

Trabalho de Graduação

Curso de Graduação em Geografia

CARACTERIZAÇÃO E MAPEAMENTO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO
MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP) POR MEIO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO
REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Tatiana Pilachevsky

Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

Rio Claro (SP)

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

TATIANA PILACHEVSKY

CARACTERIZAÇÃO E MAPEAMENTO DA CULTURA DA
CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)
POR MEIO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO
E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Rio Claro - SP

2011

621.3678 Pilachevsky, Tatiana

P637c Caracterização e mapeamento da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP) por meio de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas / Tatiana Pilachevsky. - Rio Claro : [s.n.], 2011
105 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

1. Sensoriamento remoto. 2. Índices de vegetação. 3. Geoprocessamento. 4. Agricultura. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

TATIANA PILACHEVSKY

CARACTERIZAÇÃO E MAPEAMENTO DA CULTURA DA
CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP)
POR MEIO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO
E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

Sergio dos Anjos Ferreira Pinto (orientador)
Andréia Medinilha Pancher
Rubens Hardt

Rio Claro, 09 de dezembro de 2011.



Assinatura do(a) aluno(a)



assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Sei que talvez eu não consiga expressar nestas poucas palavras o tanto que cada pessoa representou e ainda representa na minha trajetória, mas todas elas aqui citadas estarão sempre na minha memória e no meu coração.

A começar pelos meus pais, Elizabeth e Antonio Carlos, que eu tanto amo e que em todos os momentos me ajudaram e apoiaram. Com amor e dedicação eles me proporcionaram a possibilidade de um estudo de qualidade, me incentivaram nos momentos mais difíceis e me ensinaram tudo que eu sou hoje. Pai, Mãe ... muito obrigada!

Agradeço também o meu irmão Eduardo que sempre me proporciona momentos incríveis de alegria e descontração e o meu namorado Avedis (“flor do meu jardim” rs) que é meu grande amigo e que suportou a distância em todos esses anos de graduação, me motivando, apoiando, alegrando, e me dando força nos momentos que mais precisei.

Aos meus queridos melhores amigos Silvia (que desde o início está junto comigo), Juliana e Filipe, obrigada pela sincera amizade, amizade essa que a graduação nos proporcionou, e que vai durar eternamente em nossos corações! Obrigada pelos momentos de descontração, pelas nossas festinhas, e conversas, obrigada por tornar a vida na graduação mais fácil, menos solitária, e mais ... muito mais divertida.

Agradeço também aos amigos Luis Henrique, Edvania e Isabel, que são pessoas maravilhosas, atenciosas e cativantes, e que muito me ajudaram a tornar esse trabalho realidade. Às amigas Teresa C. Monteiro, Andréia Machado, Ana Cecília e Bruna Pechini também deixo meu obrigada pela amizade e pelos momentos de alegria.

Gostaria de agradecer imensamente o meu querido orientador, o Prof. Sérgio dos Anjos F. Pinto, que além de me ensinar com toda a paciência e generosidade o caminho a ser percorrido neste trabalho me ensinou também caminhos da vida. Sua grande competência, inteligência (que nunca vi igual), responsabilidade e profissionalismo servem de exemplo (do melhor exemplo) para minha vida profissional. Sou muito grata ao senhor, professor! Adorei trabalhar com o senhor!

Deixo meu muito obrigada também à querida Prof. Lucimari Ap. Rossetti, pessoa maravilhosa em todos os sentidos e que eu adoro. Se hoje sei realizar processamentos em imagens devo isso principalmente a ela, que me auxiliou da melhor maneira possível sempre que precisei nas etapas de meu trabalho. Obrigada pelos ensinamentos, pelos estágios, pelas nossas conversas e por tudo. Não tenho palavras para descrever quanto adorei trabalhar com a senhora!

Por fim, gostaria de agradecer a Deus, à Fapesp (pelo financiamento da pesquisa) e a todos aqueles que de um modo ou de outro me incentivaram e me apoiaram durante esses anos de graduação.

Muito Obrigada !!!

RESUMO

Este trabalho discute acerca da utilização de imagens de Sensoriamento Remoto e ferramentas de processamento digital de imagens para o mapeamento e a avaliação do vigor relativo de fitomassa da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro. Foram utilizadas imagens orbitais do satélite CBERS nas passagens de 23/09/08 e 19/04/2009, que correspondem, respectivamente, aos estágios em que a cana-de-açúcar se apresentava em fase de crescimento e estágio adulto pré-colheita. Nessas imagens, foram aplicados procedimentos de processamento digital; como a aplicação dos procedimentos de ampliação linear de contraste, normalização radiométrica, Índice de Vegetação Normalizada (NDVI), e classificação pixel a pixel através do ISOSEG, disponíveis no software SPRING. Como resultado obteve-se o mapeamento da distribuição e dos estágios de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro e o mapeamento do vigor de fitomassa dessa cultura, mostrando que o método utilizado para a avaliação do vigor relativo de fitomassa na cultura de cana-de-açúcar se mostrou eficiente, e que imagens de baixa-média resolução não são as mais adequadas para o mapeamento desta cultura.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, Sensoriamento Remoto, Índice de Vegetação, Sistemas de Informação Geográfica.

ABSTRACT

This paper discusses about the use of remote sensing image and processing digital images tools for mapping and assessing the effect on the biomass of the culture of sugar cane in the city of Rio Claro. We used satellite images from CBERS in the passages of 19/04/2009 and 23/09/08, which correspond respectively to the stages where the sugar cane appeared in growing and adult pre-harvest stage. In these images, we applied procedures of digital processing, as the application of the procedures for extending linear contrast, radiometric normalization, Normalized Vegetation Index (NDVI) and pixel by pixel classification by ISOSEG through of the software SPRING. As a result we obtained mapping of the distribution and development stages of the culture of sugar cane in the city of Rio Claro and the mapping of the existing biomass of this culture, showing that the method used to assess the relative effect on biomass in culture of sugar cane was efficient, and that images of low-medium resolution are not the most suitable for the mapping of this culture.

Keywords: Sugar Cane. Remote Sensing. Vegetation index. Geographic Information Systems.

SUMÁRIO

1. A PROPOSTA DE TRABALHO.....	9
2. INTRODUÇÃO.....	10
3. OBJETIVOS.....	12
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
4.1. IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS ..	13
4.2. QUEIMA DE BIOMASSA: o caso da cana-de-açúcar	14
4.2.1. A energia da Biomassa	16
4.3. VARIEDADES DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	17
4.4. GEOTECNOLOGIAS APLICADAS NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO.....	18
4.4.1. Sensoriamento Remoto.....	18
4.4.2. Sistema de Informação Geográfica (SIG)	21
4.4. INDÍCES DE VEGETAÇÃO.....	23
5. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DO MEIO FÍSICO	26
6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
6.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	29
6.2. METODOLOGIA.....	29
6.2.1. Fase de aquisição de documentos e imagens cartográficas	29
6.2.2. Fase de Pré-Processamento digital das imagens de Sensoriamento Remoto	30
6.2.3. Fase de processamento digital das imagens de Sensoriamento Remoto	35
6.2.4. Fase de Geração dos produtos cartográficos temáticos	40
6.2.5. Metodologia para a realização do trabalho de verificação de campo.....	41
6.2.6. Fase de análise dos dados e produtos gerados	45
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
7.1. Produtos gerados pelo pré-processamento	46
7.2. Resultados obtidos com a aplicação do Índice de Vegetação (NDVI).....	51
7.3. Produtos gerados com a aplicação de processamento de imagens	54
7.4. Avaliação da precisão do mapeamento	73
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS	80

APÊNDICE 1: Rotinas de normalização radiométrica das imagens CBERS (Banda 3 e 4) no LEGAL (software SPRING 4.3.3).	89
APÊNDICE 2: Comparação entre as imagens de referência e as imagens retificadas.....	93
APÊNDICE 3: Ficha de Campo	94
APÊNDICE 4: Descrição sistemática das amostras coletadas em campo.....	95
APÊNDICE 5: Fotos registradas no trabalho de campo.....	100
ANEXO 1: DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NOS ANOS DE 2008 E 2009 NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO	105

1. A PROPOSTA DE TRABALHO

Esta pesquisa, intitulada “Caracterização e mapeamento da cultura da cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP) por meio de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas”, foi fomentada pela Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPESP), processo número 2010/07936-3.

O interesse pela realização deste trabalho, que pretendeu por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) indicar a quantidade de área plantada e relativizar o vigor de fitomassa da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro, residiu na tentativa de adequação de metodologia envolvendo a aplicação de índices de vegetação em imagens de Sensoriamento Remoto. Com base nos dados obtidos também visou-se caracterizar esta cultura no município e realizar a estimativa do potencial de emissão de gases do efeito estufa na atmosfera local. Além disso, pretendeu-se estruturar este trabalho de forma didática, resultando em um produto capaz de auxiliar os leitores a realizarem os procedimentos aqui adotados.

Este projeto também visou contribuir com parcela das pesquisas realizadas pelo projeto “CENPES-CANA: análise de poluição com laser”, patrocinado pela Petrobrás, envolvendo o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), o Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA, Unesp/Rio Claro), o Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMET, Unesp/Bauru) e o CEPEMA/USP. Além disso, compõe segmento das pesquisas referentes à utilização de Índices de Vegetação em análises ambientais, em concordância com o projeto em andamento intitulado “Aplicação de índice de vegetação e da EUPS na análise multiespectral de riscos de erosão do solo em bacia hidrográfica urbana por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento” (FAPESP/ Processo nº 2009/06844-0).

A escolha do município de Rio Claro para a realização deste trabalho deve-se ao seu potencial como importante produtor de cana-de-açúcar, representado por uma produção de cerca de 1.264.500 toneladas/ano (IBGE, 2008), e bem como pela crescente importância da cana-de-açúcar no mercado mundial, acarretando diversos impactos ambientais resultantes de seu cultivo e preparo para comercialização. Dentre os processos impactantes mais significativos destaca-se a queima da cana que antecede o corte manual, um dos fatores que foram analisados no decorrer desta pesquisa.

2. INTRODUÇÃO

Desde o período colonial a cana-de-açúcar constitui importante produto agrícola brasileiro. A partir da criação do Programa Proálcool, em 1975, essa cultura expandiu-se por todo o território, principalmente para os estados do Centro-Sul, assumindo importância para a economia nacional e fazendo do Brasil o seu maior produtor mundial (FAO, 2007).

No entanto, a técnica tradicional da queima da cana-de-açúcar, utilizada pelos agricultores é ainda significativa nos canaviais paulistas. A queima, que antecede o corte manual, tem como objetivos, agilizar e aumentar a produtividade do trabalho e conseqüentemente diminuir a contratação de pessoal (RIPOLI; RIPOLI, 2009), acarretando diversos problemas, principalmente no que tange a qualidade atmosférica local e regional.

Nas pontas e folhas da cana-de-açúcar, são encontrados aproximadamente 30% de sua biomassa, que quando queimadas exportam para a atmosfera todos os nutrientes nela contidos. Além disso, o uso do fogo prejudica a ciclagem de nutrientes, interfere na atividade biológica, contribui para o aumento da infestação da broca da cana e aumenta a necessidade da utilização da adubação química. O desaparecimento da cobertura vegetal também constitui outro fator de risco provocado pela queima da cana, na medida em que é capaz de alterar as condições climáticas da região (principalmente o regime de chuvas) e acarretar na conseqüente degradação do solo e da água (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

No que se refere à essa queima de biomassa, estima-se que, aproximadamente 40% dos resíduos agrícolas produzidos nos países em desenvolvimento, no qual inclui-se o Brasil, sejam queimados (JALLOW, 1995, apud LIMA *et al*, 1999). Os resíduos da cana-de-açúcar representam, cerca de 11% da produção mundial desses resíduos agrícolas.

Desta maneira, tendo em vista o crescimento da área agrícola plantada por cana-de-açúcar no território brasileiro, e considerando que o Estado de São Paulo é tido como o maior produtor do país, segundo dados da safra de 2008/2009 (produção de 346.292.969 toneladas de cana em uma área de 4.445.281 ha - ÚNICA, 2009), tem-se a crescente necessidade de estudos específicos acerca das conseqüências do plantio crescente da cana-de-açúcar para a população, assim como para o meio ambiente.

Para a caracterização e monitoramento desses problemas, a adoção de dados de Sensoriamento Remoto e de técnicas de Geoprocessamento, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), têm propiciado mais precisão e agilidade nestes estudos, possibilitando a identificação e o mapeamento desses recursos terrestres, dedicados a estudos ambientais (GARCIA, 1982).

A importância e a intensificação da aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto, em diferentes áreas do conhecimento, especialmente na área ambiental, é devido a sua capacidade de possibilitar a coleta de dados multiespectrais, e em diferentes épocas, oferecendo a oportunidade de analisar os vários fenômenos sinopticamente através do tempo (VALENTE, 2001). Este atributo, associado às diferentes amplitudes espectrais, que os modernos sistemas sensores possuem, fazem com que as imagens de sensoriamento remoto sejam fundamentais nas diferentes aplicações em estudos ambientais.

Sistemas de sensoriamento orbital, tais como o Landsat, o CBERS, e o MODIS (Terra e Aqua), possibilitam a disponibilização sistemática e repetitiva de imagens da superfície terrestre, sendo possível, através delas, identificar mudanças nos alvos, numa mesma área em diferentes períodos. Dentre os métodos utilizados para a detecção de mudanças no ambiente, com ênfase nas alterações da cobertura vegetal, destaca-se o dos Índices de Vegetação, que conforme Jensen (2000) permite, dentre outras coisas, indicar a atividade da vegetação com vigor de fitomassa, incluindo o índice de biomassa verde, um dos elementos envolvidos para a estimativa da emissão de gases para a atmosfera.

Outra tecnologia importante aplicada aos estudos ambientais são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que possibilitam criar, armazenar, manipular e analisar dados contidos em imagens de sensoriamento remoto e outros documentos cartográficos disponíveis. Como exemplos de Sistemas de Informações Geográficas podem ser citados os softwares SPRING, ArcGIS, entre outros. Os SIG podem ser entendidos como:

a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou extrair informações destes objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sistema sensor (MOREIRA, M. A., 2007, p. 256).

Portanto, a utilização combinada das técnicas de Sensoriamento Remoto e dos SIGs pode contribuir para avanços nas pesquisas relativas ao manejo da cultura da cana-de-açúcar, permitindo o controle de pragas, a estimativa de sua produtividade e disponibilizando informações sobre os possíveis riscos ambientais, através, por exemplo, da estimativa da emissão de gases poluentes derivada do manejo dessa cultura ao ambiente em que estão inseridos.

3. OBJETIVOS

O trabalho teve como objetivo, mapear e indicar a quantidade de área plantada da cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP) e fazer avaliação do vigor relativo de fitomassa dessa cultura agrícola, em dois estágios fenológicos, por meio das técnicas de Sensoriamento Remoto e de SIG.

Para atender ao objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Utilizando imagens orbitais, caracterizar e monitorar os estágios fenológicos da cana-de-açúcar na área de estudo, considerando os cenários: solo preparado para plantio; e estágio de crescimento e estágio adulto pré-colheita, com apoio da aplicação de procedimentos de processamento de imagens digitais.
- b) Mapear a área ocupada pela cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro, considerando os cenários supra-citados, referentes ao ano safra agrícola 2008/2009;
- c) Por meio de verificação de campo, avaliar a precisão do mapeamento das áreas cultivadas com cana através de imagens orbitais;
- d) Em ambiente SIG estruturar banco de dados georelacional e elaborar mapas temáticos do uso da terra, do vigor de fitomassa e da distribuição espacial das áreas de potencial de emissão de gases na atmosfera, de interesse desse estudo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS

Principalmente a partir da Segunda Guerra Mundial, com a ampliação e disseminação das tecnologias agrícolas, a produção de alimentos, assim como a produção de matérias para uso industrial contribuiu para o agravamento dos problemas ambientais. Isso porque a utilização de sementes melhoradas, o uso de equipamentos e máquinas agrícolas para o preparo de solo, o tratamento das culturas contra as plantas e pragas daninhas, e o uso exacerbado de adubos e corretivos do solo acarretaram problemas de contaminação da água, do solo, do ar, e do homem, bem como a alteração significativa de condições ambientais e a perda da biodiversidade (EMBRAPA, 2010).

Ao tratar especificamente da poluição do ar causada pela agricultura, tem-se que enfatizar a influência das atividades agrícolas no aumento das taxas de gases poluentes na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO_2), o monóxido de carbono (CO) e gases precursores do ozônio (O_3), que conseqüentemente alteram as condições climáticas. Especialmente nesse caso salienta-se a substituição da vegetação nativa por áreas cultivadas, que interferem nas condições atmosféricas e suas alterações, mesmo que em nível local (ROSENDO, 2005).

Nesta relação conflitante, é válido ressaltar que não somente as atividades agrícolas, mas também o ambiente natural-social sofre alterações com o aumento da emissão de gases poluentes na atmosfera. O aquecimento atmosférico, assim como o efeito estufa, ocasionado por essa emissão de gases na atmosfera é capaz de diminuir as safras agrícolas de determinados cultivos, e a produção de carne, leite, dentre outros produtos oriundos da pecuária, além dos problemas naturais, como catástrofes, que também afetam a produção agropecuária e a qualidade de vida da população (ROSENDO, 2005).

Além disso, efeitos sobre o balanço radioativo, sobre a química da atmosfera, sobre a emissão de gases estufa e sobre a redução da evaporação e precipitação, e efeitos no clima são ocasionados pela intensiva ocupação de atividades agrícolas e principalmente em decorrência da queima de biomassa (MARIANO, 2007).

No que diz respeito às atividades agrícolas que influenciam no aumento das taxas de emissão de gases na atmosfera, destaca-se o cultivo da cana-de-açúcar que, além de ocupar grandes porções de terra antes ocupadas por vegetação natural, emite diversos gases a partir da prática da queima pré-colheita manual.

4.2. QUEIMA DE BIOMASSA: o caso da cana-de-açúcar

Quanto se fala em poluição do ar logo se pensa na poluição provocada pelos veículos automotores e pelas chaminés das fábricas, nos centros urbanos. No entanto, a queima de biomassa, outra fonte de poluição, atinge mais da metade da população mundial, causando aumento dos riscos de infecção respiratória (ARBEX, 2004).

Estima-se que, aproximadamente 80% da combustão de biomassa ocorra nos trópicos (ARBEX, 2004), e que cerca de 40% dos resíduos agrícolas produzidos nos países em desenvolvimento, no qual inclui-se o Brasil, sejam queimados (JALLOW, 1995, apud LIMA *et al*, 1999), sendo que os resíduos da cana-de-açúcar representam, aproximadamente 11% da produção mundial desses resíduos agrícolas.

A queima de biomassa é considerada a maior produtora de gases tóxicos, material particulado e gases do efeito estufa no planeta. Além disso, ela “influencia a química e a física da atmosfera, produz espécies químicas que mudam significativamente o pH da água da chuva, e afeta o balanço térmico da atmosfera pela interferência na quantidade de radiação solar refletida para o espaço” (ARBEX, 2004)

As principais culturas que envolvem queima de biomassa em âmbito nacional são a cana-de-açúcar e o algodão. Sendo que a cana, conforme dados do ano de 1994 contribuiu com 97,9% do total de emissões provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil, enquanto que o algodão contribuiu com 2,1% deste total (LIMA *et al*, 1995).

Conforme salienta Ribeiro (2008) o Brasil tem apresentado, nas últimas décadas, grande expansão do setor sucro-alcooleiro devido, principalmente, a construção de cerca de cem novas usinas e a ampliação da participação do álcool na matriz energética. Essa expansão passou de 6,8% para 13,5% de 1978 a 2004 fazendo do país o maior produtor e exportador mundial de álcool. No entanto, ainda segundo Ribeiro (2008),

O corte de cana é mecanizado em 25% da produção brasileira e em 40% da paulista; o restante é cortado manualmente e sofre queima pré-corte. Em São Paulo, a safra da cana vai de maio a novembro, coincidindo com período de baixas precipitações pluviométricas e piores condições de dispersão dos poluentes atmosféricos. Dessa forma, aumentam as chances de as queimadas terem impactos negativos sobre a qualidade do ar e sobre a saúde das pessoas que vivem nas regiões canavieiras (p. 02).

Desta forma, apesar da expansão das áreas cultivadas com cana-de-açúcar e o desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro, a queimada que antecede corte manual ainda é uma prática comum no manejo dessa cultura agrícola em diversos setores do território paulista. A justificativa para tal prática concentra-se, principalmente, no fato da agilização do

corte manual, na melhoria da segurança do trabalhador rural e na redução de custos com transportes, equipamentos, e até mesmo em melhoria da produtividade (ARBEX, 2001).

A cana pode chegar até cerca de quatro metros de altura e possuir um grande volume de folhas, de 40 a 150 toneladas/hectare, dependendo da espécie, o que a faz produzir aproximadamente cem vezes mais matéria fibrosa do que outra cultura. Elas são plantadas com um espaçamento de 1,5 metros e à medida que crescem se tornam impenetráveis e habitat de animais peçonhentos. Além disso, apresentam riscos de incêndios acidentais devido sua folhagem seca quando adulta e causam grande desgaste físico ao operador do corte. Fatores que justificam a queima da cana quando a colheita não é mecanizada (MARINHO; KIRCHHOFF, 1991).

As substâncias lançadas na atmosfera com a queima do palhiço da cana são principalmente o dióxido de carbono (CO_2); o monóxido de carbono (CO), que é um gás venenoso e não ocorre naturalmente na atmosfera; o ozônio (O_3) que ocorre naturalmente na atmosfera formando uma camada que filtra a radiação ultravioleta, mas que, contudo, em altas concentrações pode ser nocivo à saúde animal e vegetal; e o metano (CH_4). Mariano (2007, p. 06), à esse respeito, destaca que, “aproximadamente 20 toneladas de matéria seca de cana por hectare são queimadas, contribuindo para uma emissão global de aproximadamente 0,48Tg de carbono por ano”. Lopes e Ribeiro (2006) salientam ainda que:

A prática de queimar a palha da cana-de-açúcar antes do corte causa uma modalidade de poluição do ar. Enquanto a emissão veicular de material particulado pode chegar a 62 toneladas/dia na Região Metropolitana de São Paulo, o material particulado proveniente da queima de palha, conhecido como "carvãozinho", pode chegar a 285 toneladas/dia (p. 216)

No entanto, apesar de já existir legislação que racionaliza essa prática, um argumento largamente utilizado na defesa do uso de queimadas para facilitar a colheita é o de considerar que o gás carbônico emitido para a atmosfera durante a queimada seja absorvido de 1,2 a 5,4 vezes a mais pelo processo de fotossíntese da cana-de-açúcar. Ripoli e Ripoli (2009) contestam esta afirmação e explicam que, se por um lado, o processo de fotossíntese absorve gás carbônico e libera oxigênio, por outro, no processo de respiração dos vegetais ocorre o caminho inverso, havendo a absorção de oxigênio e a liberação de gás carbônico.

De modo que os autores supra-citados, concluem que aquela afirmação é falaciosa por dois motivos;

Primeiramente porque não leva em conta a emissão de CO_2 que ocorre no período noturno, introduzindo um erro no balanço do CO_2 emitido vs. absorvido [...] Em segundo lugar, a carga poluidora de CO_2 é concentrada durante o período de duração da queimada, com potencial de impacto incomparavelmente superior; enquanto a absorção se faz ao longo de 12 ou 18 meses do ciclo vegetativo da cana de ano ou ano e meio, respectivamente (RIPOLI; RIPOLI, 2009, p. 35).

Portanto, “apesar dos benefícios econômicos apresentados pelo setor sucroalcooleiro, alguns aspectos ambientais precisam ser melhorados, sendo que um dos mais importantes é a prática da queimada antes do corte” (OMETTO et al., 2005, p. 2297).

4.2.1. A energia da Biomassa

Considerando os aspectos abordados no item anterior, outro enfoque que deve ser englobado nesta discussão se refere ao potencial do palhiço da cana-de-açúcar para geração de energia de biomassa.

A biomassa representa toda matéria orgânica, com exceção dos combustíveis fósseis, sendo assim todo o material proveniente de colheitas agrícolas e florestais, produtos animais, etc. O palhiço da cana, por sua vez, representa um tipo de biomassa constituído de todo o material remanescente após a colheita de cana-de-açúcar, ou seja, as folhas verdes, as palhas, os colmos, as ervas daninhas, entre outras (RIPOLI; RIPOLI 2009).

O palhiço da cana corresponde a cerca de 30% do total de biomassa presentes nos canaviais. O poder calorífico deste material é da ordem de $1.896 \text{ kcal.kg}^{-1}$, equivalente ao da madeira e superior ao do bagaço da cana, o que o torna um importante produtor de energia (RIPOLI; GAMERO, 2007).

O palhiço fornece, em média, 13.551 MJ.t^{-1} , sendo que estimaram para o Brasil, que este material se fosse recolhido e levado até as usinas e destilarias, poderia gerar energia suficiente para abastecer $9,85.10^6$ pessoas de consumo de baixa renda, por ano, enquanto que o bagaço, que já é amplamente utilizado para a produção energética, poderia atender a $5,55.10^6$ pessoas (RIPOLI; GAMERO, 2007, p. 77).

No entanto, para que haja o aproveitamento deste material para a produção de energia renovável não pode haver a queima que antecede o corte, já que com a sua realização diversos gases são liberados para a atmosfera, não havendo o aproveitamento da energia e poluindo a atmosfera. Além disso, “estudos mostraram que, além do desperdício energético renovável, as queimadas causam prejuízos ao setor sucroalcooleiro”, diminuindo, por exemplo, a produtividade do solo (RIPOLI; GAMERO, 2007, p. 78).

Estudos recentes comprovaram que a colheita mecanizada integral não aumenta a necessidade de novos investimentos em equipamentos, novas equipes de manutenção e abastecimento, e que o investimento somente exigirá o custo de uma estação de pré- limpeza (custo que deve ser amortizado em apenas 10 meses), e um pequeno aumento de veículos para o transporte da cana. Além desses fatores, em comparação com a energia eólica, que custa

cerca de R\$204/MWh, a energia de biomassa pode custar de R\$93,00 a R\$169,00/MWh, o que a torna ainda mais vantajosa (RIPOLI, 2006).

No entanto, para que este setor promissor entre em total atividade é necessário que haja incentivo governamental para os agricultores que ainda, em sua grande maioria, desconhecem as vantagens do aproveitamento dessa biomassa para o fornecimento de energia renovável.

4.3. VARIEDADES DA CANA-DE-AÇÚCAR

Nesta seção será realizada uma breve indicação acerca de algumas características das espécies e de variedades da cana-de-açúcar, apenas para contextualização do tema em questão.

A cana-de-açúcar pertence à família das gramíneas e é originária do sudeste da Ásia, onde se deu a exploração principalmente da espécie *S. officinarum*. No entanto, com o aparecimento de pragas e doenças e também de novas tecnologias, foi necessário o surgimento de novas espécies que se adaptassem a diversas condições naturais. Essas novas variedades foram obtidas através do cruzamento da espécie do gênero *S. officinarum* com as do gênero *Saccharum*, e do cruzamento destas com as novas espécies criadas (AGROBYTE, 2010).

Desse modo, as espécies de cana possuem agrupamentos que diferem entre si pelo seu comportamento quanto aos aspectos de produtividade, resistência às pragas e doenças, e às variações climáticas e pedológicas. Diante desse quadro, segundo a empresa Sacarose (2010), as espécies utilizadas são:

- *Saccharum officinarum*, L.: que compreende as variedades de canas nobres ou tropicais. Elas são caracterizadas pelo alto teor de sacarose, colmos grossos, porte elevado, pouco teor de fibra. Como indicado acima, esse gênero foi a base para a criação de novas espécies de cana-de-açúcar.
- *Saccharum spontaneum*, L.: São plantas rústicas com colmos curtos, finos e fibrosos que se ajustam as mais diversificadas condições de solo e clima. Elas pertencem às espécies de canas da Índia.
- *Saccharum sinensis*, Roxb.: compreende as variedades da China e do Japão. Elas se caracterizam por possuir alto porte, colmos finos e fibrosos e teor regular de açúcar.
- *Saccharum barberi*, Jeswiet: são variedades pobres em açúcar, com características de baixo e médio porte, colmos finos e fibrosos. São conhecidas como canas indianas.

- *Saccharum robustum*, *Jeswiet*: possuem colmos muito altos (até 10 metros), relativamente grossos, fibrosos e muito pobres em açúcar.
- *Saccharum edule*, *Hask*: abrange poucas variedades da Nova Guiné e ilhas vizinhas. Elas apresentam inflorescências usadas na alimentação humana.

