegetal nativa já atinge aproximadamente 45 % do vale e 8 % da região serrana. Logo, verifica-se que o primeiro setor deve ser alvo de programas de revitalização e o segundo deve ser protegido por unidades de conservação.

Mesmo que a área conservada seja maior que a prevista pelo Código Florestal sob a forma de reserva legal, a sub-bacia do rio Pacuí guarda grandes tesouros do patrimônio natural, como as cavernas, a cobertura vegetal preservada principalmente nas serras e a biodiversidade abrigada. A degradação dos ambientes é caracteristicamente concentrada em algumas partes, como a calha perene do rio Pacuí e no polo de desertificação em expansão (Ambiente 9).

O conhecimento sobre os solos do país ainda é pouco detalhado. Alias, sobre diversos outros temas também. Foi percebido que o nível de detalhamento para que se planeje adequadamente o uso do território é muito maior que o existente. Este recurso é imprescindível para garantir a produção de alimentos e a oferta de água futura. Logo sua conservação deve ser muito mais valorizada do que é atualmente. Precisa-se urgentemente dar condições e incentivo para que os métodos de produção sejam corrigidos para técnicas mais sustentáveis. Além disso, o uso do território deve ser planejado com muito cuidado, definindo-se unidades de conservação, as áreas com aptidão para os diversos usos antrópicos e o que necessita de recuperação.

Na sub-bacia do rio Pacuí foram percebidas diversas áreas com conflito entre o uso praticado e a real capacidade do ambiente. O uso extrativista dos solos e dos recursos naturais degradaram as áreas mais ricas do vale e já se percebe o avanço sobre as serras. Se o território estivesse ordenado e as terras já desmatadas fossem utilizadas adequadamente, este processo seria fortemente minimizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA, G. M. M.; CARVALHO, J. M.; CAMACHO, R. G. V.; RIBEIRO, R. J. C.; BIAS, E. S.; ZARA, L. F. Comportamento sazonal da vegetação da caatinga na região de Lucrécia, RN, em 2003 e 2004, por meio dos dados do sensor CCD do CBERS-2. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005.
- BISHOP, Y., FIENBERG S., HOLLAND P. Discrete Multivariate Analysis: Theory and Practice. MIT Press - Cambridge, 1975. 575 p.
- BRITO NETO, R. T., BARROS FILHO, M. B. B.; LOPES, H. L.; PACHECO, A. P. Determinação de valores físicos de imagens TM / LANDSAT- 5 utilizando a linguagem LEGAL para obter índices de vegetação. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2008.
- CAMARGO, O. A. de. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos. Campinas: IAC, 1986. 43p.
- CHANDER, G., MARKHAM, B. L., & HELDER, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, p. 893–903, 2009.
- CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy classifications of remotely sensed data. Remote Sensing Environment, v. 37, p.35-46, 1991.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado da Bahia. CPRM, 2003.
- DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. Análise química do solo (metodologia). 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p. (Boletim de Extensão, 29).
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e

SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens LANDSAT-5. Curitiba: RA´E GA 21, p. 234-271, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos. Centro Nacional de Pesquisas em Solos - Rio de Janeiro: 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. SILVA, F. C. da coord. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, Embrapa Solos - Rio de Janeiro: 1999. 370p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed., Embrapa Solos – Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>. Acesso em 30 jan. 2013.

FERRARI, J. L., SANTOS, A. R. dos, GARCIA, R. F.; Análise da vegetação por meio da subtração de imagem NDVI da sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte, Alegre - ES. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 3-18 , 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal Digital em 2007. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 10 mar. 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados do CENSO 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados/>>. Acesso em 31 jan. 2013.

INEMA. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do estado da Bahia. Geobahia. Disponível em <<http://geobahia.inema.ba.gov.br/>>. Acesso em 25 fev. 2012.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, 2005. v. 1. p. 797-804.

- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Os satélites Landst 5 e 7, 2009. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/>>. Acesso em 16 de fev. 2013.
- JENSEN, J. R. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. 3ª Ed. Prentice Hall series in geographic information science, 2005. 526 p.
- LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C. da.; TABARELLI, M.; THOMAS, E. L. Mudando o curso da conservação da biodiversidade da caatinga do nordeste do Brasil. Megadiversidade, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 139-146, jul. 2005.
- LEMOS, J. R.; RODAL, M. J. N. Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de caatinga no Parque Nacional da Serra da Capivara, Piauí, Brasil. São Paulo: Acta Bot. Bras. [online]. 2002, vol.16, n.1, p. 23-42.
- LIMA, K. P. R. A Avaliação do Uso de Imagens Landsat para a Prospecção de Minério Tipo Itabirito, com Baixo Teor de Ferro – o Caso da Serra de Bom Sucesso, MG. Belo Horizonte, 2011. p. 39 Monografia (XIII Curso de Especialização em Geoprocessamento) – UFMG.
- LIRA, V. M.; SILVA, B. B.; NETO, J. D.; AZEVEDO, C. A. V.; FRANCO, E. S.; Variação Sazonal da Cobertura Vegetal em Áreas do Submédio São Francisco a Partir de Dados NDVI e Imagens TM-Landsat 5. Goiânia: Enciclopedia Biosfera, Centro Científico Conhecer, vol. 7, N. 12; 2011 pag. 1-9
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/>>. Acesso em: 18 de maio de 2012.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas; Caatinga. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em 16 de janeiro de 2012.

- MINGOTI, S. A. Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada – Uma Abordagem Aplicada. UFMG, 1ª Edição. Belo Horizonte: 2005. 3: pag. 59-97.
- NASA. The Landsat program. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: Acesso em 30 jan. 2013.
- PAES, M. L. N.; DIAS, I. F. O.; Plano de manejo: Estação Ecológica Raso da Catarina. Ibama – Brasília, 2008. 326p.
- RADAMBRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais: Folhas SC 24/25 Aracaju/ Recife; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. V. 30. Ministério das Minas e Energia - Rio de Janeiro, 1983. 856p.
- ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.52, n.2, p.223-227, Fev. 1986.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington. Proceedings... Washington, D. C.: NASA, Goddard Space Flight Center, 1973. v. 1, p. 309- 317.
- SILVA, E. M. et al. A pesquisa operacional: programação linear, simulação. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1998. 184 p.
- SILVA, F. B. R. Recursos naturais do nordeste brasileiro. Embrapa, 2004. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2000/artigo.2004-12-07.2540806076/#>. Acesso em: 29 jul. 2013.
- SILVA, E. J. Caracterização Hidrogeológica de bacias hidrográficas do Semiárido baiano através de Técnicas de Geoprocessamento. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009. 142 p.
- SIMÕES, L. B. Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão

ripárias. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2001.185 p.

SOUZA, S. F.; ARAÚJO, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D. Mudanças do uso da terra no município de Serra Talhada – PE utilizando análise por componentes principais (ACP). Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, nº 3, set/dez. 2007. P 85-100.

SOUZA, S. F.; DUARTE, C. C.; ARAÚJO, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D. Utilização de análise por componentes principais (ACP) no diagnóstico das alterações da cobertura vegetal densa na bacia do rio Natuba – PE. XIV Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto – anais, Natal: INPE, 2009. p. 7189 – 7196.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C.; SANTOS, A. M. M.; VICENTE, A. Análise de representatividade das unidades de conservação de uso direto e indireto na caatinga. Relatório do Projeto Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da biodiversidade da Caatinga, Petrolina, 2000.

TABARELLI, M.; VICENTE, A. Conhecimento Sobre Plantas Lenhosas da Caatinga: lacunas geográficas e ecológicas. In: Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias (SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. F.; LINS, L. V.). MMA, Brasília, DF: 2003, p. 101-112.

TSO, B; MATHER, P. Classification methods for remotely sensed data - 2 ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2009. 347 p.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method routine determination of organic carbon in soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 19: p. 1467-1476, 1988.