Considerando essas espécies e salientando que diversas são as variedades a elas pertencentes, graças aos avanços da tecnologia com a possibilidade de cruzamentos, seleção e criação de variedades híbridas tem-se que levar em conta as condições do ambiente para a escolha adequada pelo agricultor da variedade a ser cultivada, já que elas se diferem quanto às suas características de floração. Algumas floram mais cedo, outras são de floração mais tardia; algumas são de floração abundante, outras não florescem, e assim por diante (AGROBYTE, 2010).

No estado de São Paulo, por exemplo, as variedades mais indicadas para suas condições ambientais, são:

- Para o início da safra: SP80-3250, SP80-1842, RB76-5418, RB83-5486, RB85-5453 e RB83-5054;
- Para o meio da safra: SP79-1011, SP80-1816, RB85-5113 e RB85-5536;
- Para o fim da safra: SP79-1011, SP79-2313, SP79-6192, RB72-454, RB78-5148, RB80-6043 e RB84-5257;

Os cultivares SP79-2313, RB72-454, RB78-5148, RB80-6043 e RB83-5486 caracterizam-se pela baixa exigência em fertilidade de solo (AGROBYTE, 2010).

4.4. GEOTECNOLOGIAS APLICADAS NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO

Esta seção trata da evolução e importância da utilização de SIG e de produtos de Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação.

4.4.1. Sensoriamento Remoto

Conforme Ponzoni e Shimabukuro (2007), o Sensoriamento Remoto é a tecnologia utilizada para identificar e quantificar a distribuição dos alvos de uma determinada região, desde a escala global até a escala local.

Para Novo (1992), o sensoriamento remoto caracteriza-se como sendo a utilização de modernos sensores, aeronaves, espaçonaves, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a Radiação Eletromagnética (REM) e as substâncias existentes na superfície terrestre em suas mais diversas manifestações.

As técnicas de Sensoriamento Remoto começaram a ser aplicadas nos estudos de vegetação, no Brasil, a partir da década de 1940, através da utilização de fotografias aéreas em trabalhos localizados e específicos. Um dos marcos do início da aplicação dessa tecnologia se deu com o projeto RADAM no início da década de 70, cujo objetivo inicial foi realizar os mapeamentos temáticos dos recursos naturais na região da Amazônia brasileira. Posteriormente esse projeto estendeu-se por diversas outras regiões do território brasileiro com a denominação de RADAMBRASIL.

Após a realização do RADAMBRASIL, avanços ocorreram com a capacitação de profissionais e o desenvolvimento de técnicas de sensoriamento orbital. Este avanço ocorre continuamente até os dias atuais (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007), já que muitas são as possibilidades de aplicações das técnicas de natureza genérica de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, como por exemplo, em estudos urbanos, rurais, da caracterização da vegetação, incluindo, agricultura, florestas, paisagens nativas, planícies de inundação, vegetação urbana, entre outras (JENSEN, 2009).

Na área ambiental, a aplicação do Sensoriamento Remoto, assim como em diversos ramos da ciência, se dá em função de sua capacidade de disponibilizar dados multiespectrais em diversos períodos de tempo, possibilitando a análise de diferentes fenômenos sinopticamente (VALENTE, 2001).

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007), em meados da década de 1980 surgiram as primeiras iniciativas de mapeamento de classes específicas da cobertura vegetal a nível nacional, englobando culturas, como a da cana-de-açúcar e do feijão. E somente na década de 1990 as pesquisas de sensoriamento remoto da vegetação passaram a ter um cunho de caráter mais quantitativo, do ponto de vista do registro radiométrico, em relação aos trabalhos de anos anteriores que priorizava a ênfase qualitativa. Com isso, foram estabelecidos parâmetros de correlação biofísicos e geofísicos da vegetação com os dados radiométricos das imagens orbitais, dentre outros avanços.

A partir de então, a utilização de índices de área foliar, índices de vegetação, biomassa, entre outros fatores biofísicos e geofísicos, passaram a ser aplicados nos estudos de vegetação por sensoriamento remoto. Contudo, para o desenvolvimento de pesquisas que contemplem estes aspectos, conhecimentos acerca das características espectrais da vegetação são importantes para a compreensão de seu comportamento em imagens de sensoriamento remoto.

Conforme Jensen (2009) em termos de comportamento espectral da vegetação, “uma folha sadia intercepta o fluxo incidente, direto proveniente do Sol ou da radiação difusa espalhada sobre a folha. Esta energia eletromagnética interage com os pigmentos, água e espaços intercelulares internos à folha vegetal” e são responsáveis pela absorção e refletância da vegetação, além da interação com sua superfície. Os fatores que controlam essa refletância nas regiões do visível até o infra-vermelho médio podem ser observadas na figura 1, conforme o autor supra-citado.

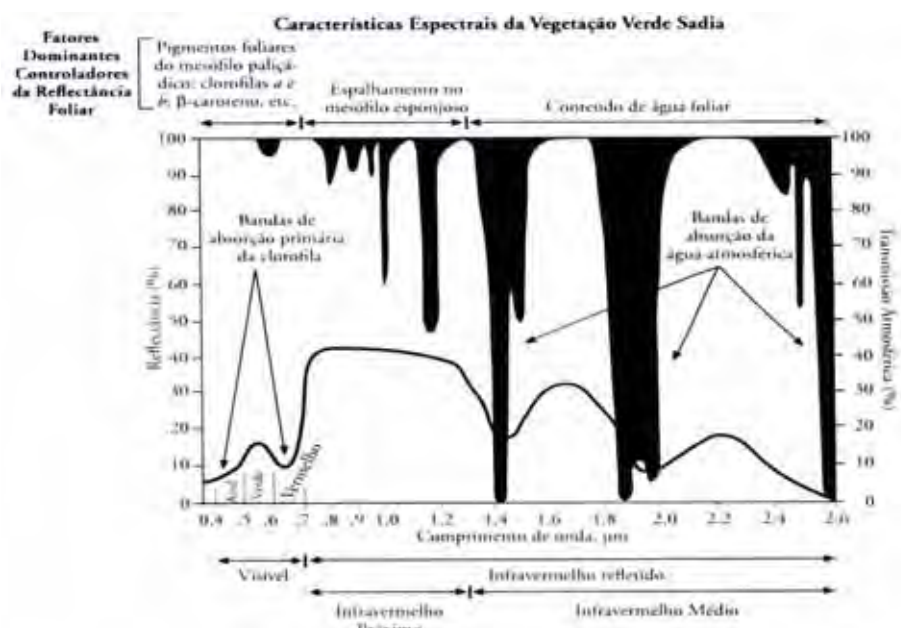


Figura 1: Características espectrais da vegetação com vigor de fitomassa.
Fonte: JENSEN, 2009, p. 359.

Através da figura 1, representativa da vegetação fotossinteticamente ativa, pode-se observar também a baixa refletância (menor que 20%) até 0,7 μm ; a alta refletância na região de 0,7 até 1,3 μm ; entre 1,3 e 2,5 μm o conteúdo de água nas folhas é relevante na refletância da vegetação; e em 1,4 μm e 1,95 μm ocorrem as bandas de absorção atmosférica (NOVO, 2009).

Um feixe de radiação que incide na superfície de um alvo pode ser refletido imediatamente após seu encontro com as estruturas da cutícula ou epiderme; pode penetrar na primeira camada epidérmica, ou ainda, dependendo das características do meio, o feixe pode atravessar, através da transmissão, completamente a folha (PONZONI; SHIMAKURO, 2007). A esse respeito, Moreira (2007) salienta que:

“Dos três componentes resultantes da interação da radiação solar com a planta (refletância, absorvância e transmitância), a parte absorvida (absorvância) é a de maior interesse em todas as pesquisas relacionadas à produção vegetal, inclusive no sensoriamento remoto agrícola, porque é por meio da quantificação desta variável

que o especialista em sensoriamento remoto poderá tirar conclusões importantes a respeito das condições fitossanitárias de determinada cultura agrícola” (p. 81).

São dois os fatores envolvidos na interceptação e absorção da radiação, sendo eles, os morfológicos e os fisiológicos. Os fatores morfológicos estão relacionados à organização espacial das folhas (densidade de cobertura vegetal, distribuição horizontal e vertical das folhas e ângulo de inserção foliar); já os fatores fisiológicos compreendem a idade da planta, o déficit hídrico, o tipo e espessura das folhas, os nutrientes, e o conteúdo de água na folha (MOREIRA, 2007).

“Percebe-se, portanto, que o processo de interação entre a radiação eletromagnética referente ao espectro óptico e uma folha é dependente de fatores químicos (pigmentos fotossintetizantes e água) e estruturais (organização dos tecidos da folha) e pode ser analisado sob os pontos de vista da absorção, da transmissão e da reflexão da radiação. A análise conjunta desses três fenômenos compõe aquilo que denominamos como o estudo do Comportamento Espectral da Vegetação” (PONZONI; SHIMAKURO, 2007, p.11).

No entanto, convém salientar, que, no entanto, o comportamento espectral da vegetação se modifica no decorrer de seu ciclo vegetativo. Além disso, o impacto das modificações morfológicas e fenológicas relativas ao dossel da planta influenciam conforme a região do espectro, o tipo de cultura, e a visada do sensor (NOVO, 2008).

Ainda, é necessário considerar a interação da energia solar com a comunidade das plantas. O dossel pode ser homogêneo ou heterogêneo e a planta pode estar sofrendo estresse hídrico ou não, e dependendo desta característica há uma diferente resposta espectral.

Outro fator que interfere na qualidade dos dados gerados por meio dos produtos de Sensoriamento Remoto é a geometria da coleta dos dados a partir de um sistema sensor, a geometria da cena e a interação da refletância com outros elementos envolvidos na atmosfera, como por exemplo, a poeira e as nuvens, entre outros.

4.4.2. Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Com o avanço das Geotecnologias, cada vez mais são utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG com a finalidade de se realizar estudos ambientais. No caso das técnicas de sensoriamento remoto, elas permitem uma visão sinótica do espaço geográfico, e seus produtos podem ser adquiridos num pequeno intervalo temporal, garantindo o recobrimento sistemático da área de estudo. Estas técnicas são necessárias, já que dentre suas inúmeras finalidades, destaca-se a aquisição de dados através de sistemas orbitais e levantamentos aéreos, e a geração e análise destes produtos em função do comportamento espectral dos alvos que recobrem a superfície terrestre.

No caso específico dos SIG, de acordo com Câmara (1995), os Sistemas de Informações Geográficas são baseados em sistemas computacionais que permitem capturar, modelar, manipular, recuperar, consultar, analisar e apresentar dados geograficamente referenciados. Essa tecnologia “pode trazer enormes benefícios devido à sua capacidade de manipular a informação espacial de forma precisa, rápida e sofisticada” (GOODCHILD, 1993 apud INPE, 2010).

Os dados tratados em SIG são de natureza espacial ou geográfica que possuem localização em coordenadas e atributos descritivos dispostos em um banco de dados. Esses dados, além disso, não se apresentam sozinhos no espaço, havendo a necessidade de interpretação da relação entre diversos tipos de dados em uma representação (CÂMARA, 1995).

Tendo tais aspectos em vista, as principais potencialidades do SIG consistem na geração de mapas com maior agilidade; no ajuste de mapas em diferentes formatos; na minimização do uso de mapas impressos; na criação de representações em 3D; na agilidade na manipulação de dados e sobreposições de mapas temáticos para a elaboração de mapas de síntese, através da integração, numa só base de dados, de informações geográficas oriundas de várias fontes (dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite e modelo numérico do terreno); na análise da distribuição espacial de dados e fenômenos (análise espacial); e na recuperação, manipulação e visualização de dados, por meio de algoritmos de manipulação e análise.

A título de exemplos, no caso específico da agricultura (e principalmente do cultivo de cana-de-açúcar), alguns trabalhos podem ser evidenciados sendo capazes de demonstrar a ampla aplicabilidade das ferramentas de Geoprocessamento e do uso de Sensoriamento Remoto neste segmento.

Ometto *et al.* (2005), por exemplo, avaliaram as categorias potenciais de impactos ambientais; aquecimento global, formação de ozônio troposférico, acidificação e toxidade humana da queimada de cana-de-açúcar no Brasil em seu trabalho intitulado “Mapeamento de potenciais de impactos ambientais da queima de cana-de-açúcar no Brasil”. Para o cálculo dos potenciais impactos a quantidade de gases foram ponderadas para cada categoria de impacto de acordo com o método EDIP (Environmental Development of Productor) e com os indicadores de Wenzel *et al.*.

Rudorff *et al.* (2005), utilizaram imagens de satélite para mapear e estimar a área de cana plantada para a safra 2003/2004 em São Paulo, em seu trabalho intitulado “Estimativa de

área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2003/2004”.

Mariano, G. L. (2007) avaliou a possível relação da transparência óptica da atmosfera com a queima de biomassa em três regiões diferentes do Brasil utilizando, dentre outros equipamentos, o sensor MODIS, em seu trabalho “Influência das queimadas de biomassa (florestas e cana-de-açúcar) do Brasil na espessura óptica dos aerossóis”.

Lira *et al.* (2009) no trabalho intitulado “Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana-de-açúcar” utilizaram imagens do sensor TM-Landsat 5 da área do sub-médio São Francisco, a fim de avaliar o comportamento espectral da cultura de cana-de-açúcar por meio dos Índices de Vegetação.

Brandão *et al.* (2009) no trabalho “Distinção de classes de cana-de-açúcar através do NDVI” tiveram como objetivo comparar a evolução temporal do Índice de Vegetação - NDVI para os dois tipos de lavouras de cana de açúcar.

Marinho, E. V. A. e Kirchhoof (1991), por sua vez, através do trabalho intitulado “Projeto Fogo: um experimento para avaliar efeitos das queimadas de cana-de-açúcar na baixa atmosfera” utilizaram, dentre outras ferramentas, de imagens aerofotogramétricas a fim de estudar o efeito das queimadas da palha da cana sobre os gases atmosféricos: ozônio, monóxido de carbono e dióxido de carbono.

4.4. INDÍCES DE VEGETAÇÃO

A evolução do sensoriamento remoto permitiu a disponibilização de sistemas sensores capazes de oferecer dados e informações, em diferentes bandas espectrais, das características da superfície terrestre. Este avanço, aliado a criação de metodologias, como os índices de vegetação, possibilitou a dinamização da análise dos dados coletados por meio da “maximização de informações espectrais da vegetação no menor número de bandas de operação dos sensores” (MOREIRA, 2007).

Campbell (1996) definiu os índices de vegetação como sendo valores associados à quantidade de biomassa ou ao vigor vegetativo da cobertura, baseados na intensidade eletromagnética refletida ou emitida pela superfície terrestre, medida por um sistema sensor.

Jensen (2000), por sua vez, caracteriza os Índices de Vegetação como sendo:

“as dimensionless, radiometric measures that function as indicators of relative abundance and activity of Green vegetation, often including leaf-area-index (LAI), percentage green cover, chlorophyll content, green biomass, and absorbed photosynthetically active radiation (APAR) (p. 361)”

Para Ponzoni (2001) os índices de vegetação servem como indicadores do crescimento e vigor da vegetação verde podendo ser utilizados, dentre outras coisas, para diagnosticar diversos parâmetros biofísicos, como por exemplo, índice de área foliar (IAF), biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade agrícola.

A esse respeito, Jensen (2000), afirma ainda que o cálculo dos Índices de Vegetação são importantes em determinadas pesquisas, pois são capazes de maximizar a sensibilidade das plantas a parâmetros biofísicos; normalizar efeitos externos (como ângulo solar, interferências atmosféricas, etc.) a fim de permitir comparações; normalizar efeitos internos; e ser associável a algum parâmetro biofísico mensurável, como a biomassa e o índice de área foliar (IAF).

Moreira (2007) salienta as vantagens da utilização dos índices de vegetação para a caracterização e quantificação dos parâmetros biofísicos da vegetação. Em concordância com Jensen (2000), afirma que duas são as vantagens: a possibilidade de redução da dimensão das informações multiespectrais e a diminuição do impacto das condições de iluminação e visada; e o fornecimento de um número correlacionado à parâmetros agronômicos.

Ponzoni e Shimabukuro (2007) destacam que a fundamentação desses índices residem no comportamento antagônico da reflectância nas regiões espectrais do vermelho (Vm), na região do visível, e do infravermelho próximo (IVm). De modo que a relação entre a baixa refletância espectral das folhas na região do visível, devido à absorção da radiação solar pela ação dos pigmentos fotossintetizantes, e a alta refletância da folha na região do infravermelho próximo (IVm), em virtude do espalhamento da radiação no interior da estrutura foliar, torna as curvas de reflexão bastante diferenciadas e possibilita a apresentação de valores mais altos da razão IVm/Vm em função das características vegetativas da região e de sua maior quantidade (HUETE, 1995 e VENIZIANE, 2003).

Dentre os índices de vegetação mais utilizados, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) proposto em 1973 por Rouse et al.. Este índice é capaz de oferecer um bom contraste entre os objetos da superfície da terra e proporcionar um forte comportamento espectral da vegetação (Tucker; Sellers, 1986). Ele consiste na normalização dos valores de números digitais (ND) através do cálculo da diferença entre a reflectância do infra-vermelho próximo (IVP) e a reflectância do vermelho (V) divididos pela soma dos mesmos elementos (PONZONI, 2001). A expressão abaixo defini seu cálculo:

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

Ponzoni e Shimabukuro (2007), afirmam que os valores de NDVI variam de -1 a +1, e que;

“os tons de cinza mais claro estão relacionados aos valores mais elevados de NDVI, enquanto que os mais escuros, aos valores mais baixos. Os valores mais elevados estão relacionados às áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto que os mais escuros, representam as áreas com menor quantidade de vegetação” (p.83).

O NDVI é uma ferramenta para a caracterização e o monitoramento da vegetação, que permite a construção de perfis sazonal e temporal do comportamento das atividades da vegetação e a comparação inter-anuais desses perfis. Esses índices têm sido utilizados para detectar atividades fenológicas sazonais, tais como: duração do período de crescimento, pico de verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

No entanto, a aplicação desta ferramenta requer certos cuidados, cabendo ao pesquisador considerar os fatores limitantes, que incluem, dentre outros, a interferência atmosférica, os pontos de saturação, que se manifestam diferentemente nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, e o posicionamento do centro e largura de cada banda (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Silva et al (2007) salientam ainda que a razão de bandas é o método de processamento digital mais utilizado para a extração de índices de vegetação. Para esses autores, apud Carvalho (2005), a razão de bandas é um processamento capaz de realçar a diferença de comportamento espectral dos alvos, principalmente nas bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. O resultado esperado dessa razão de bandas seria, assim, a vegetação apresentando tonalidades de nível de cinza mais claras; o solo tonalidades intermediárias; e a água tonalidades mais escuras.

Diversos foram os autores que utilizaram as imagens de Sensoriamento Remoto para indicar Índices de Vegetação através da Razão de Bandas, combinando com as ferramentas de SIG para a realização de estudos ambientais, dentre eles, Epiphanyo, et. al. (1988), Huete (1988), Liu & Huete (1995), Almeida Jr. e Formaggio (1996), Ponzoni (2001), Machado (2003) e Rudorff (2005).

5. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DO MEIO FÍSICO

A área escolhida para a realização desse trabalho refere-se ao município de Rio Claro - SP (Figura 2), que se localiza na porção centro-leste do estado de São Paulo, com retângulo envolvente nas coordenadas 22° 05' e 22° 40' S, 47° 30' e 47° 55' W, integrando a Região Administrativa de Campinas.

É formado, além da sede municipal, pelos distritos de Ajapi e Assistência, por três bairros rurais, sendo eles, Batovi, Itapé e Ferraz e por vinte e cinco outros núcleos rurais. O município faz limite ao Norte com Corumbataí e Leme, ao Sul com Iracemápolis e Piracicaba, a Leste com Araras e Santa Gertrudes, e a Oeste com Ipeúna e Itirapina.

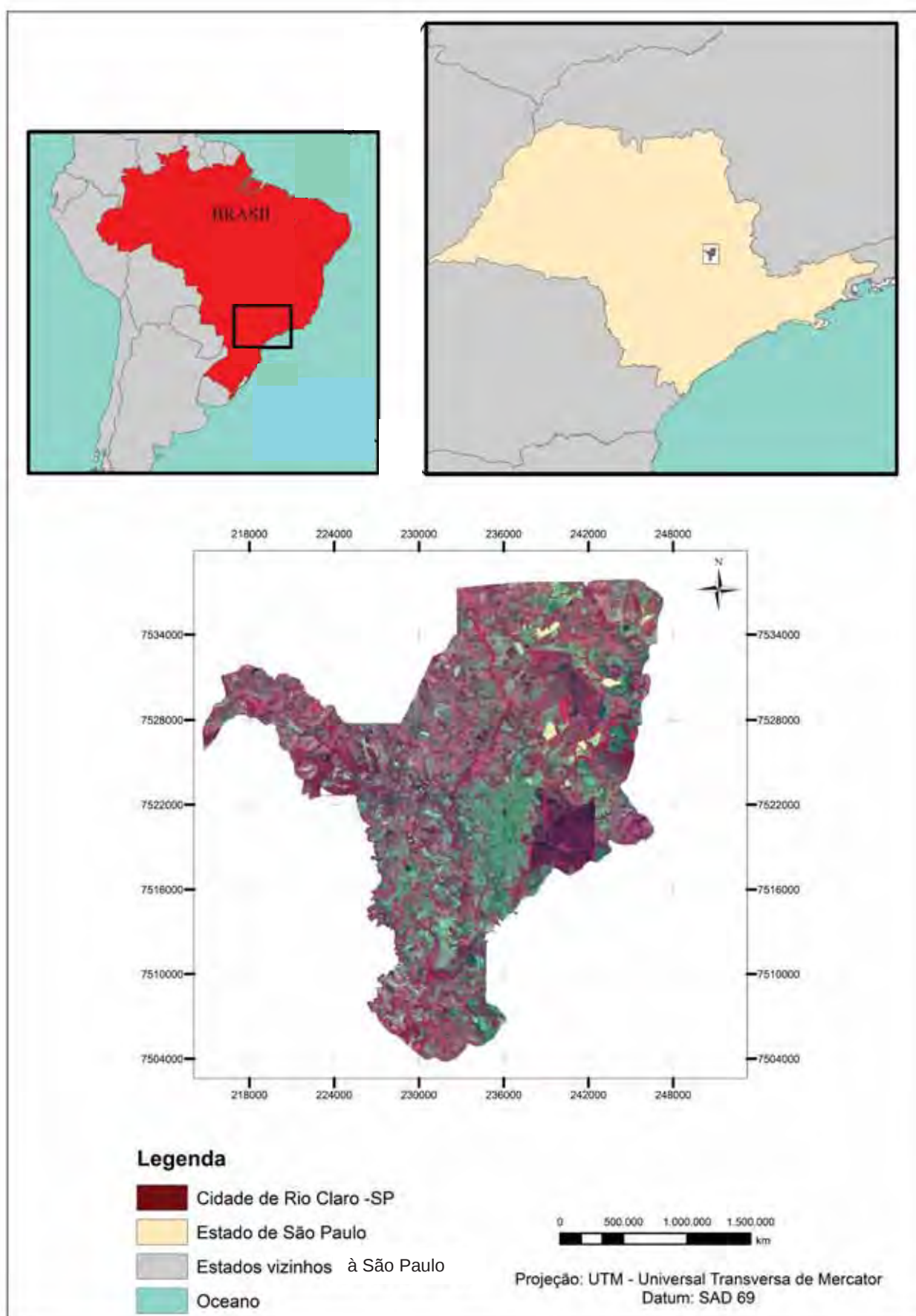


Figura 2: Localização da área de estudo

Do ponto de vista geológico-geomorfológico, o município situa-se na porção NE da Bacia Sedimentar do Paraná, composta por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica, Mesozóica e Cenozóica. Insere-se numa área de transição entre as escarpas mais avançadas da zona das cuestas basálticas e o planalto cristalino, na chamada Depressão Periférica Paulista (ALMEIDA, 1964). A topografia, no geral, é suavizada, com desníveis altimétricos entre 20 e 50 metros, com altitude média de 612 metros (PENTEADO, 1976).

Predominam rochas areníticas, resultando solos com textura predominantemente arenosa. Solos hidromórficos e litólicos ocorrem em pequenas proporções; os primeiros estão restritos aos vales do rio Corumbataí e ribeirão Claro, e os litólicos estão associados aos siltitos e argilitos da Formação Corumbataí, da Formação Irati e das intrusões de diabásio (OLIVA, 2007).

Do ponto de vista climático, a área de estudo pode ser considerada como tropical, com duas estações definidas, apresentado clima ameno e seco no período de maio a setembro e chuvoso e quente de novembro a abril, com temperatura média de 22,3°C, conforme dados registrados pela Estação Meteorológica do CEAPLA/UNESP/Rio Claro. Pelo sistema de classificação zonal de Köppen o clima de Rio Claro corresponde ao tipo *Cwa*, onde a temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa os 22°C.

No que se refere à distribuição anual do regime das chuvas, entre abril e setembro, ocorre um período seco, com 15 a 20 dias de chuva, que varia de 180 a 200 mm; e de outubro a março, um período chuvoso, com cerca de 55 a 60 dias de chuva, que englobam mais de 80% das precipitações anuais, com média de 1.200 mm (ZAINÉ, 1994).

Tratando-se mais especificamente da agricultura, dados fornecidos pelo IBGE, apontam a cultura da cana-de-açúcar como a atividade agrícola dominante no município, abrangendo aproximadamente 14.050 hectares de área plantada/colhida, dos 498 km² da área total municipal, e com uma produção de cerca de 1.264.500 toneladas/ano. Para termos de comparação, a utilização de terras em lavouras permanentes constituem aproximadamente 1.087 hectares do município, já as pastagens naturais abrangem cerca de 4.368 hectares (IBGE, Censo 2006). A esse respeito, Troppmair (2007) observa que a “cana-de-açúcar passou ocupar o primeiro lugar no uso do solo rural” de Rio Claro, tendendo a se expandir ainda mais devido aos programas de incentivos governamentais ao bicomcombustível e os preços atrativos do açúcar no mercado internacional.

6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais/equipamentos e abordagens metodológicas:

6.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

- Folhas das cartas topográficas 1: 50.000 do ano de 1969 (SF-23-Y-A-I-2; SF-23-Y-A-II-1; SF-23-Y-A-I-3; SF-23-Y-A-I-4; SF-23-Y-A-IV-3; SF-23-Y-A-IV-2), do IBGE;
- Imagens Orbitais do satélite CBERS 2B, câmera imageadora de alta resolução (CCD), passagens de 23/09/2008 e 19/04/2009, nas bandas 2,3 e 4;
- Imagens Orbitais do satélite Landsat 5 (TM), passagens de 10/09/2008 e 22/04/2009, bandas 3,4 e 5;
- Imagem orbital do satélite ALOS ano de 2008, resolução espacial de 10 metros (para apoiar a realização de trabalho de campo);
- Base cartográfica digital disponível no “Atlas Ambiental do Rio Corumbataí” – escala 1:50.000 (CEAPLA/IGCE/UNESP – Rio Claro);
- Dados de chuva da Estação Meteorológica do CEAPLA/UNESP – Campus Rio Claro;
- Softwares: SPRING 4.3.3; Autodesk Map 2004; ArcGIS 9.3; ENVI 4.5;
- GPS de alta precisão (marca TRIMBLE série 2008);
- Máquina Fotográfica Digital;
- Notebook;
- Estação computacional de trabalho.

6.2. METODOLOGIA

Em termos de abordagem metodológica, esse trabalho foi estruturado em cinco fases: a) fase de aquisição de dados; b) fase de pré-processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto; c) fase de processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto; d) fase de geração dos produtos cartográficos; e) Fase de realização do trabalho de campo; f) fase de análise dos dados e produtos gerados.

6.2.1. Fase de aquisição de documentos e imagens cartográficas

Como fase inicial desse trabalho, procedeu-se a coleta de dados e informações bibliográficas, e o levantamento dos produtos de Sensoriamento Remoto (imagens orbitais) e de documentos cartográficos.

As imagens orbitais foram adquiridas através do catálogo de imagens CBERS disponibilizado no site do INPE, tendo sido feita a opção das imagens da câmera imageadora CCD devido à sua resolução espacial de 20 metros, nas passagens de 23/09/08 e 19/04/2009, que correspondem, respectivamente, aos estágios em que a cana-de-açúcar se apresenta em fase de crescimento e estágio adulto pré-colheita. Um terceiro estágio fenológico não foi escolhido devido à indisponibilidade de imagens sem nuvens no período correspondente à 2008/2009 pelo satélite CBERS. Além disso, para fins comparativos, foram coletadas, também pelo catálogo de imagens do INPE, dados do satélite LANDSAT 5, nas datas de 10/09/2008 e 22/04/2009.

A base cartográfica da bacia do rio Corumbataí, por sua vez, foi adquirida por meio do site do “Atlas Ambiental da bacia do rio Corumbataí” disponível no endereço eletrônico do CEAPLA/UNESP - campus Rio Claro. Esses produtos cartográficos referem-se às folhas das cartas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000, relativas às folhas das cartas de: Rio Claro, Itirapina, São Carlos, Leme, Corumbataí e Piracicaba, que compõe a área do município de Rio Claro.

6.2.2. Fase de Pré-Processamento digital das imagens de Sensoriamento Remoto

6.2.2.1. Procedimentos de correção geométrica das imagens

Após a aquisição das cartas, através do *software Autodesk Map 2004* procedeu-se o georreferenciamento das cartas topográficas de Rio Claro, Piracicaba, Itirapina, Leme, Araras e Corumbataí a fim de que fosse obtido o limite do município de Rio Claro (SP).

A partir das cartas topográficas, foi definido o polígono relativo ao limite municipal de Rio Claro, e na sequência foi executado o georreferenciamento e o registro das imagens orbitais. Para essa tarefa, utilizou-se o *software ENVI 4.5* (o qual demonstrou melhor desempenho para a realização do georreferenciamento das imagens orbitais). Os pontos de controle foram obtidos com o apoio das cartas topográficas. O erro do georreferenciamento das imagens foi para os dois cenários foi inferior a 1,5 metros, valor considerado adequado para os ajustes de posicionamento.

Após a realização destes procedimentos, o limite do município e as imagens orbitais georreferenciadas foram inseridas no ambiente do *software SPRING* para o recorte do município de Rio Claro nas imagens.

6.2.2.2. Procedimentos de realce de contraste nas imagens

No ambiente do *software SPRING 4.3.3* foram executados os procedimentos de ampliação linear de contraste nas imagens CBERS nas bandas 2 (verde) 3 (vermelho) e 4

(infra-vermelho próximo). Essas bandas foram selecionadas devido a potencialidade que elas apresentam na caracterização de diferentes tipos de cobertura vegetal, particularmente as bandas 3 e 4.

A realização do procedimento de contraste tem por objetivo “aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem” (SPRING, 2010). A escolha do contraste mais adequado para cada imagem, na opção de “Ampliação linear de contraste”, ocorreu por processo de observação da melhor percepção dos alvos.

Também, o procedimento de contraste é aplicado para auxiliar na equalização dos níveis de cinza e/ou matiz de cores nas imagens de Sensoriamento Remoto, a fim de reduzir o excesso de níveis muito claros e muito escuros e produzir histogramas de frequência de níveis de cinza, com distribuições mais uniformes. Moreira (2007) ressalta ainda, que os dados obtidos por satélites quando disponibilizados em sua forma bruta, podem apresentar uma qualidade visual de contraste espectral baixa, sendo necessária a aplicação desse procedimento.

6.2.2.3. Normalização radiométrica das imagens CCD/CBERS-2

O processo de normalização atmosférica consiste na minimização das influências de variações não lineares da sensibilidade dos detectores no decorrer do tempo e das variações na geometria de iluminação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Esta opção é utilizada, principalmente quando as imagens são adquiridas em datas diferentes, tendo o propósito de diminuir a diferença da resposta espectral presentes nas cenas (ROSATTI, 2006).

A normalização radiométrica foi inicialmente proposta por Hall et. al. (1991) com a denominação de retificação radiométrica. Segundo os autores, essa técnica é baseada em duas etapas, sendo elas:

- “(i) One component forms radiometric control sets that have little or no variation in their mean surface reflectance between images. The members of these sets are not necessarily the same pixels from image to image: rather they reside at the nonvegetated extremes of the KauthThomas (KT) greenness – brightness scattergram.
- (ii) The second component radiometrically retifies the images using a linear transformation with coefficients calculated to equate the individual band means (in raw digital counts) of the radiometric control sets in each image” (HALL, et. al., 1991, p.13).

Neste trabalho a realização da retificação radiométrica foi baseada nas propostas de Hall, et. al (1991), na qual são estabelecidas regressões lineares para o tratamento das imagens. Os dados de controle foram compostos por valores de NC claros e escuros

considerados invariantes ao longo do tempo entre as cenas. No caso, foram escolhidos como pontos amostrais, objetos como corpos d'água, estradas, e solo exposto (exceto o solo exposto preparado para o cultivo de culturas agrícolas). Para todas as imagens selecionadas, a retificação foi realizada utilizando o mesmo procedimento.

Assim, para normalizar as imagens, foram originadas as duas primeiras componentes da transformação “*Tasseled Cap*” com base nos alvos claros e escuros, ou seja, “*Brightness*” e “*Greenness*” (KAUTH; THOMAS, 1976). Esses dados fornecem as informações de entrada do modelo de retificação radiométrica. Os coeficientes “*greenness*” e “*brightness*” utilizados foram retirados de Crist e Cicone (1984b, apud ROSATTI, 2006), específicos para o sensor TM/LANDSAT 5 (ROSATTI, 2006). A utilização destes coeficientes específicos para imagens TM/LANDSAT se justificam pela ausência de parâmetros para imagens CBERS CCD (ROSSATI, 2006). Os parâmetros para normalização foram os seguintes:

BRIGHTNESS

Banda 3: 0.4743

Banda 4: 0.5585

GREENNESS

Banda 3: -0.536

Banda 4: 0,7243

As imagens na banda 3 e 4 obtidas em 23 de setembro de 2008 foram normalizadas tendo como base as imagens referência das bandas 3 e 4 na data de 19 de abril de 2009, já que esta apresentou melhores resultados com a aplicação deste procedimento.

As etapas para a elaboração das imagens retificadas foram realizadas da seguinte forma, conforme Correa (2010) (informações sobre as rotinas utilizadas encontram-se no apêndice 1):

- a) Geração de Imagens *Brightness* e *Greenness*;
- b) Geração de tabelas para o fatiamento das imagens *Greenness* e *Brightness*, nesta etapa foram inseridos os valores claros e escuros das imagens a serem retificadas;
- c) Fatiamento de Imagens *Greenness* e *Brightness*; nesta etapa, gerou-se as imagens temáticas a partir de uma grade retangular, e na imagem temática estavam contidas as classes claras e escuras.
- d) Cruzamento dos pontos claros e escuros *Brightness* e *Greenness* das imagens a serem retificadas;
- e) Média das máscaras resultantes do cruzamento das classes claras e escuras das imagens. A média das imagens foram anotadas e utilizadas para a retificação da imagem de 23/09/08.

- f) Retificação das Imagens a serem normalizadas com a utilização dos valores de médias definidos na etapa anterior. Segundo Ponzoni e Shimabukuru (2007) e conforme apresentado no apêndice 1, os valores adotados para ‘Bri’ foi a média do conjunto de referência clara; para ‘Dri’ a média do conjunto de referência escura; para ‘Bsi’ a média do conjunto claro a ser normalizado; e para ‘Bsi’ a média do conjunto escuro a ser normalizado.
- g) E por fim, a obtenção das médias retificadas dos pontos claros e escuros, em que foram analisados a melhora da compatibilidade espectral da imagem normalizada com a imagem de referência.

6.2.2.4. Procedimentos de Transformação IHS

Outra técnica disponível no *software SPRING*, utilizada para melhorar o contraste nas imagens em composição colorida, foi a transformação IHS, que consiste na “conversão de cores do espaço RGB (o brilho das bandas individuais do vermelho, verde e azul em determinados comprimentos de onda) para o espaço I (intensity) H (hue) S (saturation), ou seja, intensidade, matiz e saturação” (NOVO, 2008, p. 283).

A intensidade é a responsável pela sensação de brilho contida na imagem incidente no olho; a matiz é a responsável por definir a cor do objeto (SPRING , 2010); e a saturação representa o “intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida. Um alto valor de saturação resulta em uma cor espectralmente pura, ao passo que um baixo valor indica uma mistura de comprimentos de onda, produzindo tons pastéis (apagados)” (SPRING, 2010).

Além disso, os três parâmetros podem ser analisados separadamente o que permite um melhor ajuste das cores (SPRING, 2010). É a menor correlação entre as bandas na composição colorida, que permite o melhor aproveitamento das cores, sendo um dos benefícios da aplicação da transformação IHS.

O procedimento de transformação IHS realizado neste trabalho foi aplicado em imagens CBERS, conforme as seguintes etapas, no *software SPRING 4.3.3.: transformação IHS-RGB* → selecionou-se a categoria e os planos de informação a serem modificados → a opção RGB>IHS foi ativada na opção transformação → nos planos de entrada para o R (*red*) optou-se pela banda 4 das imagens selecionadas, para o G (*green*) foi inserida a banda 3, e para o B (*blue*) inseriu-se a banda 2. Essa escolha foi baseada nas características espectrais de cada banda, associado às respostas espectrais esperadas com a transformação IHS.

Após a obtenção das bandas em IHS, foi, novamente realizado procedimentos de contraste por “Ampliação Linear” nas bandas I e S precedido pela aplicação do procedimento

de operações aritméticas. Por fim, realizou-se o procedimento inverso de transformação das bandas IHS de retorno para o espaço RGB.

6.2.2.5. Procedimentos de Filtragem

As imagens de Sensoriamento Remoto normalmente são compostas por misturas de frequências que dificultam a interpretação das feições com frequências específicas. Para melhorar a aparência da distribuição espacial das feições para a interpretação manual é necessário a aplicação da técnica de filtragem (CRÓSTA, 1992).

As técnicas de filtragem são transformações da imagem pixel a pixel, que não dependem apenas do nível de cinza de um determinado pixel, mas também do valor dos níveis de cinza dos pixels vizinhos. O processo de filtragem é feito utilizando matrizes denominadas máscaras, as quais são aplicadas sobre a imagem (SPRING, 2010).

Para a aplicação de uma filtragem espacial, deve ser escolhida uma matriz de dimensão $n \times n$ com valores característicos do filtro que se quer usar (ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2002). Os filtros podem ser classificados como: filtro passa baixa (filtra as altas frequências), passa banda (filtra ruídos de uma região específica de frequências espaciais) e passa alta (filtra as baixas frequências).

No caso deste trabalho, foi utilizado um filtro isotrópico (filtro textural), disponível no software SPRING 4.3.3 com máscara 7x7. Para tanto, os seguintes passos foram realizados neste aplicativo: Imagem → Filtragem → no item filtragem selecionou-se a opção linear e nos filtros lineares a opção máscara → selecionar ... → na janela aberta inseriu-se a dimensão X: 7 e a Y: 7 → ativou-se a opção criar e na nova janela aberta (editar máscara) foram inseridos os valores da máscara conforme Indicado na figura 3:

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-2	0	0	0
0	0	1	-2	1	0	0
0	-2	-2	20	-2	-2	0
0	0	1	-2	1	0	0
0	0	0	-2	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Figura 3: Valores adotados para a máscara 7x7 de filtragem

É necessário salientar que quanto menor o valor central da máscara o resultado obtido será uma imagem com maior percepção de textura. No caso deste trabalho foi adotado o valor 20, depois de testes realizados.

6.2.2.4. Geração do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI)

Para a realização da classificação da estimativa do vigor de fitomassa da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro, foram elaborados os mapas base tratados a partir do procedimento de geração do índice de vegetação normalizada (NDVI).

Para a confecção destes mapas, as seguintes etapas foram seguidas:

a) a partir das imagens orbitais de 23/09/2008 e 19/04/2009 já recortadas e tratadas com os procedimentos de contraste, foi ativado o comando operações aritméticas do menu Imagem;

b) na janela aberta, selecionou a operação $C = \text{Ganho} * ((A - B) / (A + B)) + \text{Offset}$, que corresponde à operação do NDVI;

c) selecionou-se o plano de informação da banda 4 com contraste para o “A”, e o plano de informação da banda 3 com contraste para o “B”;

d) para a opção ganho e offset, depois de testes, optou-se pelo valor 50 para o ganho e o valor 50 para o offset, sendo assim, gerada a base contendo o NDVI.

6.2.3. Fase de processamento digital das imagens de Sensoriamento Remoto

6.2.3.1. Etapa de segmentação das imagens

O procedimento de segmentação das imagens foi adotado com a intenção de facilitar as classificações realizadas no trabalho, através da divisão da área de estudo em regiões com valores de *pixels* semelhantes.

A segmentação consiste em um procedimento de divisão da “imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de ‘pixels’ contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade” (SPRING, 2010). Essa divisão pode ocorrer por crescimento de regiões, por detecção de bordas ou detecção de bacias.

O procedimento de segmentação é baseado em dois valores de limiares, a similaridade e a área mínima dos *pixels*. A similaridade “define a diferença mínima entre o valor de um *pixel* e o valor médio da região contígua a ele, para que este *pixel* possa ser agrupado a esta região” (BARBOSA *et. al*, 2000, p.5). Já a área mínima, define o menor tamanho de região

permitida pelo usuário, ou seja, não haverá regiões com área em pixel menor do que o valor definido pelo usuário (BARBOSA *et. al*, 2000, p.5).

No presente trabalho utilizou-se a técnica de crescimento de regiões, em que somente as regiões espacialmente adjacentes podem ser agrupadas (SPRING, 2010). Para tanto, foram realizados diversos testes para a verificação da segmentação adequada para o estudo. De forma que as imagens foram segmentadas com as respectivas similaridades e áreas: 5 e 30; 10 e 50; 15 e 45; 20 e 30; 20 e 10; 20 e 50; e 30 e 60.

6.2.3.2. Etapa de classificação das imagens

O procedimento de classificação das imagens orbitais foi precedido de testes com o classificador “*Isoseg*” disponível no ambiente do *software* **SPRING** e com o classificador supervisionado “*Minimum Distance*” disponível no *software* **ENVI** (recomendados para o mapeamento de vegetação) As classes selecionadas foram: cana-de-açúcar; pasto; área urbana; citricultura; vegetação nativa arborea; corpos d’água e solo exposto.

No entanto, como o objetivo da pesquisa foi apenas delimitar e caracterizar as áreas ocupadas pela cultura de cana-de-açúcar, optou-se através da segmentação para a imagem de 23/09/2008 e de 19/04/2008, classificar a imagens manualmente, já que a utilização dos classificadores automáticos resultam em erros. Os ajustes desses erros implicam em tarefa que necessita de muito tempo.

Para a identificação das áreas cultivadas com cana-de-açúcar por meio da análise interpretativa convencional de imagens, foram considerados os seguintes elementos propostos por Jensen (2009):

- Tom e cor: determinados alvos, como a vegetação, refletem diferentes quantidades de energia de acordo com a região do espectro eletromagnético;

- Forma: refere-se às características geométricas do alvo. No caso da cana-de açúcar é comum que as glebas apareçam de forma retangular em muitos casos associados aos carreadores, que definem os polígonos das glebas cultivadas.

- Textura: dependendo do estágio fenológico que se encontra a cana e a geometria do dossel resultante, pode apresentar na imagem variações de registro de níveis de cinza, que pode se associar, por exemplo, a uma textura lisa, quando está com o solo sendo preparado para o plantio; ou uma textura rugosa quando se encontra em estágios de crescimento mais avançado;

- Padrão: pode ser definido como o “arranjo espacial dos objetos na paisagem” (JENSEN, 2009, p. 141). No caso da cana-de-açúcar, o padrão sistemático e a formação de

caminhos (para o acesso) entre as glebas constituem elementos que auxiliam na caracterização da classe e seu mapeamento.

- **Altura:** a altura e a profundidade são elementos passíveis de interpretação monoscópica que revelam características essenciais para a interpretação correta dos estágios da cana-de-áçúcar. A sombra e a profundidade, por exemplo, foram elementos que quando presentes indicavam o estágio adulto da cultura.

Desta forma, os elementos de análise de imagens utilizados na interpretação convencional dos alvos se deu com base nos padrões apresentados na figura 4 (imagens em composição colorida falsa cor), e na comparação com outras imagens do satélite CBERS 2B e LANDSAT 5 em vários períodos fenológicos.

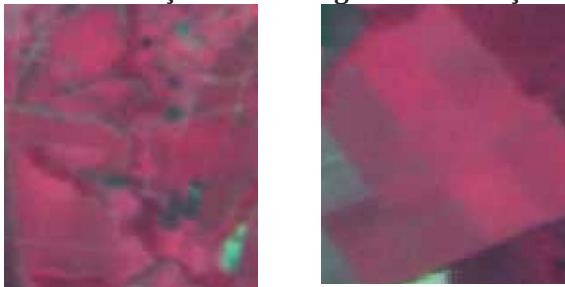
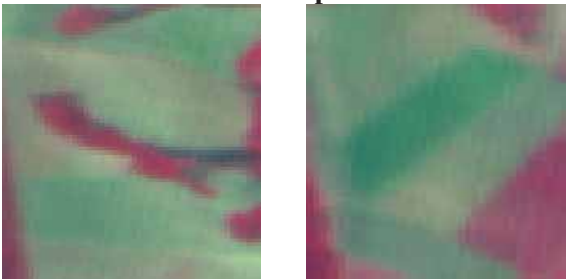
Alvos selecionados		Características
Cana-de-açúcar em estágio de maturação		
		- Cana densa, alta e aveludada; - Textura homogênea; - Formato geométrico estabelecido; - Presença de corredores entre a cultura; - Cor avermelhada.
Cana-de-açúcar no início de desenvolvimento		
		- Cana com o porte baixo e pouco aveludada; - Textura heterogênea - Formato geométrico estabelecido; - Presença de corredores entre a cultura; - Cor rosa.
Solo Exposto		
		- Textura homogênea; - Quando indicativo de solo preparado para o plantio de cana possui formato geométrico; - Representado em cores esverdeadas.

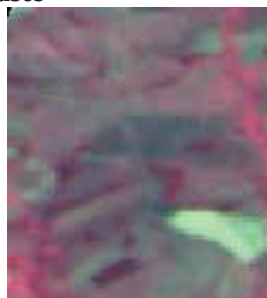
Figura 4: Padrões na imagem utilizados para a interpretação dos alvos

Solo Exposto com palhiço


- Pouco aveludado;
- Textura homogênea e pixel com aparência estourada;
- Formato geométrico estabelecida;
- Representado em cores esbranquiçadas.

Arbórea


- Porte alto e muito aveludado (alta rugosidade);
- Textura Homogênea;
- Formato geométrico irregular;
- Cor vermelha-escura.

Pasto


- Vegetação de porte rasteiro;
- Textura heterogênea e com manchas;
- Formato geométrico irregular;
- Representado em cores vermelho-arroxeadas.

Continuação Figura 4: Padrões na imagem utilizados para a interpretação dos alvos

Além disso, os padrões de interpretação convencional das imagens de satélite, para os períodos representativos da cultura de cana-de-açúcar, variam de acordo com fatores de ordem agrônômica e meteorológica - principalmente precipitação (DUARTE, 1984) e também de acordo com o período fenológico investigado.

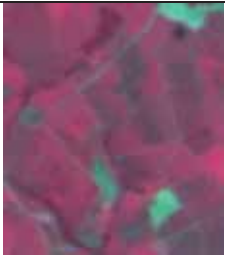
Neste sentido, dados pluviométricos da estação meteorológica da UNESP – Campus Rio Claro foram analisados a fim de que os padrões de interpretação das imagens pudessem ser associados com os dados pluviométricos.

Através da análise dos dados de 2008/2009 observou-se que os meses que antecedem o mês de março (representativo da imagem de 19/04/2009) foram bastante chuvosos. Ao contrário, os meses que antecederam o mês de setembro (representativo da imagem de 23/09/08) apresentaram baixos níveis de precipitação (ANEXO 1).

A precipitação, também responsável pela resposta espectral da vegetação, nestes períodos selecionados, devido aos aspectos descritos acima, não foram capazes de mudar

as características espectrais habituais da cultura da cana-de-açúcar. Já que o vigor de fitomassa apresentado na imagem do mês de março foi bastante superior ao apresentado no mês de setembro, que foi antecedido por meses mais secos.

Para a utilização da metodologia de interpretação dos alvos imageados nos dois cenários analisados também levou-se em consideração que, na imagem de 19/04/2009 a maior parte da cana se apresentava em estágio de crescimento ou adulta, e nas imagens do dia 23/09/2008, ao contrário, o uso da terra, nesta área, apresentava em sua maior parte o solo sendo preparado para o plantio (solo exposto) visualizado pelos tons de verde da imagem em falsa-cor, e a cana em seu período inicial de crescimento, visualizada pelos tons rosas mesclados ao verde na imagem falsa-cor na figura 5. Além disso, pode-se visualizar a maior incidência do vigor de fitomassa nas imagens de 19/04/2009, devido ao fator precipitação, acima elucidado; elementos esses que representam a característica da refletância espectral dos alvos interpretados.

19/04/2009	23/09/2008
	
	
	
	

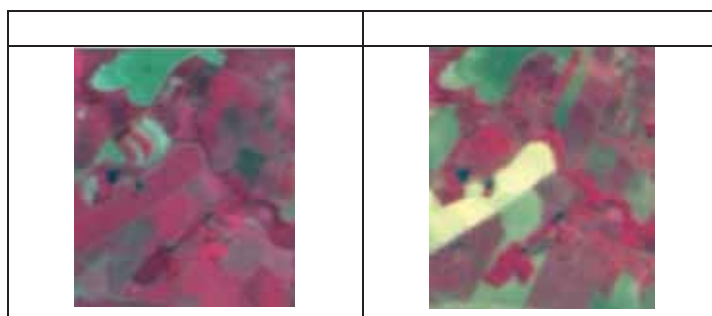


Figura 5: Comparação visual dos índices do vigor aparente de fitomassa e dos diferentes estágios de crescimento da cana-de-açúcar referente aos cenários de 19/04/2009 e 23/09/2008.

6.2.4. Fase de Geração dos produtos cartográficos temáticos

Com base em produtos gerados nas etapas anteriores, foram elaborados os mapas da distribuição da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro em 2008/2009; dos estágios fenológicos da cana-de-açúcar nas datas de 23/09/2008 e 19/04/2009; e de declividade e sua associação com as áreas aptas e inaptas (com restrições) para a mecanização agrícola.

Os procedimentos realizados para a elaboração dos mapas de distribuição e dos estágios da cana-de-açúcar estão descritos nas etapas anteriores, enquanto os procedimentos adotados para a elaboração do mapa de declividade consistiu na adequação da base cartográfica disponível no Atlas digital da bacia do rio Corumbataí. Os layers contidos na base foram ajustados para o formato ‘*shapefile*’ para o software ArcGis, para a aplicação do recorte do limite municipal de Rio Claro.

Após a inserção das curvas de nível, no ambiente ArcGIS 9.3, foi criada uma malha triangular irregular (*TIN*) que consiste em uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo arco-nó que representa uma superfície por meio de um conjunto de faces triangulares irregulares interligadas (CAMARA; MONTEIRO, 2001). Essa malha foi criada através da ferramenta *3D analyst tools* → *Create/ modify TIN* → *Create Tin from features*.

Através da grade *TIN* foi possível obter o mapa de classes de declividade representativa da área. E para tanto, com o layer *TIN* ativado, utilizou-se a ferramenta *3D analyst tools* → e em seguida em *Surface analysis* → *Slope*, o mapa de declividade foi obtido.

Para a inserção das classes e das cores adequadas para o mapa selecionou-se a ferramenta *properties*. As classes adotadas se basearam na proposta de Ross (1994) com ajustes: até 6% (declividade muito baixa); de 6 a 12% (declividade baixa); de 12 a 20% (declividade média); de 20 a 30% (declividade média-alta); e acima de 30% (declividade alta).

Por sua vez, a representação do vigor de fitomassa da vegetação no município de Rio Claro foi definida através de procedimentos conforme indicados a seguir:

- 1) Teste e seleção do segmentador adequado para a classificação das imagens;
- 2) Segmentação das imagens NDVI, utilizando o limiar de similaridade 5 e área dos pixels 30, nos cenários de 23/09/08 e 19/04/09;
- 3) Aplicação do classificador *ISOSEG*, para a classificação de acordo com os níveis contidos nas imagens NDVI;
- 4) Classificação utilizada de acordo com as respectivas classes de vigor de fitomassa: nulo (vigor de fitomassa inexpressivo); fraco (baixo vigor de fitomassa na vegetação); médio; forte (alto vigor de fitomassa); e muito forte.

6.2.5. Metodologia para a realização do trabalho de verificação de campo

A metodologia adotada para a realização do trabalho de verificação de campo foi baseada na estimativa da exatidão da classificação de mapas temáticos proposto por Valeriano (1985). Esse autor, levando em consideração as experiências de Ginevan (1979) e Van Genderen et. al. (1978), utilizou uma abordagem fundamentada estatisticamente para a análise do mapeamento da cobertura vegetal da terra, aplicável em qualquer situação contextual. Seu objetivo foi “avaliar a exatidão dos resultados obtidos com o mapeamento realizado através da classificação dos alvos e possibilitar a comparação dos resultados por técnicas diversas”, além de fornecer dados de qualidade ao usuário do mapa, uma vez que o mesmo considera que “a aceitação por parte dos usuários dos produtos derivados de interpretação de dados de sensoriamento remoto é função da relação custo/benefício, quando comparada a mesma relação obtida por outras técnicas, e da exatidão dos resultados” (p. 33).

Adotando os critérios propostos por Ginevan (1979) para estabelecer o tamanho da amostra, cuja intenção é proteger tanto os usuários quanto o produtor do mapa e os riscos desnecessários com gastos em trabalho de campo, Valeriano (1985) indica a Amostragem por Nível de Aceitação como uma abordagem eficiente para a verificação estatística para a aceitação do mapeamento.

Neste sentido, de acordo com Ginevan (1979, apud VALERIANO, 1985) uma amostragem de qualidade para a verificação de um produto cartográfico deve:

- ter baixa probabilidade de aceitar um mapa com baixa qualidade;
- ter alta probabilidade de aceitar um mapa de alta qualidade;
- requerer um número mínimo n de amostras para a verificação (p.43).

E com a utilização da amostragem por Nível de Aceitação esses requisitos podem ser supridos, pois seu objetivo é “estabelecer um tamanho da amostra que minimize o risco de o

usuário receber um mapa abaixo das especificações e o risco de o produtor ter que reavaliar um mapa que, apesar de satisfazer as condições estabelecidas, não foi aprovado no teste” (VALERIANO, 1985, p. 41). No primeiro caso, denomina-se risco do consumidor, e no segundo risco do produtor. Para compreensão detalhada deste método e dos cálculos a serem utilizados recomenda-se a leitura de Valeriano (1985).

Adotando o método de Ginevan (1979), no que diz respeito ao tamanho da amostra, Valeriano (1985) constata na verificação da exatidão do seu mapeamento de áreas costeiras que “o comportamento das médias obtidas através de amostras de tamanhos crescentes permite observar uma tendência central no valor da estatística” (VALERIANO, 1985, p. 59). A tabela 1 indica esse fato, e revela que “a partir de $n=30$ há uma convergência da proporção de acertos em torno de $p=0,74$ ” (VALERIANO, 1985, p. 59).

Tamanho da amostra	Proporção de pontos erroneamente classificados
10	0,33
20	0,35
30	0,27
40	0,27
50	0,28
60	0,27
70	0,26
80	0,25
90	0,24
100	0,26
110	0,26
120	0,24
130	0,26
140	0,27

Fonte: VALERIANO, 1985, p. 59

Tabela 1: Proporção de pontos erroneamente classificados observados a acréscimos de 10 ao tamanho da amostra

Na metodologia adotada para a realização do trabalho de campo, para a obtenção da exatidão do mapeamento e da classificação da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro, também levou-se em consideração os critérios propostos por Genderen J. L. Van (1977), onde a validação por meio da especificação da precisão do produto gerado por imagens de sensoriamento remoto é o elemento decisivo para a aceitação destes produtos por parte dos usuários.

Para esse autor alguns aspectos principais devem ser considerados para a realização de uma amostragem representativa do fenômeno em análise, dentre elas:

- A frequência que um tipo de uso da terra é erroneamente atribuído à outra classe;

- A frequência com que o intérprete classifica determinado uso da terra, que observado no terreno representa outra classe temática;
- A proporção de toda a paisagem erroneamente classificada;
- A verificação da aleatoriedade dos erros distribuídos pelas classes ou das tendências.

Além destes aspectos, Genderen (1977) ressalta que o tamanho operacional da amostra para cada categoria de uso da terra necessário para 85% de precisão na verificação da interpretação devia ser pelo menos 20. Para 90% de precisão, pelo menos 30 pontos, e assim por diante.

De posse de tais preceitos, a escolha dos pontos amostrais dessa pesquisa ocorreu através do método aleatório estratificado. Para tanto, foi construída uma malha regular de 1x1cm no mapa (figura 06), que posteriormente foi numerada, sobre toda a superfície da área do município de Rio Claro. Foi feito um sorteio onde foram selecionados 30 pontos amostrais das áreas plantadas por cana-de-açúcar.

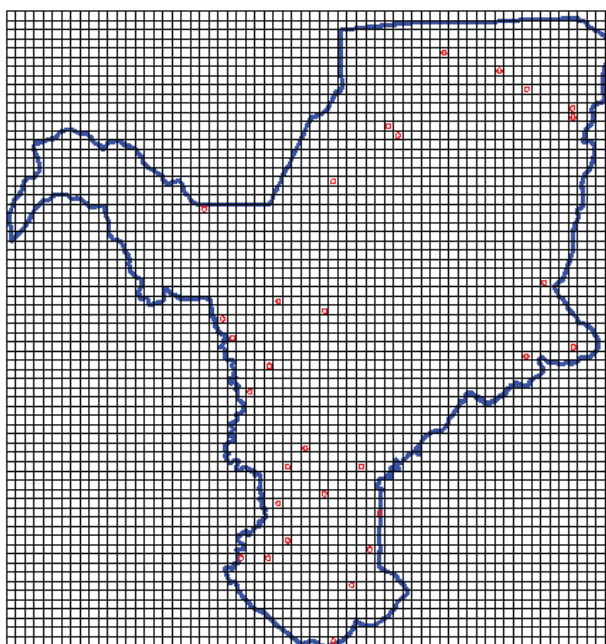


Figura 6: Malha regular com os 30 pontos sorteados

A escolha do número da amostragem; $n=30$ foi feita com base na bibliografia de Van Genderen (1977) e de Valeriano (1985). Este último, utilizando-se dos ensinamentos de Ginevan (1979), como já referido acima, utiliza o método de Amostragem por Nível de Aceitação, que também foi utilizado neste trabalho, onde conforme a tabela 2, para:

n	Xc	α	Valores de β para		
			Pp= 0,90	Pp= 0,95	Pp= 0,99
30	1	0,0480	0,8163	0,4465	0,0361
31	1	0,0420	0,8304	0,4634	0,0384
32	1	0,0366	0,8436	0,4800	0,0407
33	1	0,0320	0,8558	0,4964	0,0430
34	1	0,0279	0,8671	0,5123	0,0454
35	1	0,0243	0,8776	0,5280	0,0479
36	1	0,0212	0,8874	0,5433	0,0503
37	1	0,0184	0,8964	0,5582	0,0529
38	1	0,0160	0,9047	0,5728	0,0555
39	1	0,0139	0,9124	0,5871	0,0581
40	2	0,0486	0,7772	0,3233	0,0075
41	2	0,0431	0,7914	0,3371	0,0080
42	2	0,0382	0,8049	0,3510	0,0086
43	2	0,0339	0,8176	0,3648	0,0092
44	2	0,0300	0,8296	0,3786	0,0098
45	2	0,0265	0,8410	0,3923	0,0104
46	2	0,0234	0,8516	0,4060	0,0110
47	2	0,0207	0,8617	0,4195	0,0117
48	2	0,0183	0,8711	0,4330	0,0124

Fonte: GINEVAN, 1979, apud, VALERIANO, 1985.

Tabela 2: Valores de Xc associados a $n \in [30,50]$ para $\alpha < 0,05$ e $P_u = 0,85$ e valores correspondentes de β para $P_p = 0,90; 0,95$ e $0,99$.

- $n=30$
- P_u (valor de exatidão mínima do mapeamento) = 0,85%;
- P_p (valor de exatidão do mapeamento) = 0,90%;
- R_u (ou α ; valor do risco do consumidor receber um mapa abaixo das especificações) = 0,05%;
- R_p (risco do produtor ter que reavaliar o mapa) = 0,8163%
- X_c (ponto erroneamente classificado) = 1

Desta forma, com a adoção de $n=30$, a exatidão mínima do mapeamento é de 0,85% e o risco do consumidor receber um mapa abaixo das especificações é menor do que 0,05%, fatores que caracterizam a qualidade do mapeamento.

Para a realização da verificação de campo foram selecionados pontos com distribuição conforme indicado na figura 7. Para auxiliar o acesso à esses pontos, foram utilizadas imagens ALOS (2008), imagens do Google Earth, bem como GPS.

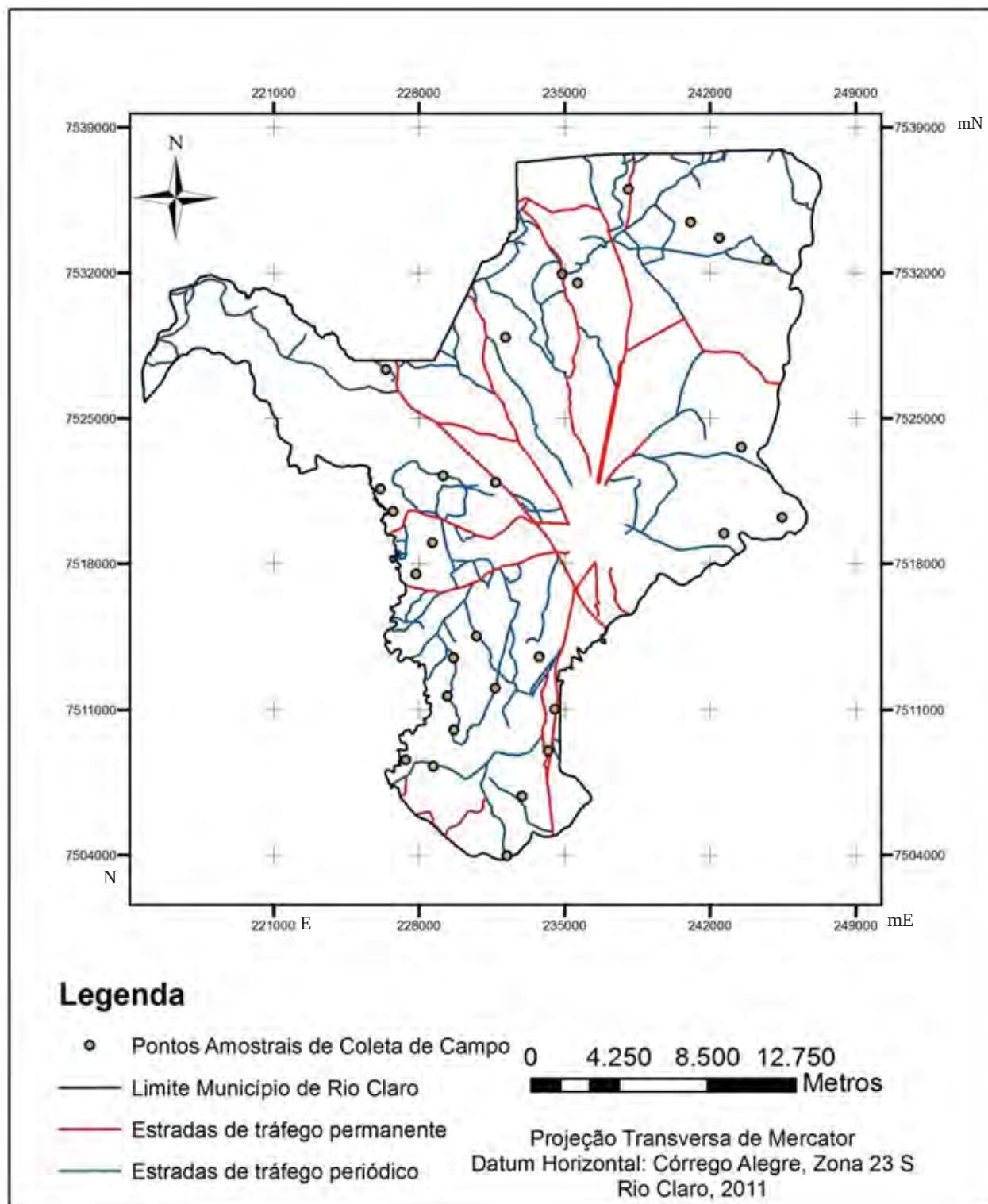


Figura 7: Localização dos pontos amostrais e vias de acesso

6.2.6. Fase de análise dos dados e produtos gerados

A partir da aquisição de dados e produtos gerados, foram realizadas análises em conformidade com os objetivos propostos na pesquisa.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme os procedimentos adotados foram obtidos resultados que serão apresentados a seguir:

7.1. Produtos gerados pelo pré-processamento

- Realce de contraste, transformação IHS e filtragem

Os procedimentos de pré-processamento foram aplicados nas imagens referentes às passagens de 23/09/2008 e 19/04/2009, mas para a finalidade de ilustração, foram selecionadas apenas as imagens de 23/09/08, uma vez que os resultados obtidos com as imagens da outra passagem foram similares. Desta forma, a figura 8, representa a imagem orbital do dia 23/09/2008 apenas com a aplicação dos procedimentos de realce por ampliação linear de contraste, enquanto a figura 9 mostra o mesmo cenário com a aplicação da opção de transformação IHS, nas imagens preliminarmente realçadas. Nessa imagem pode-se notar uma sensível melhora de qualidade no brilho, na cor e no aumento da saturação, elementos que beneficiam a análise interpretativa dos alvos imageados. Por sua vez, a figura 10, que também ilustra o mesmo cenário, mostra o resultado obtido por meio da aplicação de procedimentos de contraste e filtragem espacial (filtro isotrópico), que resultou em sensível melhora na qualidade visual da imagem, principalmente, nos aspectos texturais, destacando os alvos nela contidos.

Dos resultados obtidos com a aplicação destes procedimentos, optou-se pela utilização das imagens que passaram pelo procedimento de filtragem, devido à melhor distinção dos alvos proporcionada pelo realce, suavização dos detalhes, e minimização dos ruídos. As imagens obtidas através do procedimento de contraste e de transformação IHS foram utilizadas para dar suporte à classificação dos alvos, quando estes se apresentaram menos contrastados nas imagens com filtragem espacial.

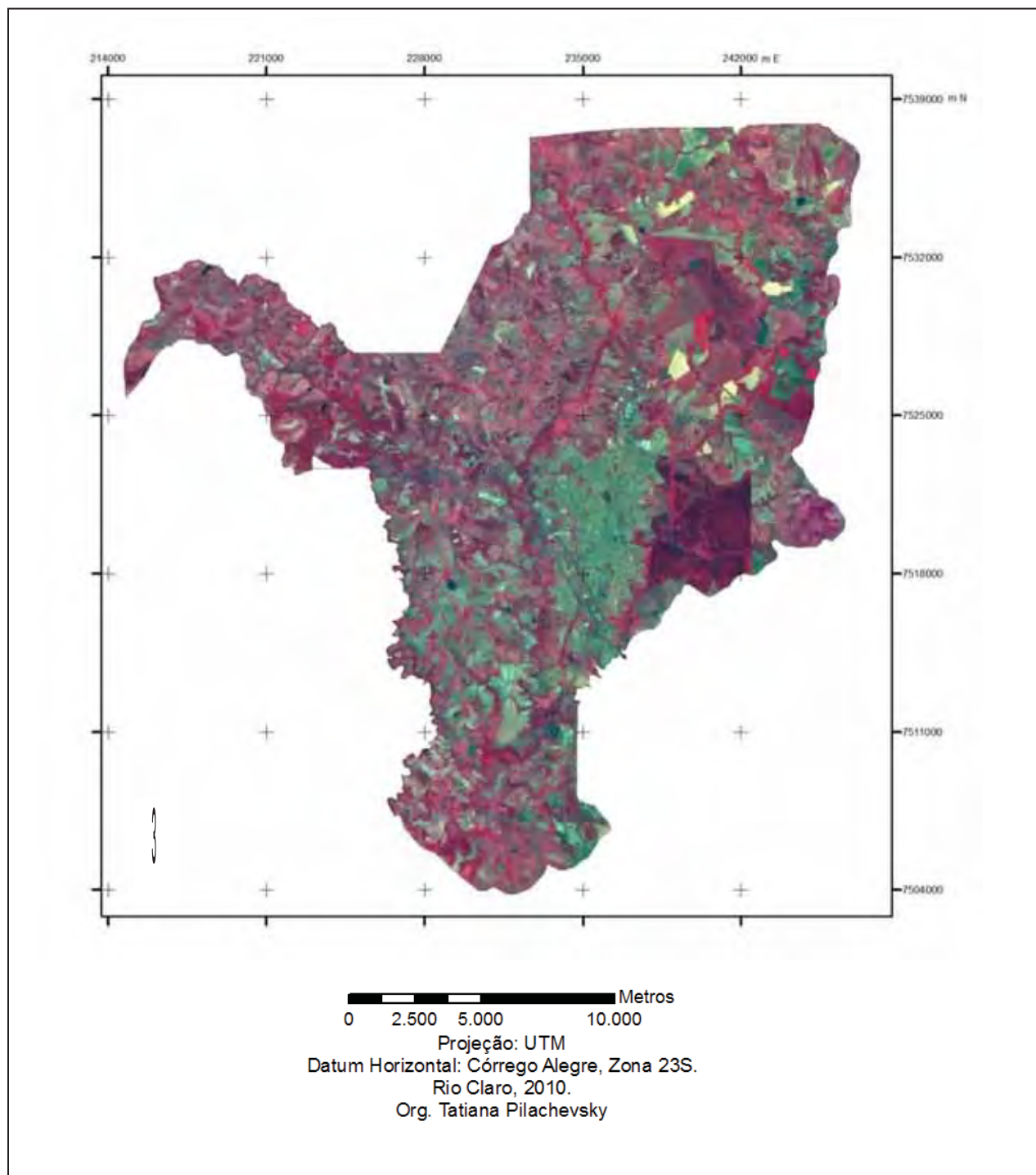


Figura 8: Imagem da passagem de 23/09/2008, com aplicação de procedimentos de realçamento por Ampliação Linear.

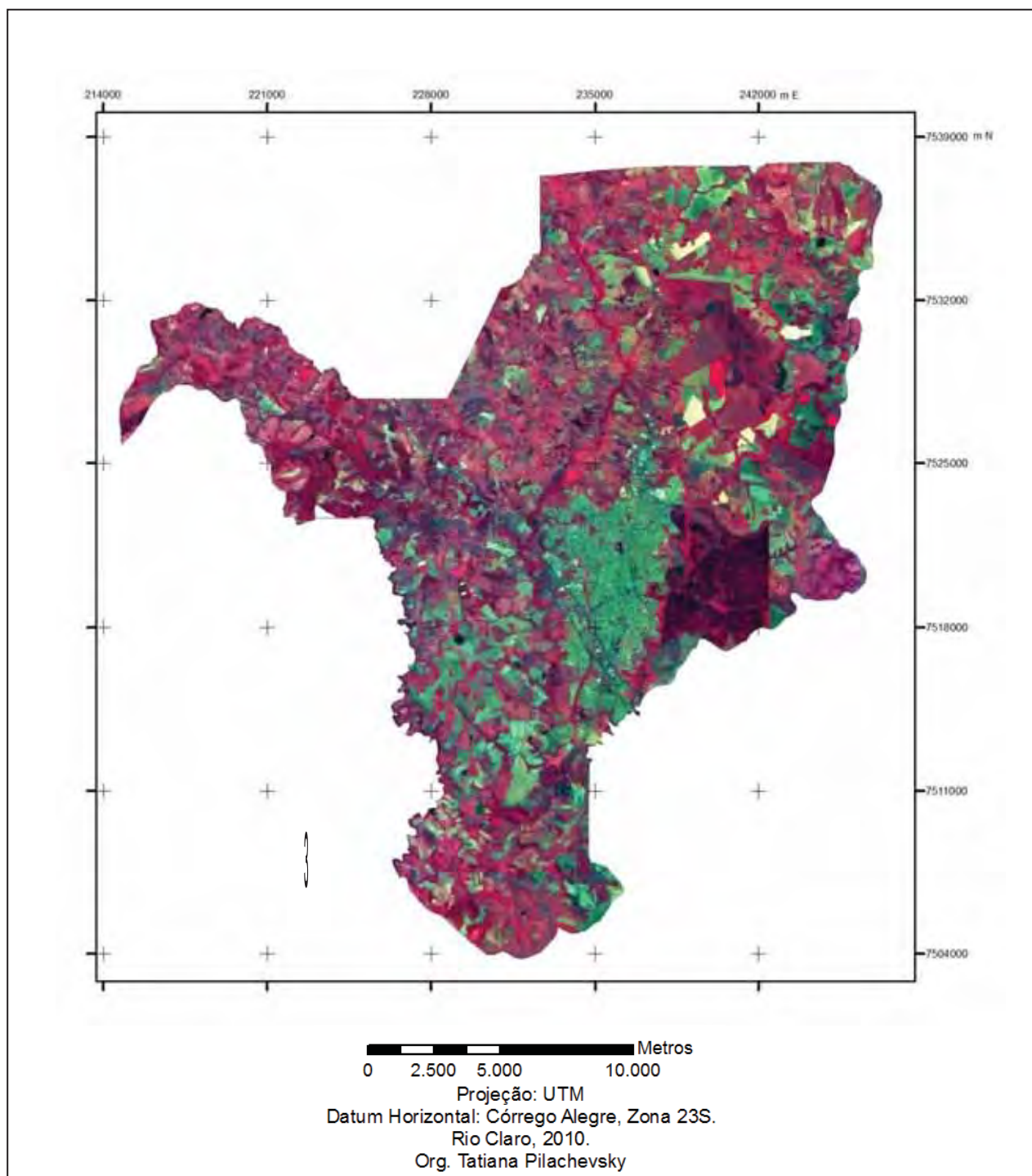


Figura 9: Imagem da passagem de 23/09/2008 submetida aos procedimentos de Transformação IHS.

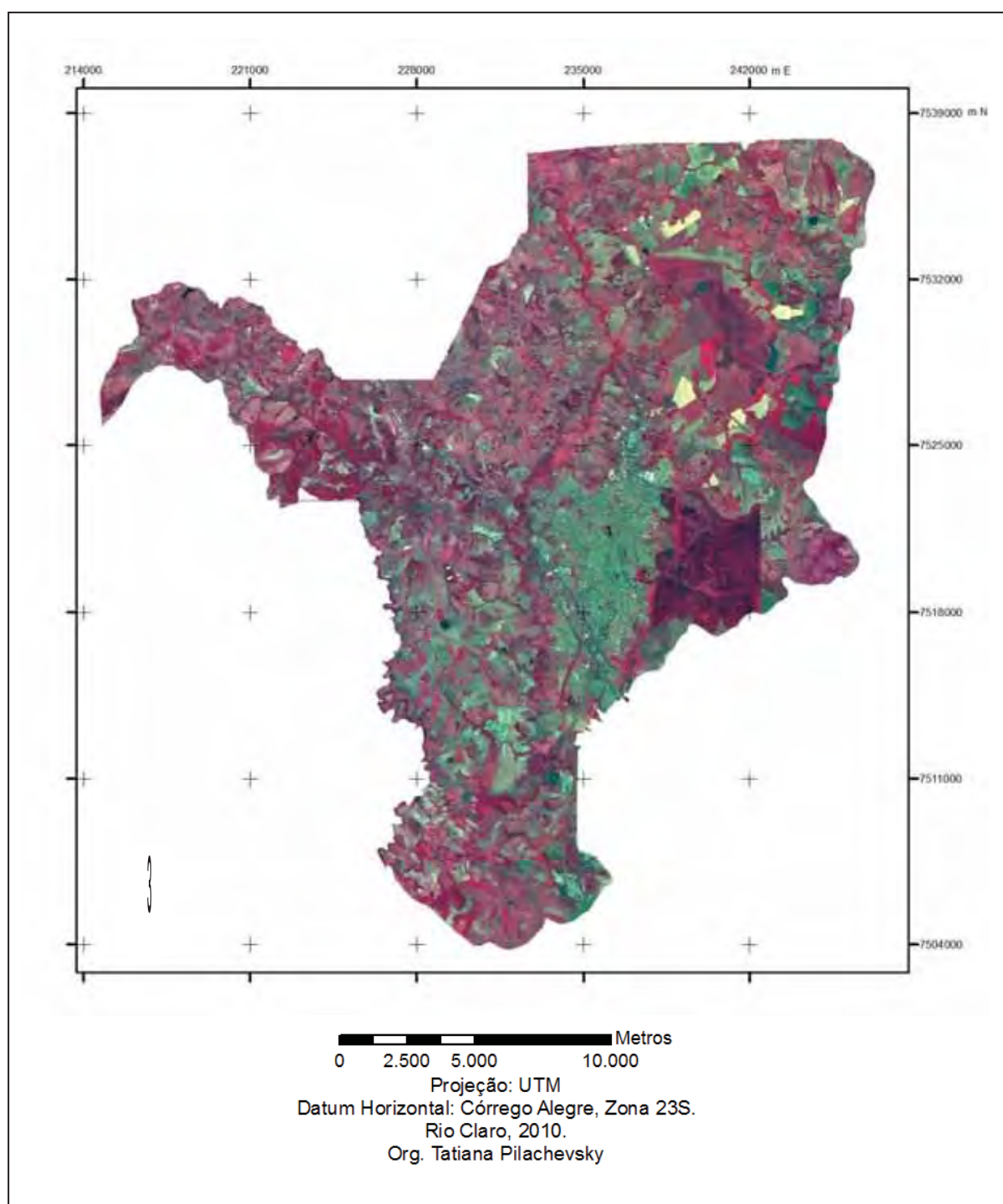


Figura 10: Imagem da passagem de 23/09/2008 com aplicação de procedimentos de Filtragem Espacial (filtro isotrópico).

- Normalização radiométrica

No que se refere aos resultados obtidos com a normalização radiométrica, eles podem ser visualizados através dos gráficos 1 e 2, nos quais nota-se significativa melhora da compatibilidade espectral da imagem normalizada (23/09/08) tendo como referência os valores médios dos alvos claros e escuros da imagem de 19/04/09. As figuras representativas dos resultados na imagem estão demonstradas no apêndice 2.

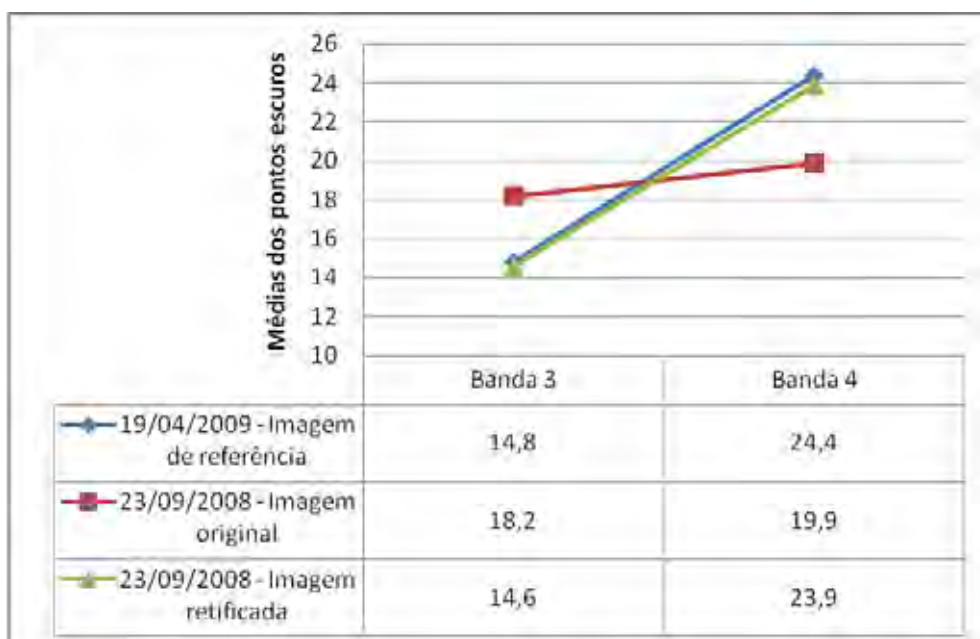


Gráfico 1: Curvas espectrais dos alvos escuros

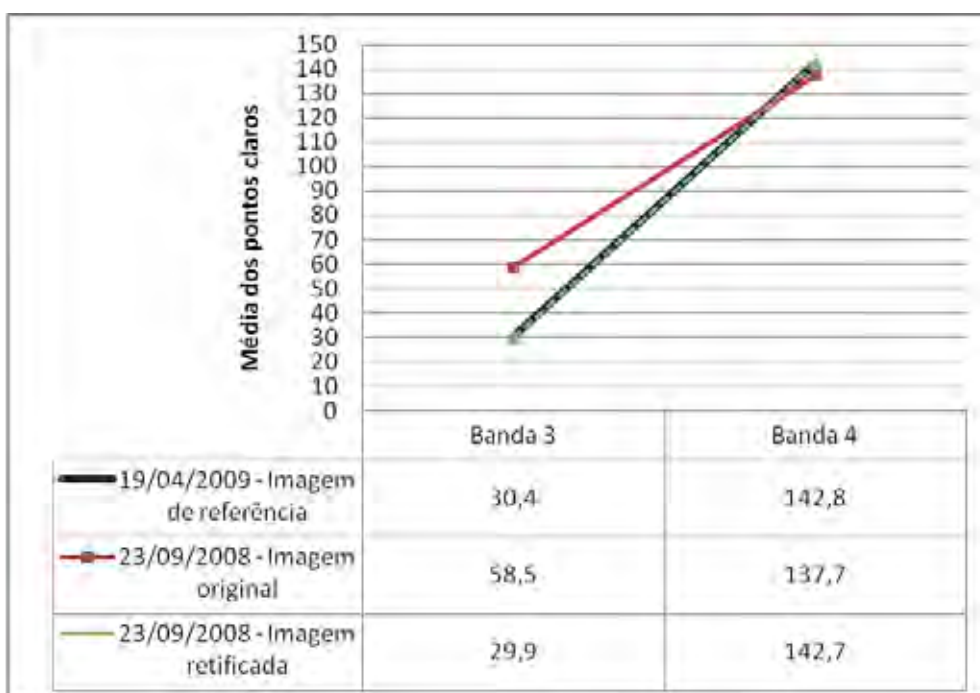


Gráfico 2: Curvas espectrais dos alvos claros

7.2. Resultados obtidos com a aplicação do Índice de Vegetação (NDVI)

Silva et al (2007) explicam que os índices de vegetação são métodos de processamento digital capaz de realçar a diferença de comportamento espectral dos alvos, principalmente nas bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. O resultado esperado dessa razão de bandas seria, assim, a vegetação apresentando tonalidades de nível de cinza mais claras; o solo tonalidades intermediárias; e a água tonalidades mais escuras.

Os resultados obtidos com a aplicação do NDVI nesse trabalho, em concordância com os autores supra-citados, podem ser visualizados através das figuras 11 e 12 que representam os mapas base obtidos com o NDVI. Na imagem 11, referente ao cenário de 23/09/2008, nota-se que o reflorestamento se apresenta em cores claras, a cana-de-açúcar em seu estágio adulto em tons intermediários e o solo exposto preparado para o plantio em tons mais escuros. Na imagem de 19/04/2009, como os fatores atmosféricos e outras características estavam atuando diferentemente das encontradas na imagem de 23/09, o realce entre os alvos ocorreu de forma menos representativa, como pode ser visto na figura 12.

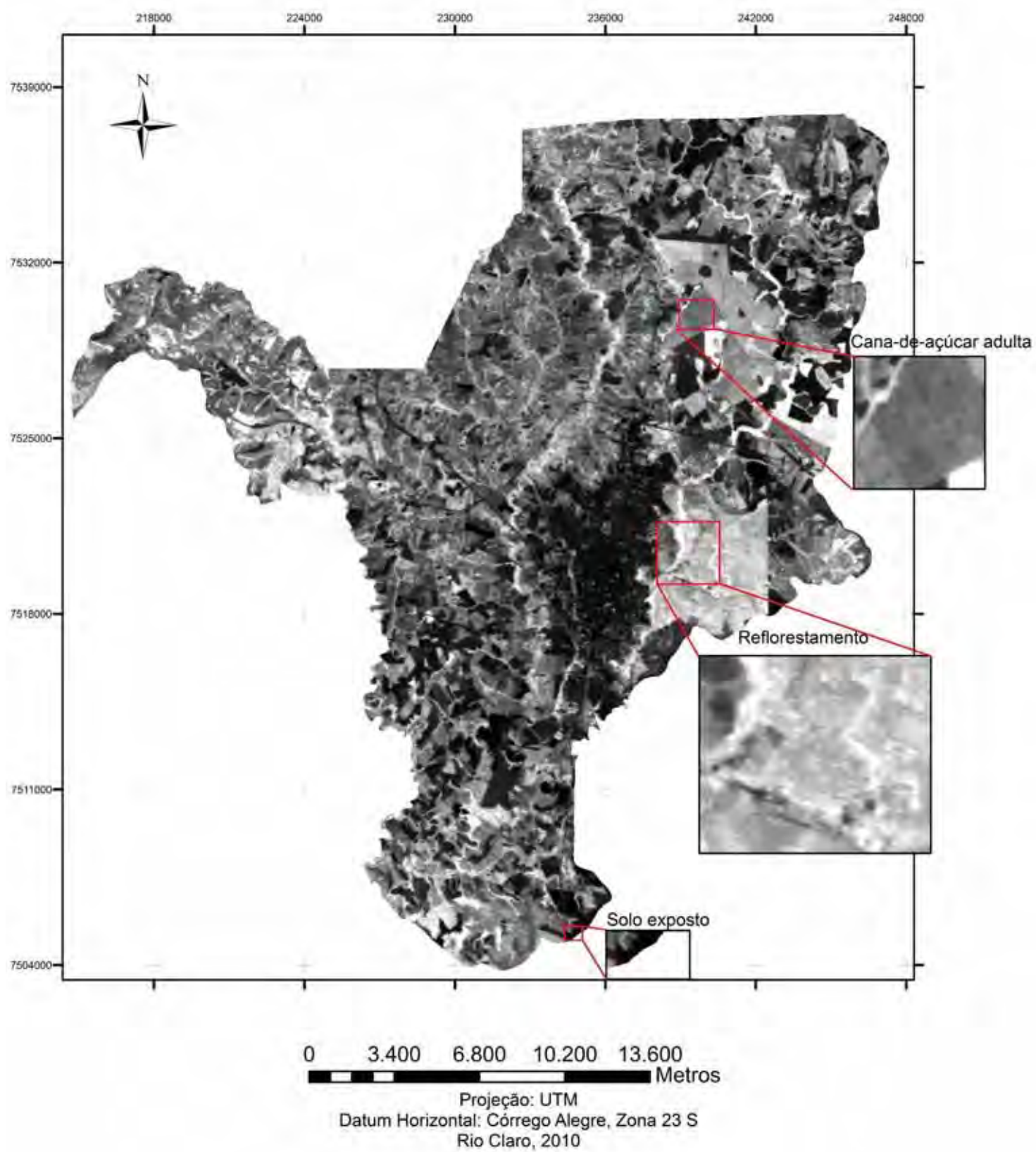


Figura 11: Imagem orbital de 23/09/2008 com a aplicação do NDVI

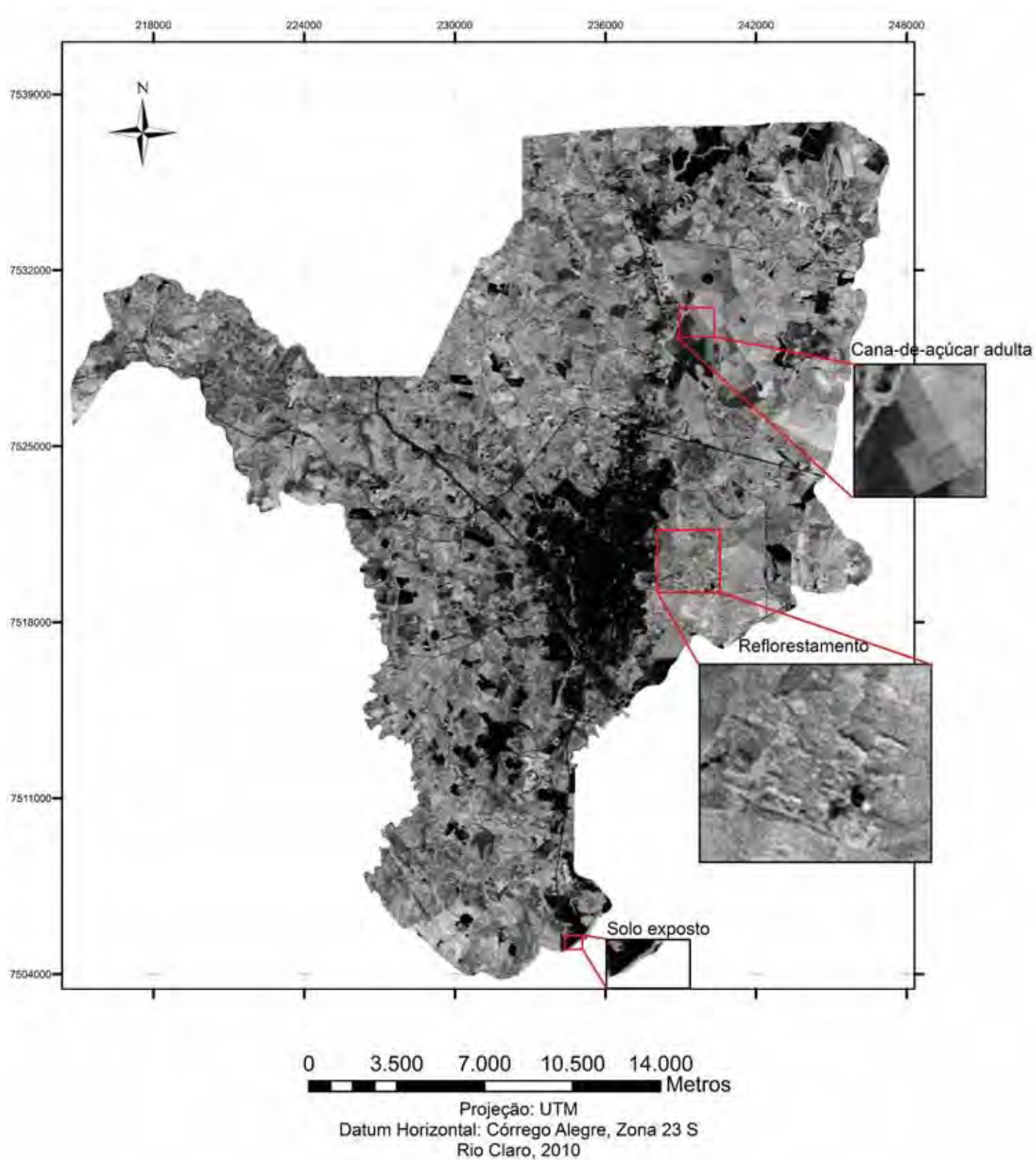


Figura 12: Imagem orbital de 19/04/2009 com a aplicação do NDVI

7.3. Produtos gerados com a aplicação de processamento de imagens

- Segmentação

Quanto aos resultados obtidos através da segmentação das imagens de 19/04/2009, eles podem ser visualizados através das amostras contidas na figura 13. A segmentação de mais detalhe (amostra “a” da figura 13) foi utilizada para a classificação dos alvos e também para a quantificação do índice de fitomassa.

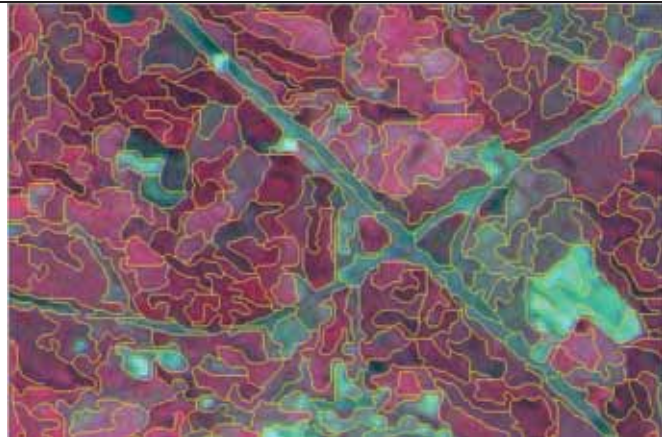
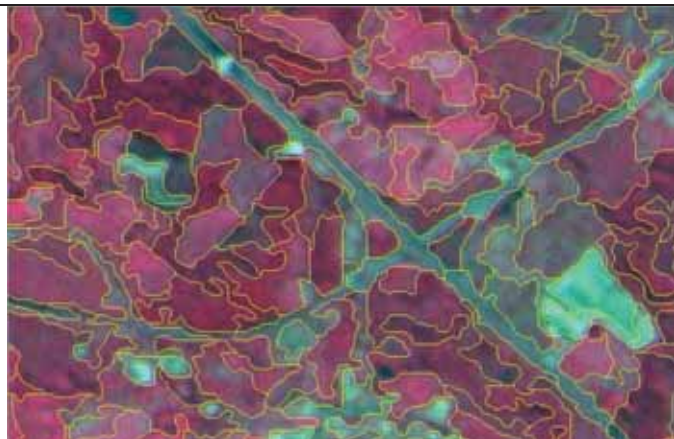
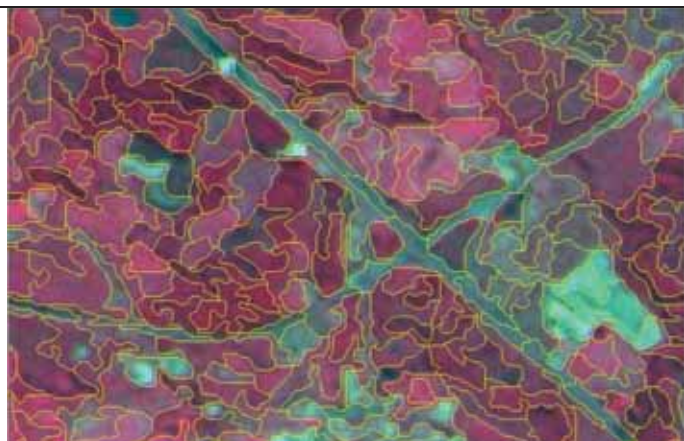
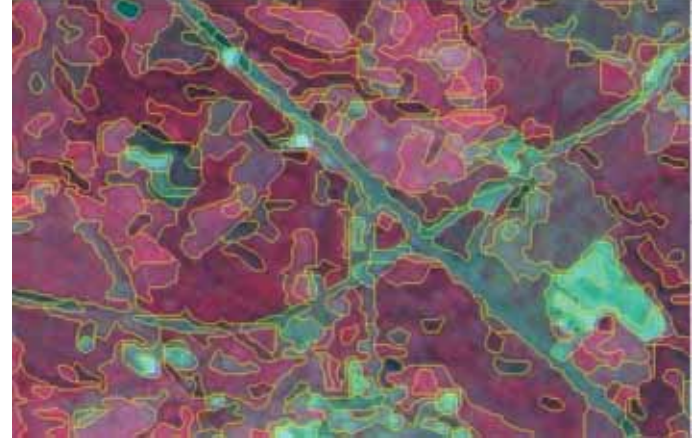
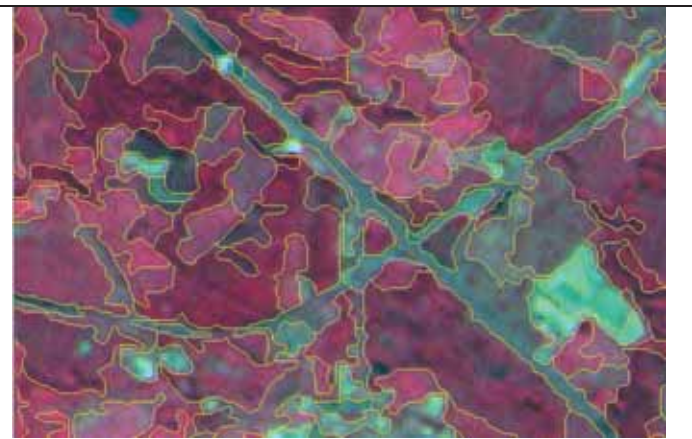
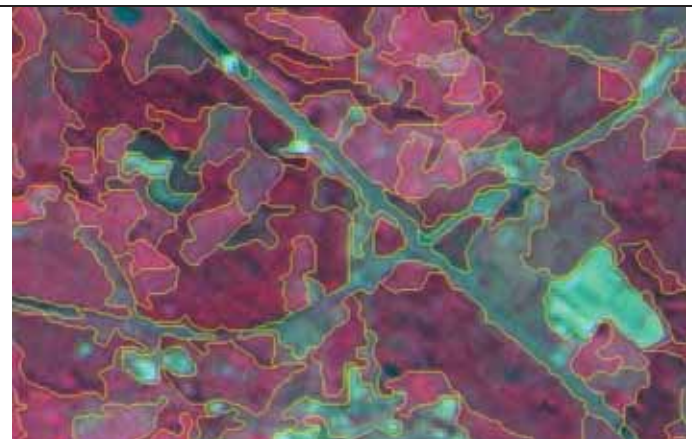
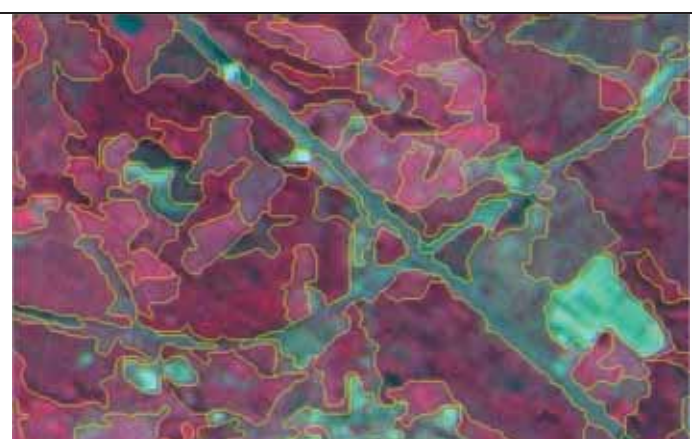
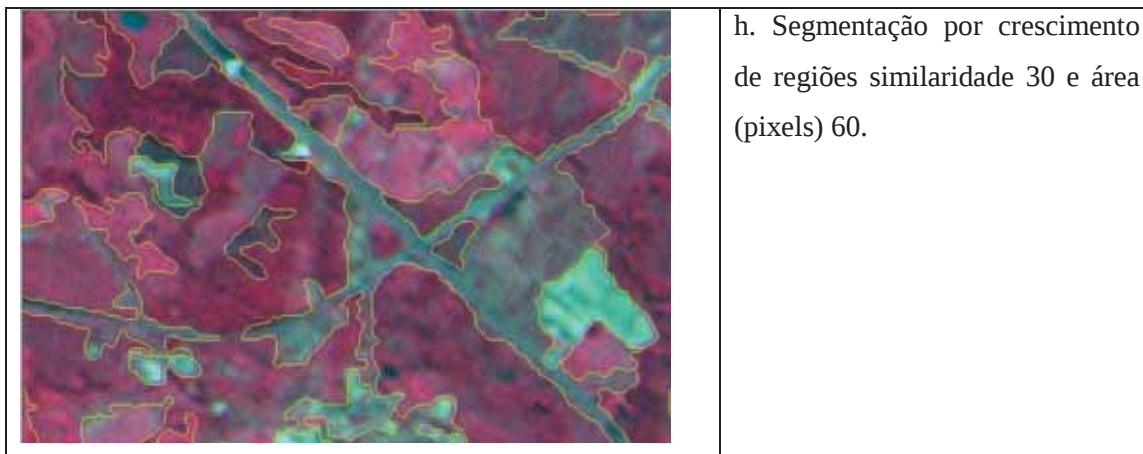
Amostra da área segmentada	Características da Segmentação
	a. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 5 e área (pixels) 30.
	b. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 10 e área (pixels) 50.
	c. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 15 e área (pixels) 45.

Figura 13: Amostras representativas do teste de segmentação com diferentes valores de similaridade e área para o cenário de 19/04/2009.

	d. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 20 e área (pixels) 10.
	e. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 20 e área (pixels) 30.
	f. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 20 e área (pixels) 45.
	g. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 20 e área (pixels) 50.

Continuação Figura 13: Amostras representativas do teste de segmentação com diferentes valores de similaridade e área para o cenário de 19/04/2009.



Continuação Figura 13: Amostras representativas do teste de segmentação com diferentes valores de similaridade e área para o cenário de 19/04/2009.

No caso da segmentação da passagem de 23/09/2008, as áreas destinadas ao plantio da cana-de-açúcar encontram-se no estágio de solo preparado, tendo-se a resposta espectral da superfície dos solos, portanto condicionando uma segmentação menos detalhada quando comparada com a situação de 19/04/2009.

Por conter muito solo exposto e a cana estar com níveis de cinza bem diferente do restante da vegetação, a segmentação com similaridade 15 e área 45 foi considerada mais adequada para a distinção dos alvos pela classificação. A segmentação de mais detalhe, representada pela amostra “a” da figura 14 foi utilizada para a distinção dos valores de nível de cinza para quantificar a biomassa existente na área.

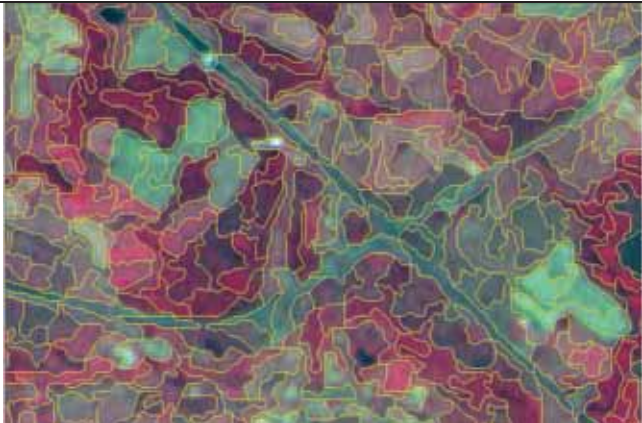
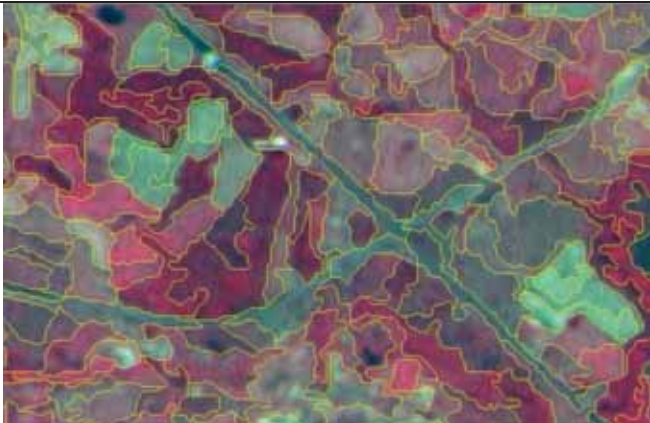
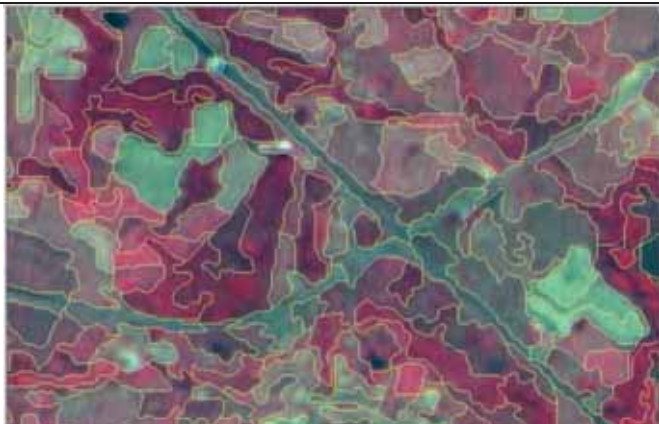
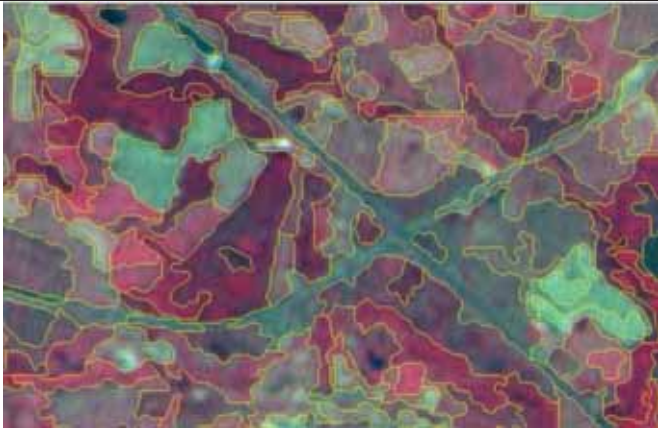
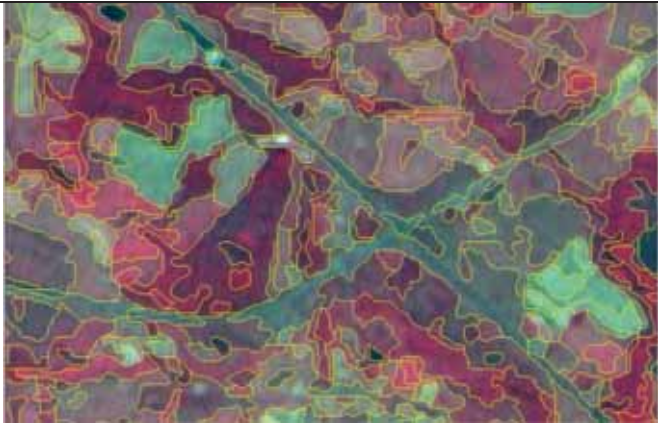
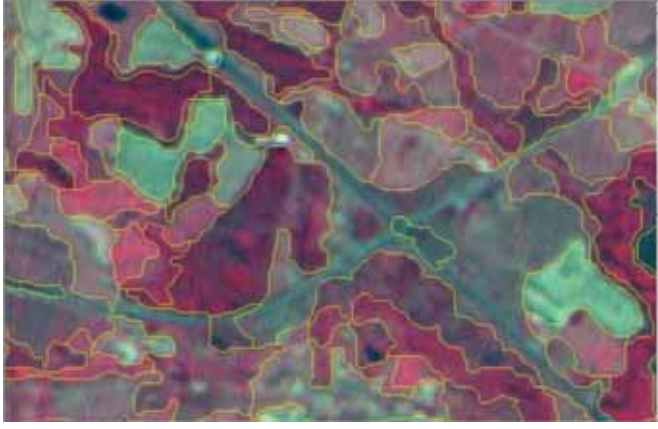
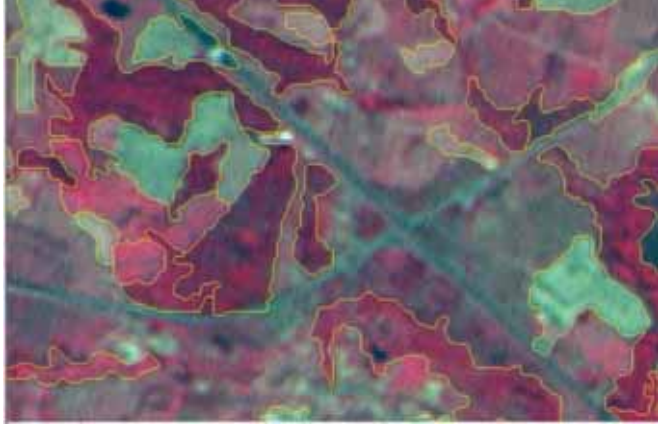
	a. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 5 e área (pixels) 30.
	b. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 10 e área (pixels) 50.
	c. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 15 e área (pixels) 45.
	d. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 20 e área (pixels) 45.

Figura 14: Amostras representativas do teste de segmentação com diferentes valores de similaridade e área para o cenário de 23/09/2008.

	e. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 20 e área (pixels) 30.
	f. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 20 e área (pixels) 10.
	g. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 20 e área (pixels) 50.
	h. Segmentação por crescimento de regiões similaridade 30 e área (pixels) 60.

Continuação Figura 14: Amostras representativas do teste de segmentação com diferentes valores de similaridade e área para o cenário de 23/09/2008.

- Classificação

Para indicar a distribuição territorial das áreas cultivadas com cana-de-açúcar, foi gerado o mapa temático a partir da imagem filtrada e realçada da passagem de 23/09/2008 aplicando-se o classificador digital *Isoseg* no ambiente do software SPRING (figura 15) e também o classificador supervisionado *Minimum Distance* disponível no software ENVI. Entretanto, os resultados não foram satisfatórios devido aos erros de classificação, especialmente na separação dos alvos cana-de-açúcar, pastagem e área urbana. Áreas de pastagens foram classificadas automaticamente como áreas de cultivo de cana-de-açúcar e vice-versa, e a área urbana, que possui níveis de cinza semelhantes ao solo exposto (preparado para o cultivo de cana-de-açúcar) foi classificada erroneamente.

Devido ao erro significativo na classificação digital, optou-se em realizar a classificação manual das imagens digitais, através da análise interpretativa, conforme elementos utilizados nos procedimentos convencionais de foto-interpretação, ajustados às imagens orbitais multi-espectrais. O resultado desse procedimento está ilustrado na figura 16.

Através deste mapeamento, verifica-se que cerca de 22005 ha do município é ocupado por esta cultura (220 km²), ou seja, aproximadamente 45% de sua área total, levando-se em conta que a área municipal corresponde a 498 km². A figura 16 mostra o resultado obtido através da classificação da imagem orbital.

O avanço desta monocultura, segundo Andrade Neto (1984) acarreta uma série de consequências negativas em um município, como por exemplo, a eliminação de áreas com cobertura vegetal natural, o aumento da concentração fundiária, e a queda do padrão de vida do trabalhador rural.

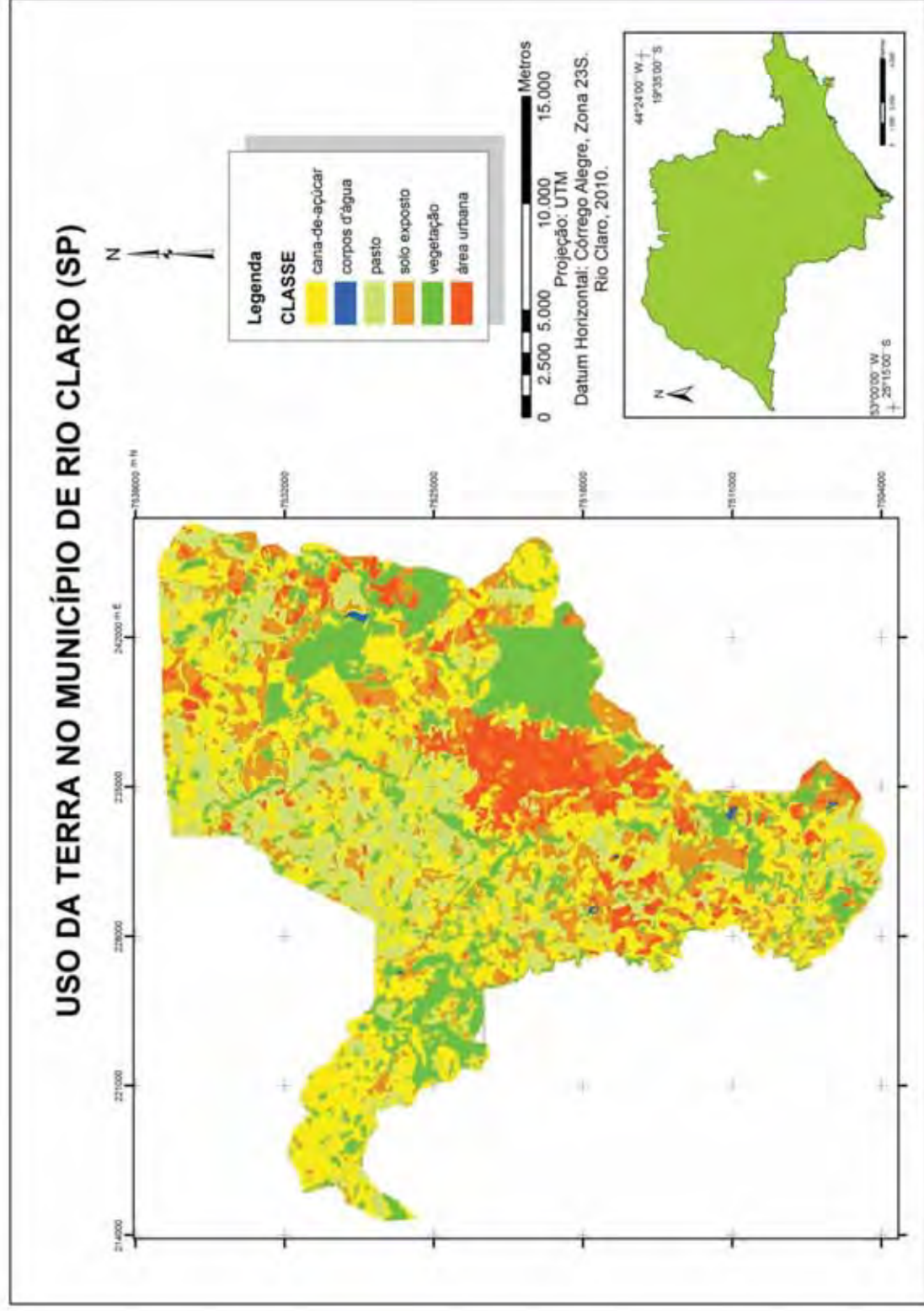


Figura 15: Classificação do uso da terra no município de Rio Claro (SP) a partir da passagem de 23/08/2008, através do classificador ISOSEG disponível no SPRING 4.3.3.

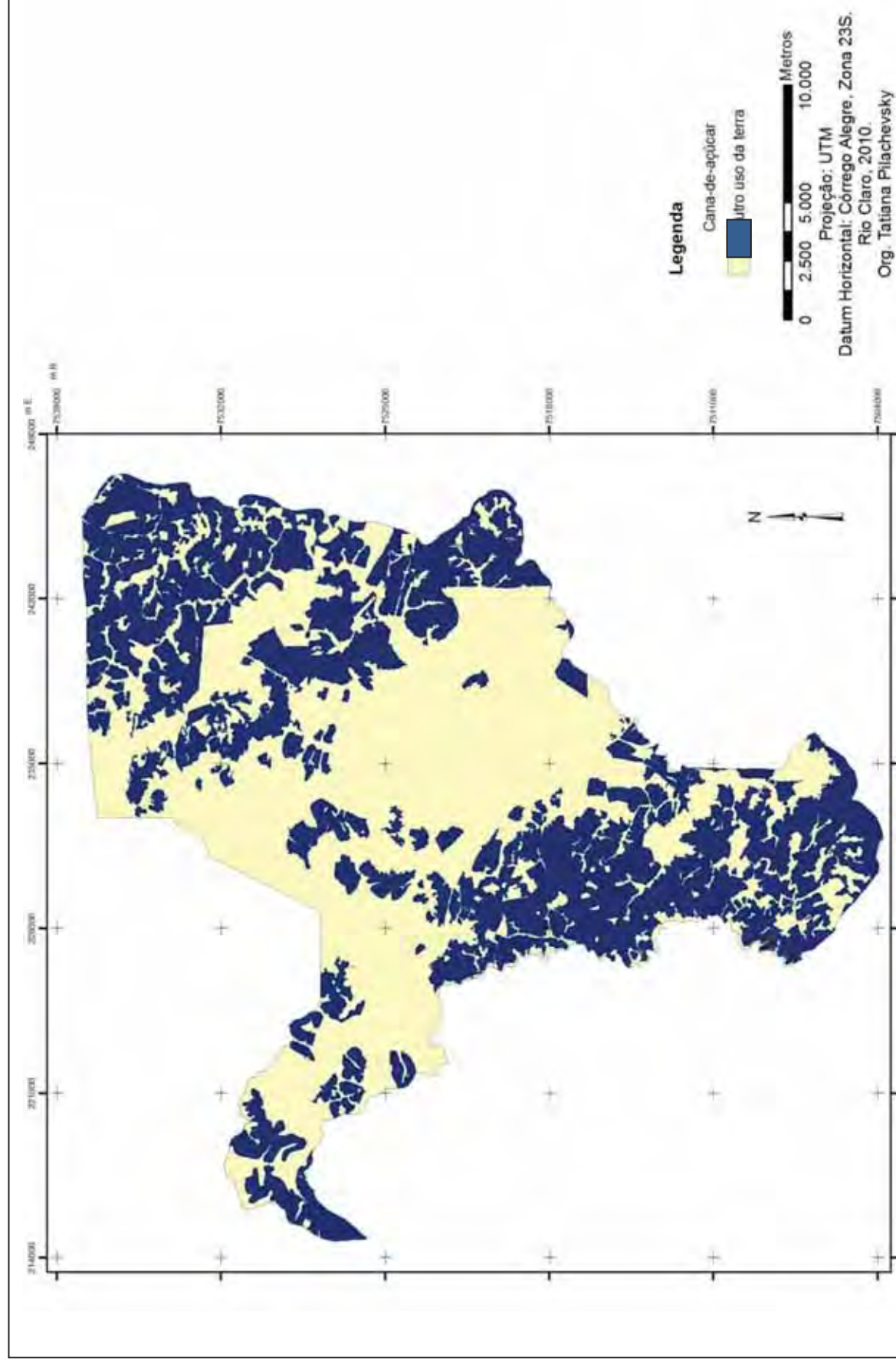


Figura 16: Mapeamento da área plantada por cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP) em 23/09/2008.

Além dos mapeamentos de área plantada por cana, foram, também, gerados para os dois cenários (23/09/08 e 19/04/09), mapeamentos indicando os estágios de crescimento da cana-de-açúcar. As figuras 17 e 18 representam, respectivamente, o mapeamento do estágio fenológico da cana referente às datas de 23/09/08 e 19/04/09.

Considerando o desenvolvimento da cana-de-açúcar no cenário de 23/09/2008 a ocupação da área analisada, apresenta, em sua maior parte, o solo exposto preparado para o plantio, e em alguns casos a cana em seu período inicial de crescimento, de forma que, cerca de 4840 ha da área do município estava ocupado por cana adulta, 8322 ha por cana em estágio de crescimento, e 8835 ha por solo exposto preparado para o plantio.

Segundo Ross (1994), áreas com solo exposto por aração, ou áreas desmatadas e queimadas recentemente, casos englobados na classe de solo exposto preparado para o plantio de cana-de-açúcar, são as que apresentam graus de proteção do solo muito baixa ou nula. Portanto, no período analisado, os riscos ambientais e principalmente os riscos pedológicos, representados por processos erosivos, deslizamentos de terra, entre outros, são muito comuns principalmente associados a altas declividades.

Já no mapa referente ao mês de abril de 2009, observou-se grande parte da área plantada por cana-de-açúcar no estágio de crescimento e estágio de maturação. Para se ter uma idéia, cerca de 13136 ha (131 km²) da área composta pelo cultivo estava ocupada por cana em estágio adulto; 5000 ha em estágio de crescimento; e o restante da área com solo exposto preparado para o plantio. Desta forma, neste período, de forma global, apesar de ser um período antecedido por altos níveis de precipitação, há uma diminuição de perdas de solo com o aumento das taxas de cobertura vegetal pelo crescimento da cana (BEZERRA; CANTALICE, 2006).

A tabela 3 apresenta a comparação da área ocupada pela cana-de-açúcar em seus respectivos estágios de crescimento, nas datas de 23/09/08 e 19/04/09.

Tabela 3: Porcentagem da área ocupada pela cana conforme seus estágios fenológicos.

Estágios fenológicos da cana-de-açúcar	Porcentagem de área ocupada	
	23/09/08	19/04/09
Solo Exposto Preparado	40%	17%
Cana-de-açúcar em estágio de crescimento	38%	23%
Cana-de-açúcar adulta	22%	60%

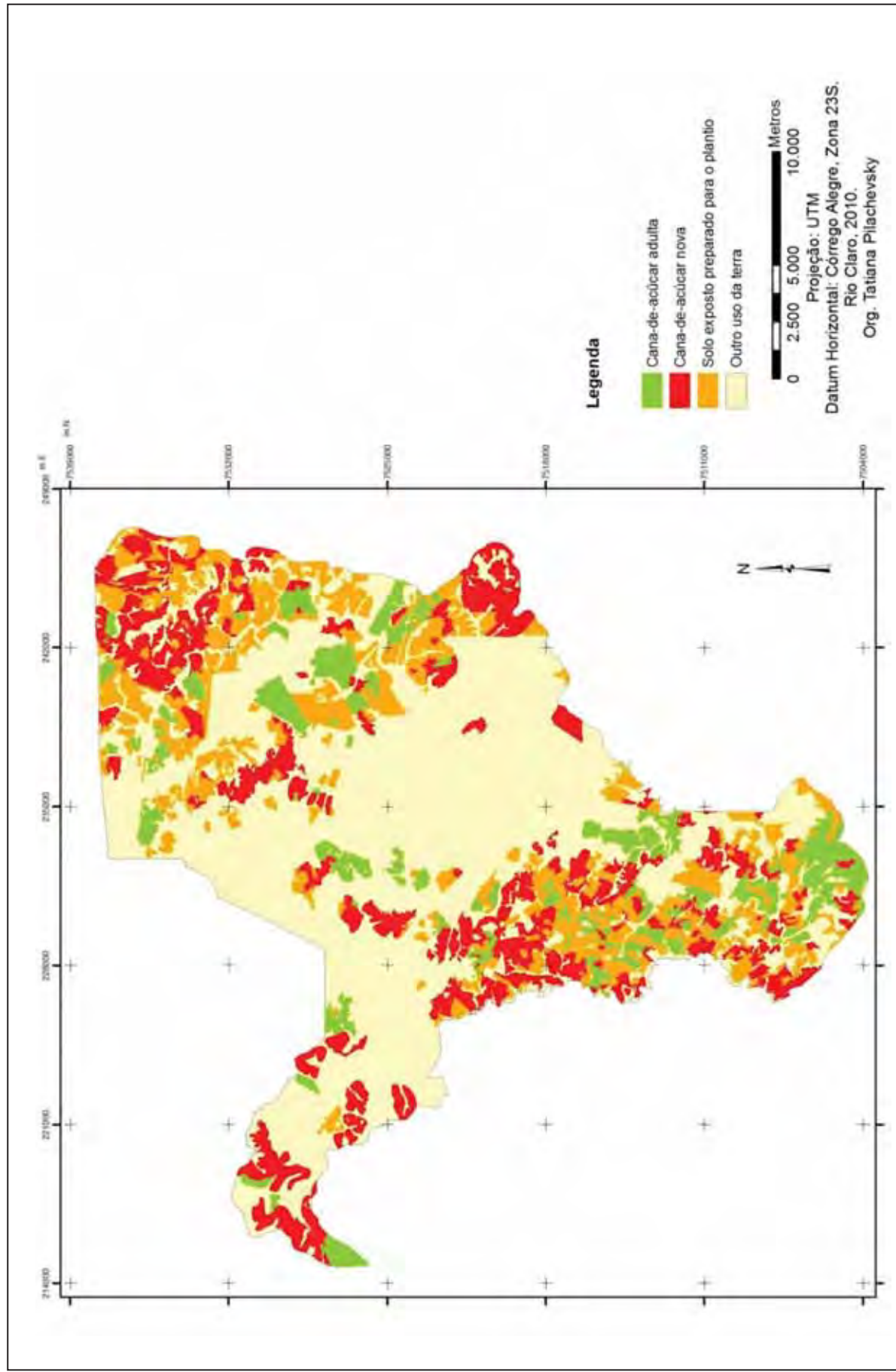


Figura 17: Mapa dos estágios de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP) em 23/09/2008.

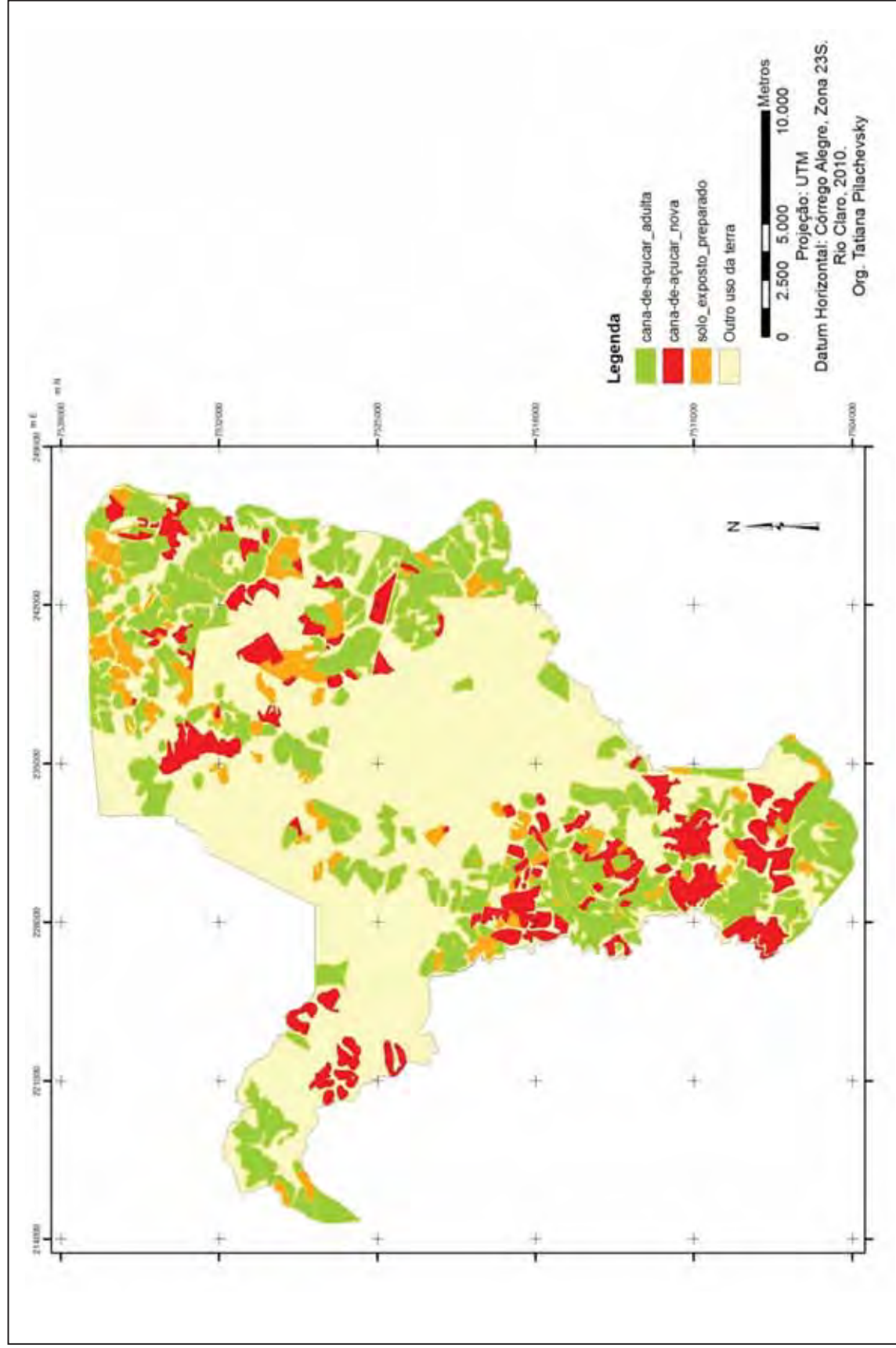


Figura 18: Mapa dos estágios de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP) em 19/04/2009.

Com o intuito de verificar a ocupação do plantio de cana e a declividade da área de estudo, os mapas de classes de declividade e áreas com cana-de-açúcar foram sobrepostos, para se verificar as áreas passíveis de serem utilizadas para o corte mecanizado. Entende-se, segundo a literatura específica, que áreas que apresentam declives inferiores a 12% são áreas em que o corte da cana possui o potencial de ser mecanizado. Já áreas com declives superiores a 12% a implantação do maquinário se torna dificultosa o que impossibilita o corte mecanizado e consequentemente aumenta a necessidade da realização da queima pré-corte da cana-de-açúcar (corte manual). O mapa de declividade no município de Rio Claro está representado na figura 19, e o mapa de áreas de possível mecanização da cana-de-açúcar está representado na figura 20.

O mapa da figura 20 revela que a maior parte das áreas plantadas por cana-de-açúcar possui o potencial de ser mecanizado (declividades inferiores a 12%), fator que contribui para a diminuição da prática da queimada antes do corte e consequentemente melhora as condições da qualidade atmosférica e de vida (OMETTO, et al., 2005).

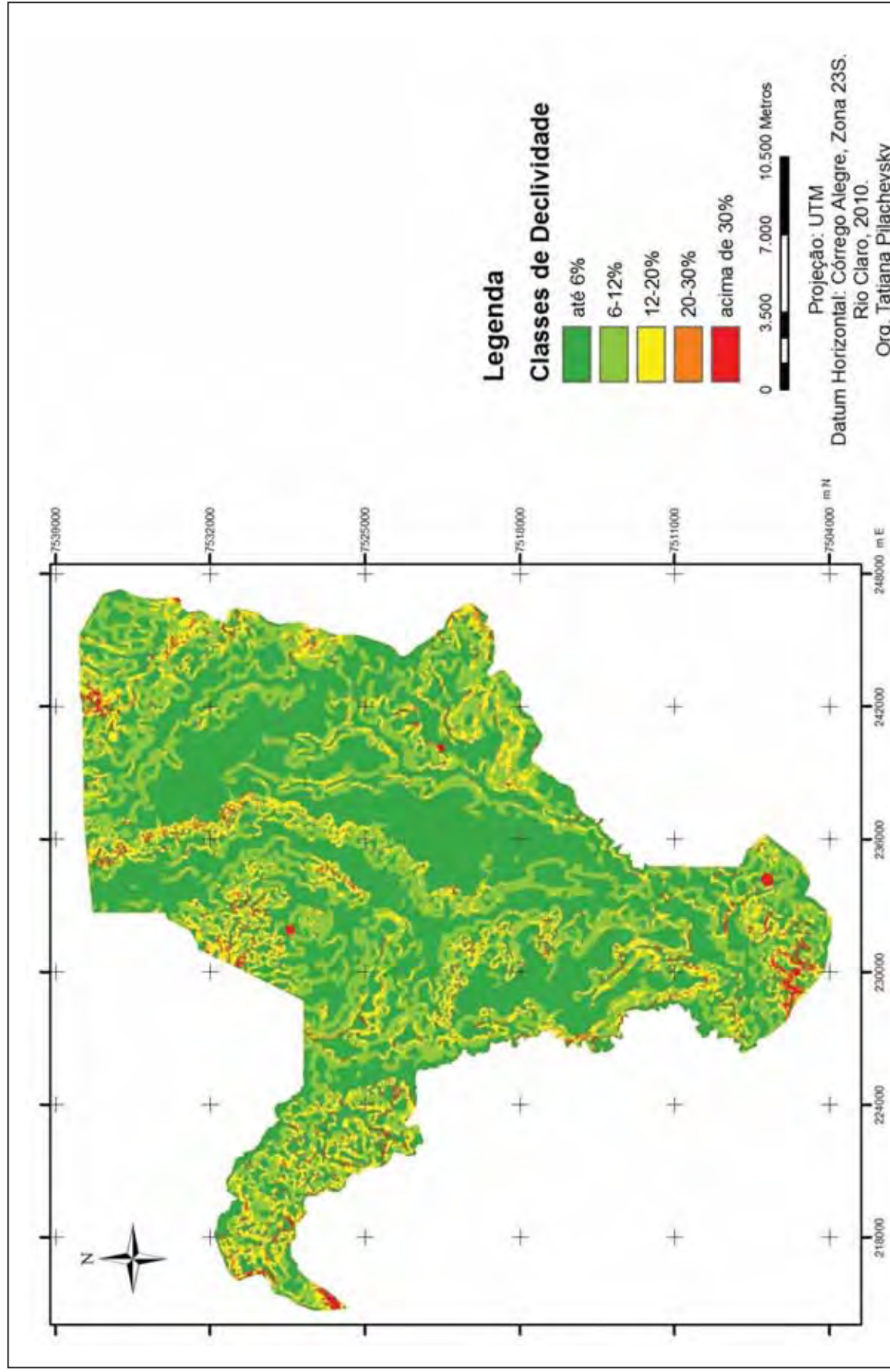


Figura 19: Mapa de declividade no município de Rio Claro (SP)

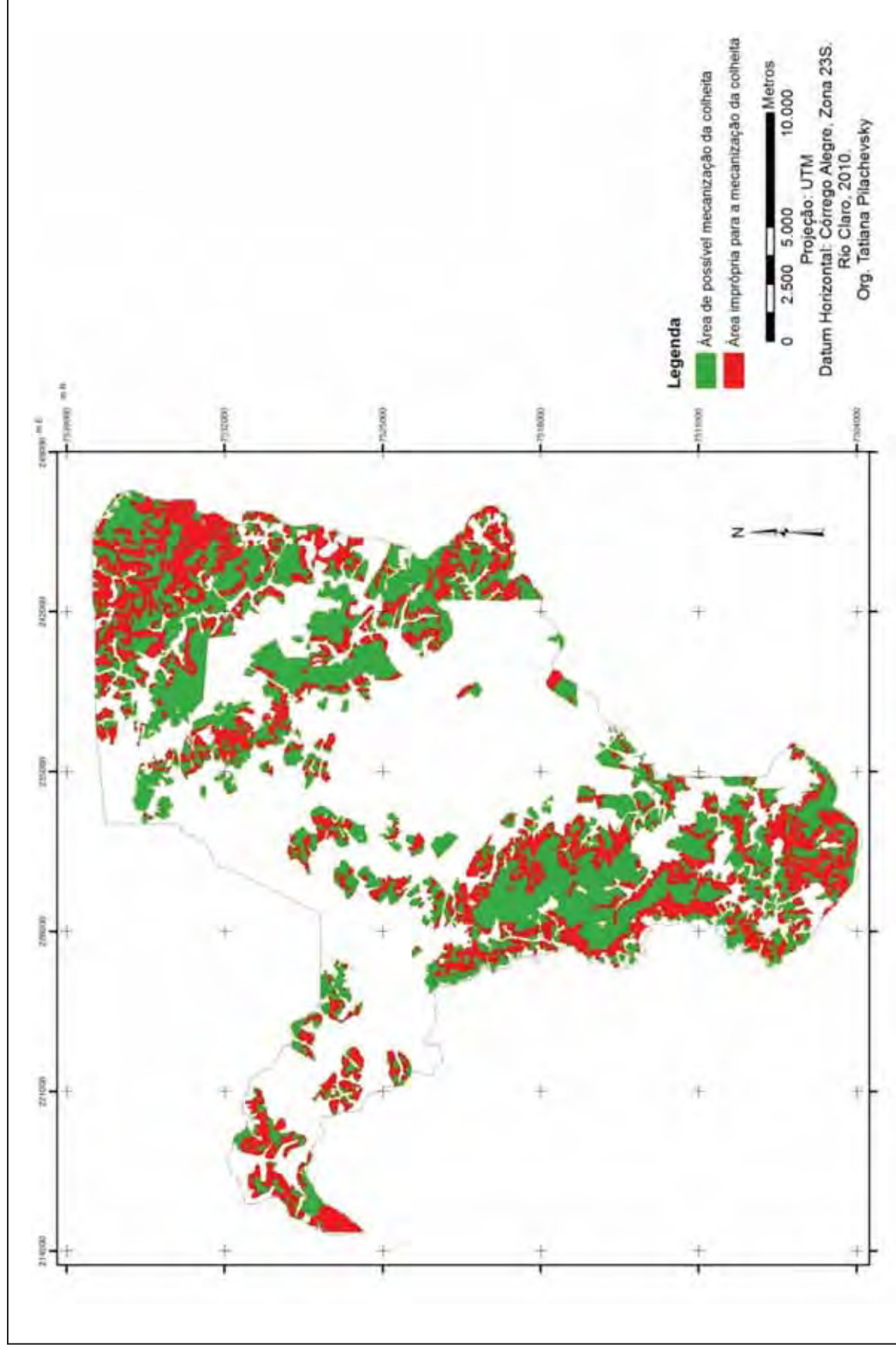


Figura 20: Mapa de áreas passíveis de mecanização da colheita da cana-de-açúcar

No que concerne às análises da representação dos índices relativos de fitomassa, obtidos através das imagens com NDVI, pode-se observar, através da interpretação dos produtos gerados, que no cenário de 23/09/2008, período em que o cultivo de cana-de-açúcar encontrava-se, em geral, em estágio de solo preparado ou pouco crescimento, a cor marrom, representativa da classe de vigor de fitomassa muito forte foi destinada pelo classificador ISOSEG para os alvos com valores de níveis de cinza acima de 165 NC, sendo eles, principalmente a mata ciliar, o cultivo de citrus, a floresta nativa, e o reflorestamento; a cor vermelha, destinada à classe de forte vigor de fitomassa, compreendeu os níveis de cinza entre aproximadamente 165 até 135 e representou essencialmente, o reflorestamento, o citrus, e poucas áreas de pasto; a cor laranja, designada ao vigor de fitomassa médio, foi destinada aos níveis de cinza entre cerca de 135 a 110, correspondendo as culturas de cana-de-açúcar e pasto; a cor amarela, representativa do fraco vigor de fitomassa, foi destinada pelo classificador automático aos níveis de cinza entre 110 e 70, classificando basicamente o alvo cultura de cana-de-açúcar; e a cor verde, que representa o vigor de fitomassa nulo, foi destinado aos alvos que apresentaram níveis de cinza menores que 70, sendo eles, principalmente os corpos d'água, que de acordo com a literatura possuem refletância zero, e as atividades de mineração. A cor cinza, destinada ao limite urbano municipal, não foi incluída na classificação do vigor de fitomassa, pois a maioria dos alvos contidos na área urbana não representa a vegetação. A figura 21 ilustra esse mapeamento do vigor de fitomassa na imagem de 23/09/08.

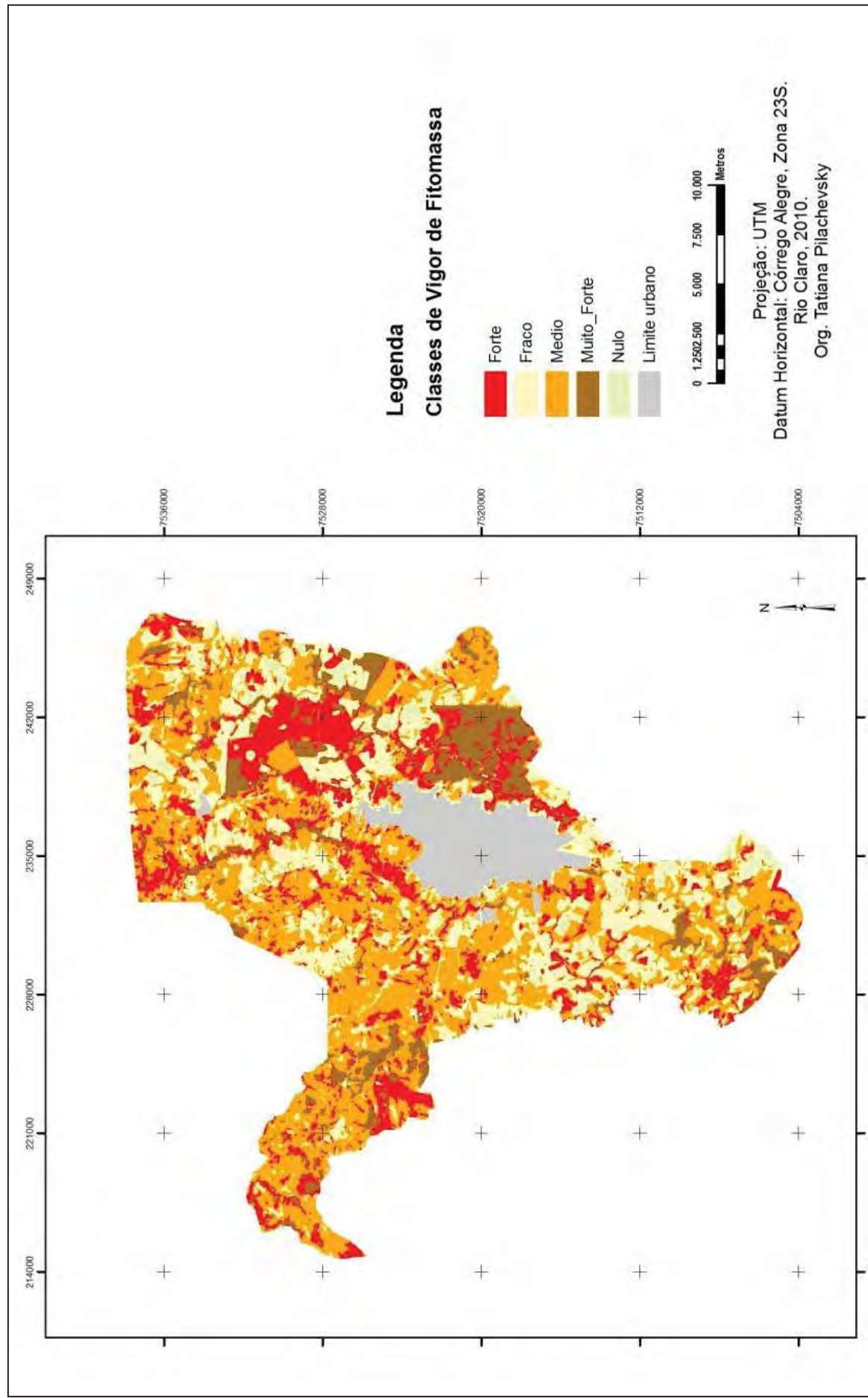


Figura 21: Vigor de fitomassa da vegetação no município de Rio Claro (SP) no cenário de 23/09/2008.

Comparando a imagem de setembro com a imagem do cenário de 19/04/2009, período em que a cana-de-açúcar encontrava-se em seu estágio adulto, nota-se que houve diversas mudanças na quantidade de vigor de fitomassa existente na vegetação, como pode ser visto na figura 22.

Na imagem do mês de abril, a vegetação possuía, na maior parte do município, alto vigor de fitomassa, prevalecendo a classe com forte vigor de fitomassa em 54% da área analisada. Além disso, a classe muito forte, representada pela cor marrom foi destinada aos valores de pixels acima de aproximadamente 150 NC, cujos alvos são reflorestamento e mata nativa; a classe forte (vermelha) foi atribuída aos níveis de cinza entre cerca de 120 e 150, caracterizando, diferentemente do cenário de setembro, principalmente, os alvos cana-de-açúcar, pasto, reflorestamento e mata ciliar; a classe de médio vigor de fitomassa (laranja) compreendeu os níveis de cinza entre 70 e 120, correspondente aos alvos cana-de-açúcar e pastagem; a classe de fraco vigor de fitomassa compreendeu os níveis de cinza entre 14 e 70 e representou principalmente as atividades de mineração; e por fim, a classe de vigor de fitomassa nulo, designado aos níveis de cinza inferiores a 40, representou essencialmente os corpos d'água e as atividades de mineração.

Observa-se que as principais modificações ocorreram nas classes forte e fraca. No cenário de 23/09/08 a maior parte do cultivo de cana-de-açúcar e da pastagem estava classificada com vigor de fitomassa médio, já em 19/04/09, a cana e o pasto foram classificados na classe de forte vigor de fitomassa. Esse fato pode ser explicado, no caso da cana, pelo estágio de desenvolvimento característico de cada período estudado e pela precipitação. No caso do pasto o fenômeno pode ser explicado essencialmente pelas condições hídricas proporcionadas pelos níveis de precipitação.

Numa análise específica para a cultura de cana-de-açúcar, esse resultado reforça a afirmação de Jensen (2009) de que “a diferença na porcentagem de fechamento de dossel, na umidade do solo, na biomassa, ou diferenças quanto a espaçamentos/orientações entre as linhas de plantio podem fazer com que uma cultura tenha propriedades de reflectância significativamente diferentes em relação à outra” (no caso estudado, em relação ao outro estágio fenológico analisado), “devido a influência do solo de fundo (‘background’) ou dos tipos de substratos ali presentes” (JENSEN, 2009, p. 376).

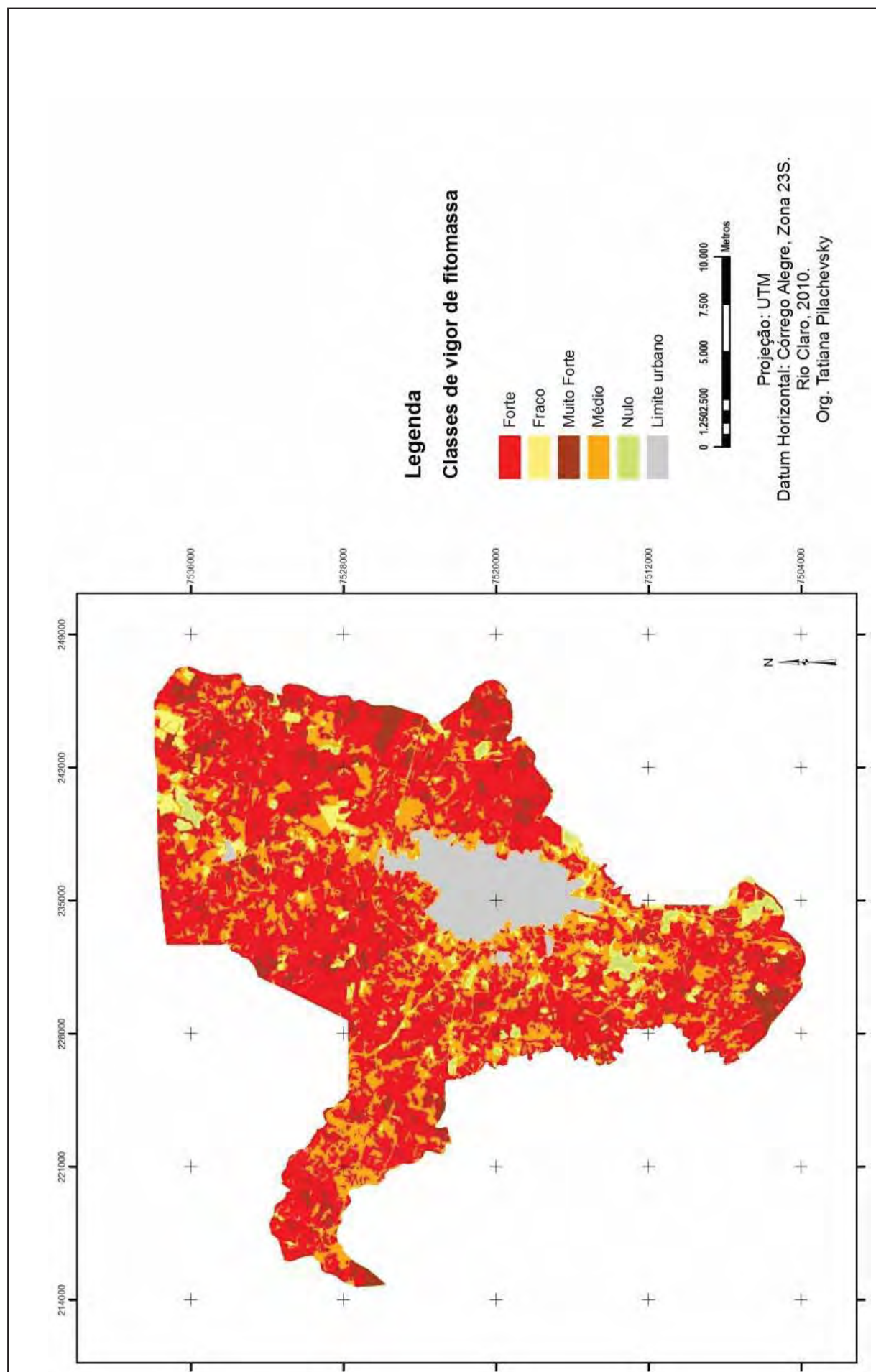


Figura 22: Vigor de fitomassa da vegetação no município de Rio Claro (SP) no cenário de 19/04/2009.

Considerando os resultados obtidos através da abordagem utilizada, descrita no item 6.2.4., pode-se verificar que o método utilizado foi satisfatório levando-se em conta a compatibilidade destes resultados com os obtidos no mapa dos estágios de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar em 23/09/2008 e 19/04/2009. Pode-se observar que no período correspondente à cana em estágio de crescimento e solo preparado, o vigor de fitomassa é baixo, e no período em que a cultura de cana-de-açúcar se apresenta adulta, o vigor de fitomassa é alto, fato que, como já explicitado anteriormente, pode ser explicado pelos níveis de precipitação, que são, geralmente superiores nos meses de verão, que antecedem o mês de abril; e inferiores (período de estiagem) nos meses entre julho e setembro.

No que diz respeito a queima pré-colheita desta cultura, que de acordo com o Diretor Marcos Antonio Martins Ari, da Secretaria Municipal de Agricultura, vêm decrescendo a cada ano em Rio Claro em virtude da adequação à nova legislação, que prevê a eliminação desta prática em 2012, pode-se observar que se caso a queima pré-corte ocorra no período representado pelo cenário de 19/04/09 (em que índices de biomassa são superiores) o volume de gases liberados na atmosfera será muito superior ao que seria liberado caso a queima ocorresse no período representado pelo cenário de 23/09/08. Por outro lado, se essa biomassa fosse destinada para a geração de energia renovável (caso que ainda não ocorre no município), a produtividade seria maior no período representado pela imagem de 19/04/09, já que nela os índices de biomassa são superiores.

No que se refere às variedades de cana-de-açúcar presentes no município de Rio Claro, através das análises e do tratamento das imagens realizadas, não foi possível verificar as espécies presentes, já que apesar da refletância se diferenciar em diversas áreas plantadas por essa cultura, essa diferenciação pode ser ocasionada por diferentes fatores, dentre eles, o estágio fenológico da cultura, as condições hídricas e pedológicas, a presença de doenças e pragas, etc.

Aliado a esse fator que impossibilitou a diferenciação das variedades plantadas no município, a identificação das variedades no trabalho de campo também não foi possível, já que podem ser diversas as variedades encontradas nos talhões da amostragem (devido aos avanços da tecnologia que propiciaram o cruzamento e o surgimento de muitas variedades híbridas). Desta forma, caberia a outros profissionais, como os da área da agronomia, identificar essas variedades. A utilização de técnicas de

sensoriamento remoto para a verificação das variedades seria viável segundo Galvão et. al. (2005), utilizando procedimentos hiper-espectrais, com sistemas sensores de melhor resolução espectral (faixas mais estreitas e maior número de bandas).

7.4. Avaliação da precisão do mapeamento

Após a análise dos dados obtidos com a aplicação das técnicas de geoprocessamento e da utilização de imagens de Sensoriamento Remoto, foi realizado o trabalho de campo, para a verificação da exatidão do mapeamento da classe cana-de-açúcar. A metodologia adotada nesta etapa do trabalho está explicitada no item 6.2.5.

Os pontos de verificação do mapeamento foram selecionados, previamente, por sorteio, e plotados na carta topográfica para a localização e planejamento dos percursos e acessos. Para esse campo foram preparadas as fichas de informações de campo, conforme no apêndice 3.

Os pontos selecionados encontram-se ilustrados na figura 23 e para o acesso foi utilizado o GPS Trimble série 2008 (de precisão).

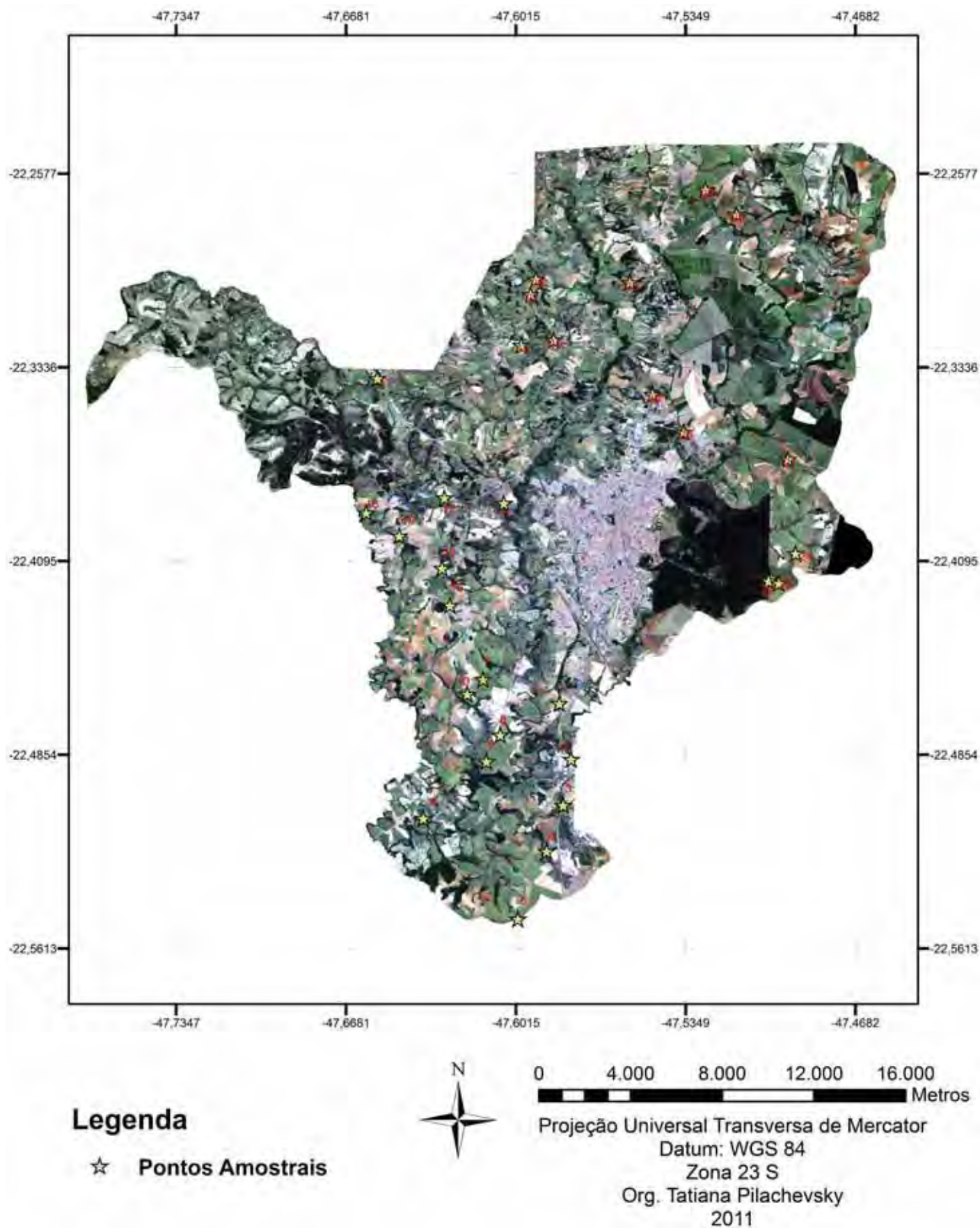


Figura 23: Disposição dos pontos amostrais coletados em campo (Imagem Alos-2008)

A partir dos pontos selecionados, chegou-se aos seguintes resultados apresentados na tabela 4. Os alvos mapeados incorretamente estão apresentados na cor vermelha na tabela. A descrição sistemática dos pontos coletados pode ser visualizada no apêndice 4 deste trabalho.

Tabela 4: Relação dos pontos mapeados e observados no campo

Alvos		
Nº Pontos	Mapeado	Observado
1	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
2	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
3	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
4	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
5	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
6	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
7	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
8	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
9	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
10	Cana-de-açúcar	Pastagem
11	Cana-de-açúcar (com palhiço)	Fábrica
12	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
13	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
14	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
15	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
16	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
17	Cana-de-açúcar	Pastagem
18	Outras culturas (pasto)	Pastagem
19	Cana-de-açúcar	Pastagem
20	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
21	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
22	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
23	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
24	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
25	Cana-de-açúcar	Pastagem
26	Outras culturas (pasto)	Pastagem
27	Outras culturas (pasto)	Cana-de-açúcar
28	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
29	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
30	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar

Através dos resultados observados em campo foi possível constatar que imagens de baixa resolução espacial, como as imagens CBERS, utilizadas neste trabalho, não são

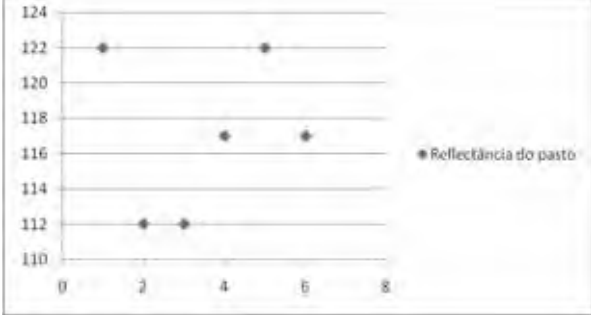
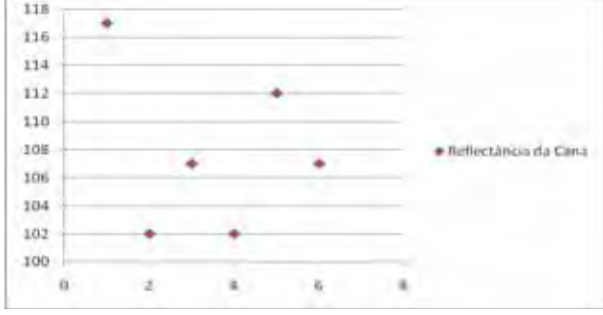
ideais para o mapeamento do uso da terra, mesmo com a realização dos procedimentos de tratamento das imagens e com a aplicação dos índices de vegetação.

Do total dos 31 pontos amostrais (contando com as duas observações realizadas no ponto 10) seis foram mapeados incorretamente, o que representa cerca de 19,3% de erro no mapeamento, e 81% de exatidão cartográfica (valores obtidos com através da aplicação de uma regra de três simples), ou seja, o mapeamento realizado não se configura como um mapa de precisão cartográfica.

Nota-se que o alvo mais suscetível à confusão no mapeamento da cana-de-açúcar é a pastagem, já que em imagens de baixa resolução espacial, muitas vezes, não é possível distinguir os arbustos e árvores, que compõe a pastagem, do capim; nem as ravinas que se formam devido ao desgaste do solo pela pegada no boi, fatores que em conjunto com a semelhante refletância espectral da cana e do pasto causam a confusão entre os alvos.

Os gráficos da figura 24 ilustram a refletância média dos alvos nos pontos erroneamente classificados em comparação com a refletância da cana-de-açúcar. Para tanto, foram coletadas aleatoriamente seis amostras da refletância dos pontos amostrais erroneamente classificados e seis amostras da refletância da cana nas proximidades desse ponto. Utilizou-se para isso o recurso *Leitura de Pixels* do software SPRING 4.3..

Assim, os gráficos mostram os valores dos seis níveis de cinza do pixel da amostra coletada. Analisando a refletância dos alvos erradamente classificados com a refletância da cana-de-açúcar contida e mapeada nas proximidades, verifica-se que a maior parcela dos alvos mapeados incorretamente apresentaram semelhança nos níveis de cinza, resultando, assim, alta confusão na interpretação dos alvos.

Refletância dos alvos erradamente classificados	Refletância da cana-de-açúcar nas proximidades do ponto erroneamente classificado
	
Gráfico 1a: Amostras da refletância da pastagem do ponto 10	Gráfico 1b: Amostras da refletância da cana nas proximidades do ponto 10

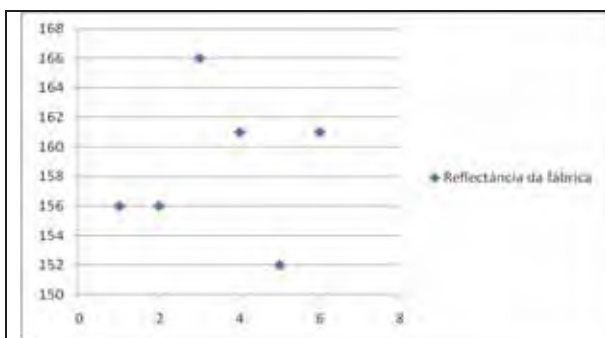


Gráfico 2a: Amostras da reflectância da fábrica no ponto 11

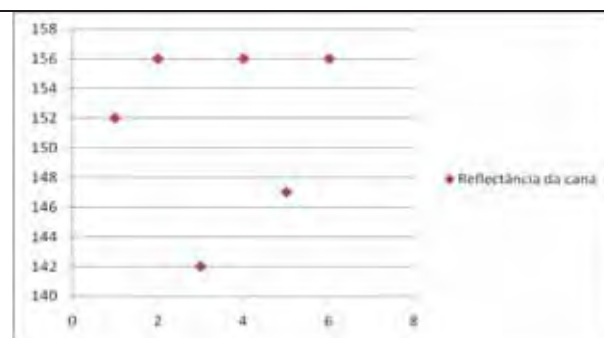


Gráfico 2b: Amostras da reflectância da cana sendo preparada para o plantio e da cana com palhico nas proximidades do ponto 11

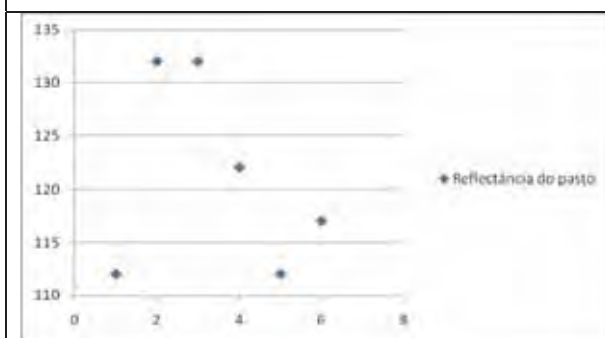


Gráfico 3a: Amostras da reflectância da pastagem do ponto 17

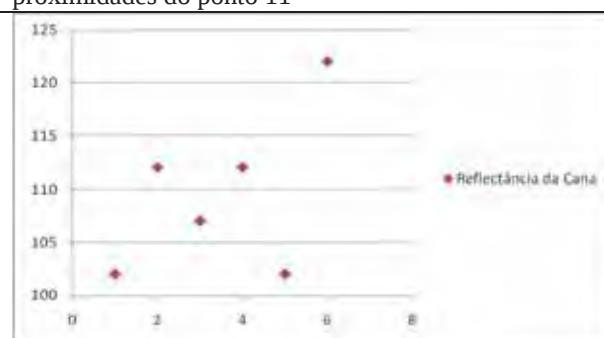


Gráfico 3b: Amostras da reflectância da cana nas proximidades do ponto 17

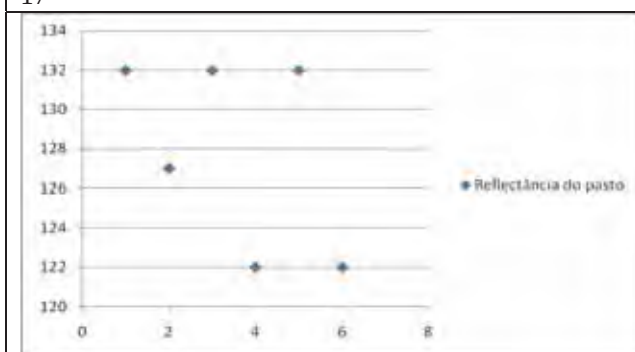


Gráfico 4a: Amostras da reflectância da pastagem do ponto 19

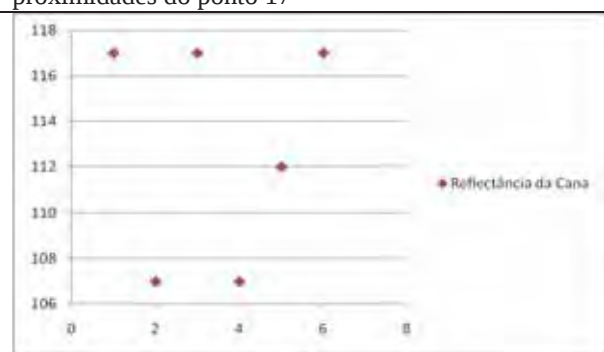


Gráfico 4b: Amostras da reflectância da cana nas proximidades do ponto 19

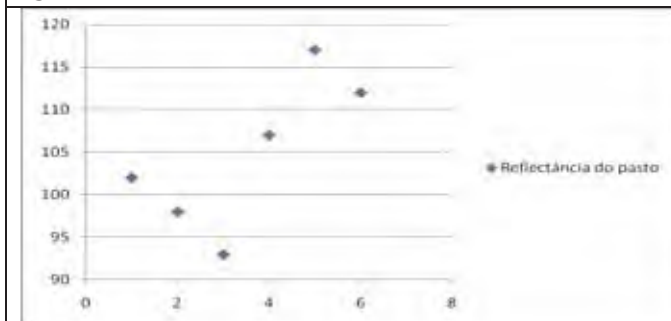


Gráfico 5a: Amostras da reflectância da pastagem do ponto 25

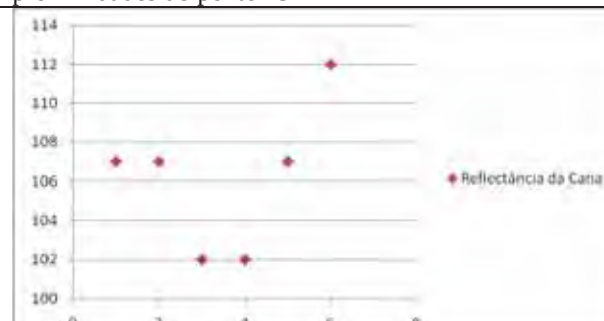


Gráfico 5b: Amostras da reflectância da cana nas proximidades do ponto 25

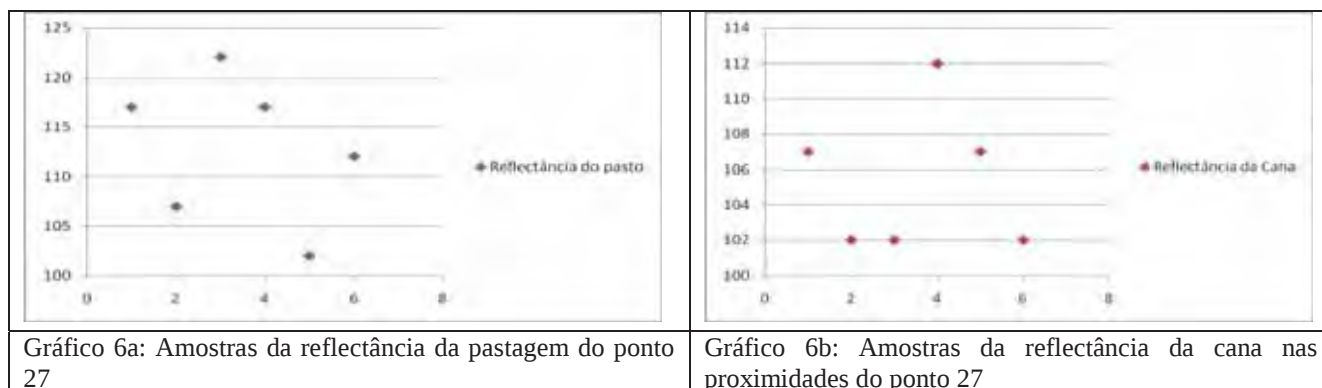


Figura 24: Comparação da resposta espectral dos alvos erroneamente classificados com a resposta espectral da cana-de-açúcar presente nos arredores desses alvos.

A título de comparação, foram selecionadas amostras dos pontos classificados corretamente e notou-se, como pode ser observado na figura 25, que esses alvos foram classificados de acordo com a verdade terrestre, principalmente pelo fato de apresentarem níveis de reflectância mais distintos, comparando um alvo com o outro.

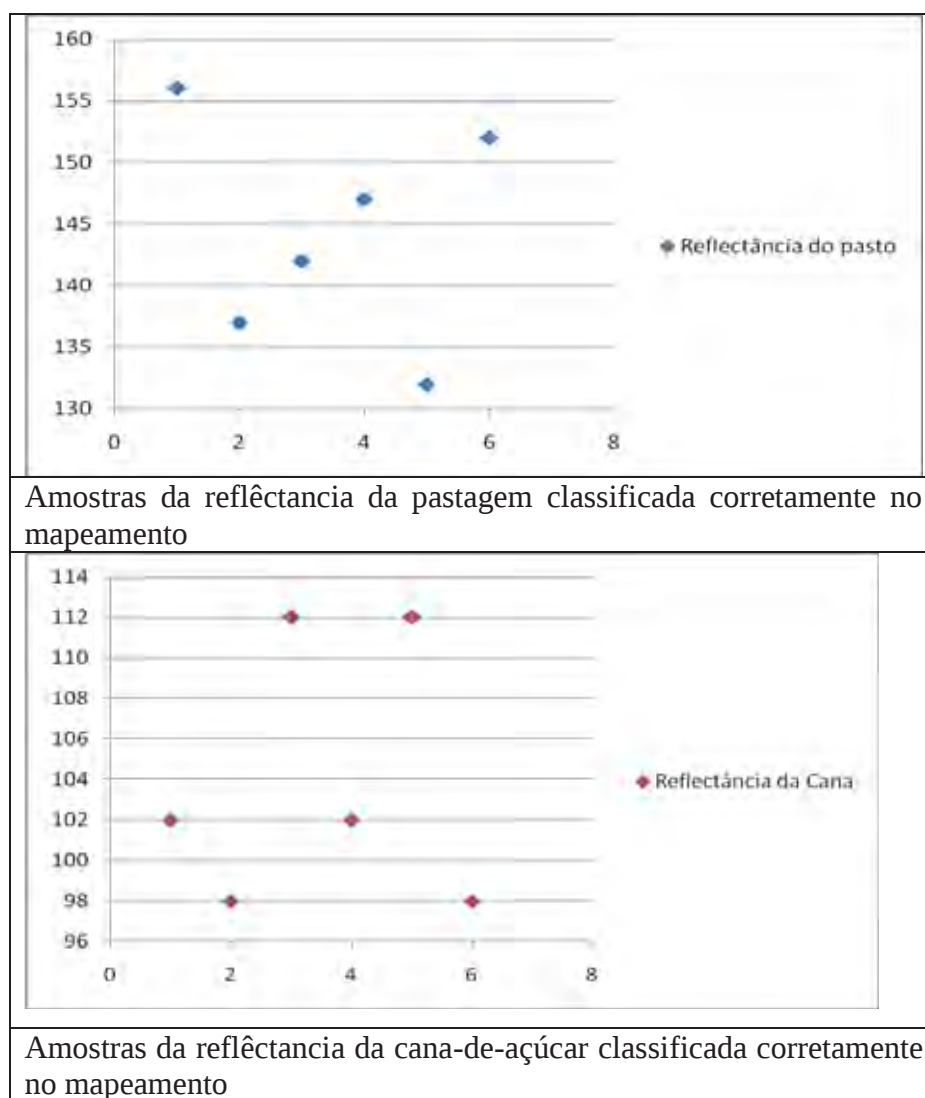


Figura 25: Comparação do alvo pasto classificado corretamente com o alvo cana, também corretamente classificado.

Além dessas observações quanto à reflectância, observou-se que na porção sul do município houve mais acertos na classificação da cana-de-açúcar do que no restante do município, fato que pode ser explicado pela presença da cultura em quase toda a extensão desta porção. Já na porção noroeste e em outras porções do município a pastagem se mistura em alguns pontos com a cultura de cana o que causa confusão na separação dos alvos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos pode-se constatar que a cultura de cana-de-açúcar representa a principal atividade agrícola implementada no município de Rio Claro (SP), ocupando quase metade do seu território (cerca de 45%).

No entanto, a hipótese inicial de que a utilização de imagens de baixa-média resolução espacial seria suficiente para a elaboração do mapeamento da cultura de cana-de-açúcar, através da realização dos procedimentos de tratamento digital das imagens e da aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, não foi confirmada, já que o mapeamento realizado apesar de satisfatório, não apresentou um índice de precisão cartográfica esperado, conforme averiguado por meio do trabalho de campo.

No que se refere aos índices de biomassa dos alvos obtidos através da aplicação do Índice de Vegetação, nas imagens selecionadas, observou-se que os resultados apresentados com a utilização desta metodologia foi satisfatória, já que foi possível monitorar a quantidade estimada de biomassa da cana-de-açúcar na área de estudo, nos cenários analisados conforme o estágio de desenvolvimento da cultura.

Desta forma, recomenda-se a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para fins da análise de índices de biomassa, e a utilização de imagens orbitais ou aerofotogramétricas com melhor resolução espacial para a classificação e o mapeamento do uso da terra.

No que se refere à conservação da área analisada, nota-se que práticas agrícolas conservacionistas são necessárias para o controle da erosão e diminuição da fragilidade ambiental, tendo em vista que o principal período de preparação do solo corresponde aos meses de agosto a novembro, quando o solo encontra-se totalmente desprotegido com relação à ação erosiva das chuvas, que nessa região, se intensificam a partir de outubro.

Portanto, a partir da realização deste trabalho, foi possível verificar a importância da aplicação combinada de técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG para a caracterização e o mapeamento da cultura de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. A. de. **Monitoramento da área colhida de cana-de-açúcar por meio de imagens do sensor Modis**. 2007. 103f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto de pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

ALBUQUERQUE, M. P. DE; ALBUQUERQUE, M. P. de. **Processamento de Imagens: Métodos e Análises**. Rio de Janeiro, 2002.

ANDRADE NETO, J.C.X. **A evolução da agroindústria açucareira de Alagoas a partir da década de 50: modernização e proletarização do trabalhador rural**. 1984. 170f. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, 1984.

ARBEX, M. A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara-SP**. 204f. Tese (Doutorado em Medicina) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ARBEX, M. A.; CANÇADO, J. E. D.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H, do N. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. In: **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Março/abril de 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v30n2/v30n2a15.pdf>. Acesso em: 20/07/2010.

BARBOSA, C., HESS, L., MELACK, J., NOVO, E. Mapping amazon basin wetlands through region growing segmentation and segmented -based classification jers-1 data. In: **IX Simpósio Latino-americano de Percepção Remota**, Puerto Iguazú, Argentina, November,2000. Disponível em: http://www.icesb.ucsb.edu/LBA/pubs/papers/selper_claudio_barbosa.pdf. Acesso em: 12/11/2010.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. In: **Revista Brasileira Ci. Solo**, 30:565-573, 2006.

BRANDÃO, et al. Distinção de classes de cana-de-açúcar através do NDVI. In: **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, Natal, 2009, p. 105-111.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. MONTEIRO, A. M. V. (Ed) **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345p.CÂMARA, G. **Modelos**,

linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia) – Instituto Nacional Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1995.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciências da geoinformação. In: CÂMARA, G; et. al. **Geoprocessamento: teoria e aplicações**, 2001. Disponível em: www.dpi.inpe.br/Gilberto/livro. Acesso em: 18/10/2010.

CANÇADO, J. D.; SALDIVA, P. N. H; PEREIRA, L. A. A.; LARA, L. B. L. S. ARTAXO, P.; MARTINELLI L. A.; ARBEX, M. A.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A. L. F. The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and elderly. In: **Environmental Health Perspectives**, 2006, v. 114, n.5, p. 725-799.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to Remote Sensing**. Guilford Press, New York , 1996.

CARTAS TOPOGRÁFICAS. Disponível em <http://biblioteca.ibge.gov.br/>. Acesso em 16/08/2010.

CORREA, E. A. **Aplicação de índice de vegetação e da EUPS na análise multitemporal de riscos de erosão do solo em bacia hidrográfica por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.** Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2010.

CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Instituto de Geociências. Editora Unicamp. 1993. 170p.

DUARTE, V.; RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G. T. **Interpretação visual da cana-de-açúcar ao nível de propriedade agrícola utilizando imagens MSS/Landsat e informações complementares.** INPE: São José dos Campos, SP, 1984.

EMBRAPA. Disponível em: http://www.embrapa.gov.br/kw_storage/keyword.2007-06-04.9574582965. Acesso em 10/09/2010.

EPIPHANIO, J. C.; ALMEIDA JR., A. C. ; FORMAGGIO. A. R. Desenvolvimento do trigo avaliado com dois índices de vegetação. In: **Anais do 8 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, Salvador, 1997. p. 129-134.

FAO – FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. Disponível em: <http://www.fao.org/>. Acesso em 20/11/2009.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; TISOT, D. A. Discriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor EO-1/Hyperion. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 381-388.

GARCIA, G. J. **Sensoriamento remoto: Princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel, 1982.

GENDEREN, J.L. van. Testing land-use map accuracy. In: **Photogrammetric engineering and remote sensing**. Vol. 43, N. 9, set. 1977, p. 1135-1137.

GONÇALVES, D. B. **A regulamentação das queimadas e as mudanças nos canaviais paulistas**. 2001. 137f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Ambiente) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.

GOODCHILD (1993). Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/pgsere/Hara-L-T-1997/cap2.pdf>. Acesso em: 27/10/2010.

HALL, F.G.; STREBEL, D.E.; NICKESON, J.E.; GOETZ, S.J. **Radiometric rectification**: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. *Remote Sensing of Environment*. v.35, n.1, p.11-27, Jan. 1991.

IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 10/12/2009.

IMAGENS CBERS. Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em 02/08/2010.

JENSEN J. **Remote sensing of the environment**: an earth resource perspective. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, 2000.

KAUTH, R.J.; THOMAS, G.S. The Tasseled Cap - **A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat**. Proc. of the Symp. on Machine Processing of Remotely sensed Data. Laboratory of Agricultural Remote Sensing (LARS), Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1976.

KOFFLER, N. F. **Identificação da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através de fotografias aéreas infravermelhas coloridas e dados multiespectrais do satélite Landsat**. 1982. 234f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

LIMA, M.; LIGO, M.A.; CABRAL, M. R.; BOEIRA, R. C.; PESSOA, M.P.Y.; NEVES, M. C. **Emissão de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999.

LIRA, et al. “Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana-de-açúcar”. In: **Engenharia Ambiental: Espírito Santo do Pinhal**, v. 6, n. 1, p. 113-120, jan/abr 2009.

LIU, H. Q.; HUETE, A. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmosphere noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 3(2):457-465, 1995.

LOPES, F. S.; RIBEIRO, H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. In: **Revista Brasileira de Epidemiologia**. vol.9 no.2 São Paulo. Junho, 2006.

MACHADO, H. M. **Determinação da biomassa da cana-de-açúcar considerando a variação espacial de dados espectrais do satélite Landsat 7 – ETM+**. 2003. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M.; RHIND, D. (eds.) **Geographical Information Systems: Principles and Applications**. New York, John Wiley and Sons, 1991.

MARIANO, G. L. **A influência das queimadas de biomassa (florestas e cana-de-açúcar) do Brasil na espessura óptica dos aerossóis**. INPE, São José dos Campos, SP, 2007.

MARINHO, E. V. A.; KIRCHHOFF, V. W. J. H. Projeto Fogo: um experimento para avaliar efeitos das queimadas de cana-de-açúcar na baixa atmosfera. In: **Revista Brasileira de Geofísica**, 1991, vol. 9 (2), p. 107-119.

MOREIRA, A. M. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Atual. Ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2005. 320p.

MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. 179p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

OLIVA, A.; CHANG H. K. Mapeamento do lençol freático no município de Rio Claro (SP) empregando a técnica de sondagem elétrica vertical. In: **Revista Geociências**, 2007, v.26, p. 27-34.

OMETTO, A. R.; MANGABEIRA, J. A. DE C.; HOTT, M. C. Mapeamento de potenciais de impactos ambientais da queima da cana-de-açúcar no Brasil. In: **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, Goiânia, 2005, p. 2297-2299.

PELLEGRINO, G. Q. **Utilização de dados espectrais do satélite NOAA14/AVHRR como fonte de dados para modelos matemáticos de estimativa da fitomassa da cana-de-açúcar**. 2001.119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista**. São Paulo: USP/IG, 1976.

PERSON, R. L.; MILLER, R. D. Remote mapping of starting crop biomass for estimate of the productivity of the shortgrass prairie. In: **International Symposium on Remote Sensing and Environment**, 8. Ann Arbor, 1972. Proceedings. Ann Arbor : MI, ERIM, 1972. v. 2, p. 1355-1373.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, R. M; Netto, J. da S. M. (Org). **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: Ed. UnB, 2001. p. 155-222.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São Paulo: Parêntese, 2007. 127p.

PROJETO CANASAT. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/canasat/>. Acesso em 03/02/2010.

RELAÇÕES AGRÍCOLAS E MEIO AMBIENTE. Disponível em:
http://www.cnpma.embrapa.br/informativo/mostra_informativo.php?id=149. Acesso em: 15/07/2010.

RIBEIRO, H. As queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. In: **Revista de Saúde Pública**, v. 42, n. 2. São Paulo, abril, 2008. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S003489102008000200026&script=sci_arttext&tlng=ES. Acesso em: 12/07/2010.

RIPOLI, M. L. C.; GAMERO, C. A. Palhiço de cana-de-açúcar:ensaio padronizado de recolhimento por enfardamento cilíndrico. In: **Energia e Agricultura**, vol. 22, n1, 2007, p. 75-93.

RIPOLI, T. C. C. **Energia de biomassa**. USP, Piracicaba, 2006.

RIPOLI, T. C. C; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba, SP: Edição dos Autores, 2009.

ROSATTLI, J. C. **Deteção da doença “mela-das-sementes da braquiária” em gramíneas forrageiras através de técnicas de sensoriamento remoto. 163 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente, 2006.**

ROSENDO, J. DOS S. R. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS**. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

RUDORFF, B. F. T. **Dados Landsat na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar**.1985. 114 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1985.

RUDORFF, B. F. T; BERKA, L. M. S.; XAVIER, A. C. MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; ROSA, V. G. C. ; SHIMABUKURO, Y. E. **Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2003/2004**. Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS. Disponível em:
<http://www.obt.inpe.br/pgsere/Hara-L-T-1997/cap2.pdf>. Acesso em: 20/09/2010.

TROPPEMAIR, H. **Rio Claro: ontem e hoje**. Rio Claro: Tribuna, 2000- 2008.

TUCKER, C. J.; SELLERS, P. J. Satellite remote sensing of primary production. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p.1395-1416, Nov. 1986.
TUTORIAL SPRING. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>. Acesso em: 18/09/2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em: <http://www.unica.com.br/>. Acesso em 20/11/2009.

VALENTE, R. de O. A. **Análise da estrutura da paisagem na Bacia do rio Corumbataí, SP**. 2001.162 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

VALERIANO, D. M. **Processamento digital de dados do MS-Landsat aplicado ao mapeamento da cobertura da terra da planície costeira do rio Tubarão, S.C.:** metodologia e estimativa de exatidão de classificação. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1985.

VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em: www.agrobyte.com.br. Acesso em: 09/02/2011.

VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em: www.sacarose.com.br. Acesso em: 09/02/2010.

VENIZIANI Jr, J. C. T. **Utilização de índices de vegetação para estimativa da proteção do solo pela cobertura vegetal:** uma contribuição para o uso da Equação Universal das Perdas de Solo. 2003. 137f. Dissertação (Mestrado em Análise da Informação Espacial) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

ZAINE, J. E. **Geologia da formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. 1994. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

APÊNDICES

APÊNDICE 1: Rotinas de normalização radiométrica das imagens CBERS (Banda 3 e 4) no LEGAL (software SPRING 4.3.3).

Exemplo das imagens de 23/09/08

a) Geração de Imagens Brightness e Greenness

```
{
Image Im3, Im4, ImG09, ImB09 ("cbers");
Im3=Recupere (Nome="B3_09");
Im4=Recupere (Nome="B4_09");
ImG09=Novo (Nome="GR_09", ResX=20, ResY=20);
ImB09=Novo (Nome="BR_09", ResX=20, ResY=20);
ImG09=((Im3*-0.5436) + (Im4*0.7243) + 100.5);
ImB09=((Im3*0.4743) + (Im4*0.5585) + 0.5);
}
```

b) Geração de Tabelas para o fatiamento das imagens Greenness e Brightness

1) Rotina para a tabela de fatiamento da imagem Brightness

```
{
Imagem im1 ("cbers");
Tematico tem ("tem_fatia");
Tabela tab (Fatiamento);
im1 = Recupere (Nome = "BR_09");
tab = Novo (CategoriaFim = "tem_fatia", [100,254] : "tab_clarosbr09", [0,80] :
"tab_escurosbr09");
tem = Novo (Nome = "fat_BR_09", ResX=20, ResY=20, Escala=40000);
tem = Fatie (Numerico(im1), tab);
}
```

2) Rotina para a tabela de fatiamento da imagem Greenness

```
{
Imagem im1 ("cbers");
Tematico tem ("tem_fatia");
Tabela tab (Fatiamento);
im1 = Recupere (Nome = "GR_09");
tab = Novo (CategoriaFim = "tem_fatia", [160,254] : "tab_clarosgr09", [0,110] :
"tab_escurosgr09");
tem = Novo (Nome = "fat_GR_09", ResX=20, ResY=20, Escala=40000);
tem = Fatie (Numerico(im1), tab);
}
```

c) Fatiamento de Imagens Greenness e Brightness

1) Rotina para o fatiamento da imagem Brightness

```
{
Image Im1 ("cbers");
Tematico temclaros, temescuros ("tem_fatia");
Tabela fatiaclaros (Fatiamento);
```

```

Tabela fatiaescuros (Fatiamento);
fatiacclaros = Novo (CategoriaFim = "tem_fatia",[100.0, 254.0] : "tab_clarosbr09");
fatiaescuros = Novo (CategoriaFim = "tem_fatia",[0.0, 80.0] : "tab_escurosbr09");
Im1 = Recupere (Nome="BR_09");
temclaros = Novo (Nome="fatia_BR_09_claros", ResX=20, ResY=20, Escala=40000);
temescuros = Novo (Nome="fatia_BR_09_escuros", ResX=20, ResY=20,
Escala=40000);
temclaros = Fatie (Numerico (Im1), fatiacclaros);
temescuros = Fatie (Numerico (Im1), fatiaescuros);
}

```

2) Rotina para o fatiamento da imagem Greenness

```

{
Image Im1 ("cbers");
Tematico temclaros, temescuros ("tem_fatia");
Tabela fatiacclaros (Fatiamento);
Tabela fatiaescuros (Fatiamento);
fatiacclaros = Novo (CategoriaFim = "tem_fatia",[160.0, 254.0] : "tab_clarosgr09");
fatiaescuros = Novo (CategoriaFim = "tem_fatia",[0.0, 120.0] : "tab_escurosgr09");
Im1 = Recupere (Nome="GR_09");
temclaros = Novo (Nome="fatia_GR_09_claros", ResX=20, ResY=20, Escala=40000);
temescuros = Novo (Nome="fatia_GR_09_escuros", ResX=20, ResY=20,
Escala=40000);
temclaros = Fatie (Numerico (Im1), fatiacclaros);
temescuros = Fatie (Numerico (Im1), fatiaescuros);
}

```

d) Cruzamento dos pontos claros e escuros Brightness e Greenness

1) Cruzamento dos pontos claros Brightness e Greenness

```

{
Tematico tem1, tem2, cross ("tem_fatia");
tem1=Recupere (Nome="fatia_BR_09_claros");
tem2=Recupere (Nome="fatia_GR_09_claros");
cross=Novo (Nome="cruza_claros_09", ResX=20, ResY=20, Escala=40000);
cross=Atribua (CategoriaFim="tem_fatia")
{
"claros09":(tem1.Classe == "tab_clarosbr09" && tem2.Classe == "tab_clarosgr09")
};
}

```

2) Cruzamento dos pontos escuros Brightness e Greenness

```

{
Tematico tem1, tem2, cross ("tem_fatia");
tem1=Recupere (Nome="fatia_BR_09_escuros");
tem2=Recupere (Nome="fatia_GR_09_escuros");
cross=Novo (Nome="cruza_escuros_09", ResX=20, ResY=20, Escala=40000);
cross=Atribua (CategoriaFim="tem_fatia")
{

```

```
"escuros09":(tem1.Classe == "tab_escurosbr09" && tem2.Classe ==
"tab_escurosgr09")
};
}
```

e) Média das máscaras

1) Média das Máscaras dos pontos claros

```
{
Image Im1, Im2 ("cbers");
Tematico tem ("tem_fatia");
Numerico Num1, Num2 ("medias");
Im1=Recupere (Nome="B3_09");
Im2=Recupere (Nome="B4_09");
tem=Recupere (Nome="cruza_claros_09");
Num1=Novo (Nome="media_claros_b3_09", ResX=20, ResY=20, Escala=40000,
Min=0, Max=255);
Num2=Novo (Nome="media_claros_b4_09", ResX=20, ResY=20, Escala=40000,
Min=0, Max=255);
Num1=MediaZonal (Im1, tem.Classe == "claros09");
Num2=MediaZonal (Im2, tem.Classe == "claros09");
}
```

2) Média das Máscaras dos pontos escuros

```
{
Image Im1, Im2 ("cbers");
Tematico tem ("tem_fatia");
Numerico Num1, Num2 ("medias");
Im1=Recupere (Nome="B3_09");
Im2=Recupere (Nome="B4_09");
tem=Recupere (Nome="cruza_escuros_09");
Num1=Novo (Nome="media_escuros_b3_09", ResX=20, ResY=20, Escala=40000,
Min=0, Max=255);
Num2=Novo (Nome="media_escuros_b4_09", ResX=20, ResY=20, Escala=40000,
Min=0, Max=255);
Num1=MediaZonal (Im1, tem.Classe == "escuros09");
Num2=MediaZonal (Im2, tem.Classe == "escuros09");
}
```

f) Retificação das Imagens a serem normalizadas (normalização das imagens de 23/09/08 com base nos cenários de 19/04/09)

```
{
Image Im309, Im409 ("cbers");
Image Im309R, Im409R ("IMG_RETIFICADA");
Im309=Recupere (Nome="B3_09");
Im409=Recupere (Nome="B4_09");
Im309R=Novo (Nome="B309_reti", ResX=20, ResY=20);
Im409R=Novo (Nome="B409_reti", ResX=20, ResY=20);
Bri3=30.4;
```

```

Bri4=142.8;
Bsi3=58.5;
Bsi4=137.7;
Dri3=14.8;
Dri4=24.4;
Dsi3=18.2;
Dsi4=19.9;
mi3=(Bri3 - Dri3)/(Bsi3-Dsi3);
bi3=(Dri3*Bsi3-Dsi3*Bri3)/(Bsi3-Dsi3);
Im309R=mi3*Im309+bi3;
mi4=(Bri4 - Dri4)/(Bsi4-Dsi4);
bi4=(Dri4*Bsi4-Dsi4*Bri4)/(Bsi4-Dsi4);
Im409R=mi4*Im409+bi4;
}

```

e) Obtenção das médias retificadas dos pontos claros e escuros

1) Média retificada dos pontos claros

```

{
Image Im1, Im2, Im3, Im4, Im5, Im7 ("IMG_RETIFICADA");
Tematico temCL ("tem_fatia");
Numerico NumCL1, NumCL2, NumCL3, NumCL4, NumCL5, NumCL7
("MEDIAS_retif");
Im2=Recupere (Nome="B309_reti");
Im3=Recupere (Nome="B409_reti");
temCL=Recupere (Nome="cruza_claros_09");
NumCL2=Novo (Nome="B309_reti_medi aclaros", ResX=20, ResY=20, Escala=40000,
Min=0, Max=255);
NumCL3=Novo (Nome="B409_reti_medi aclaros", ResX=20, ResY=20, Escala=40000,
Min=0, Max=255);
NumCL2=MedZ (Im2, temCL.Classe == "claros09");
NumCL3=MedZ (Im3, temCL.Classe == "claros09");
}

```

2) Média retificada dos pontos escuros

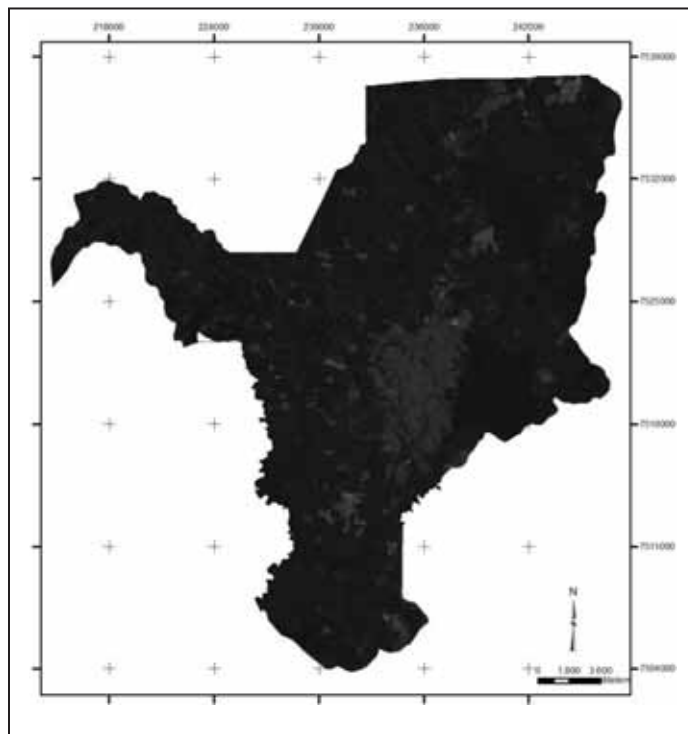
```

Image Im1, Im2, Im3, Im4, Im5, Im7 ("IMG_RETIFICADA");
Tematico temCL ("tem_fatia");
Numerico NumCL1, NumCL2, NumCL3, NumCL4, NumCL5, NumCL7
("MEDIAS_retif");
Im2=Recupere (Nome="B309_reti");
Im3=Recupere (Nome="B409_reti");
temCL=Recupere (Nome="cruza_escuros_09");
NumCL2=Novo (Nome="B309_reti_medi aescuros", ResX=20, ResY=20,
Escala=40000, Min=0, Max=255);
NumCL3=Novo (Nome="B409_reti_medi aescuros", ResX=20, ResY=20,
Escala=40000, Min=0, Max=255);
NumCL2=MedZ (Im2, temCL.Classe == "escuros09");
NumCL3=MedZ (Im3, temCL.Classe == "escuros09");

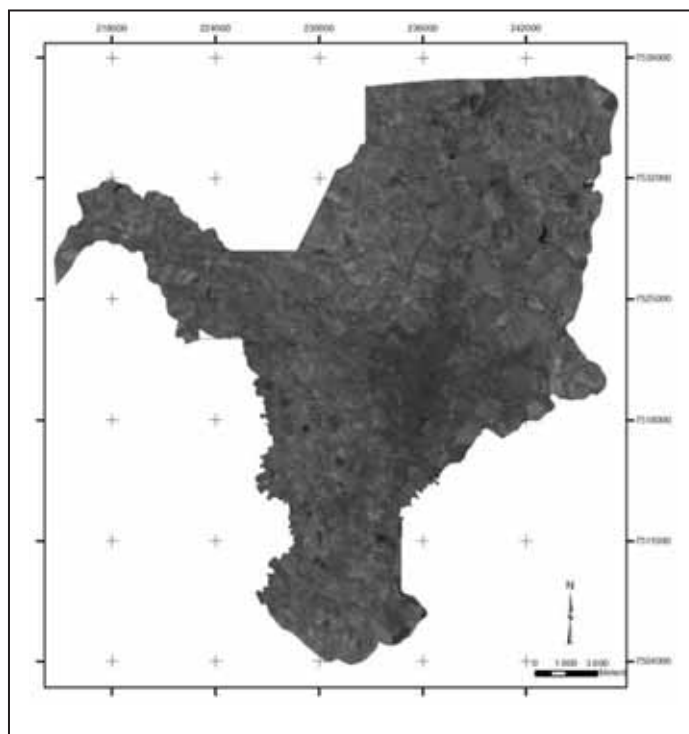
```

Observação: os mesmos procedimentos foram efetuados para a imagem de 19/04/09.

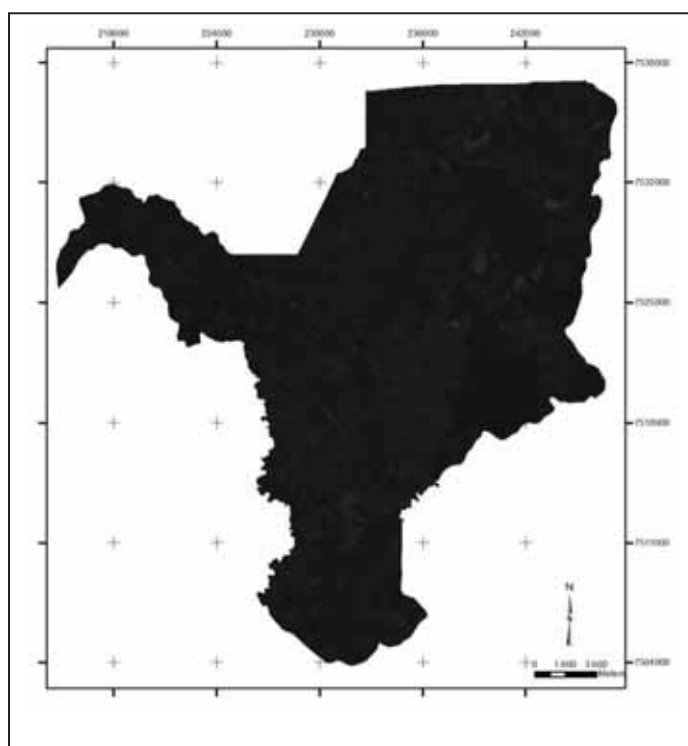
APÊNDICE 2: Comparação entre as imagens de referência e as imagens retificadas



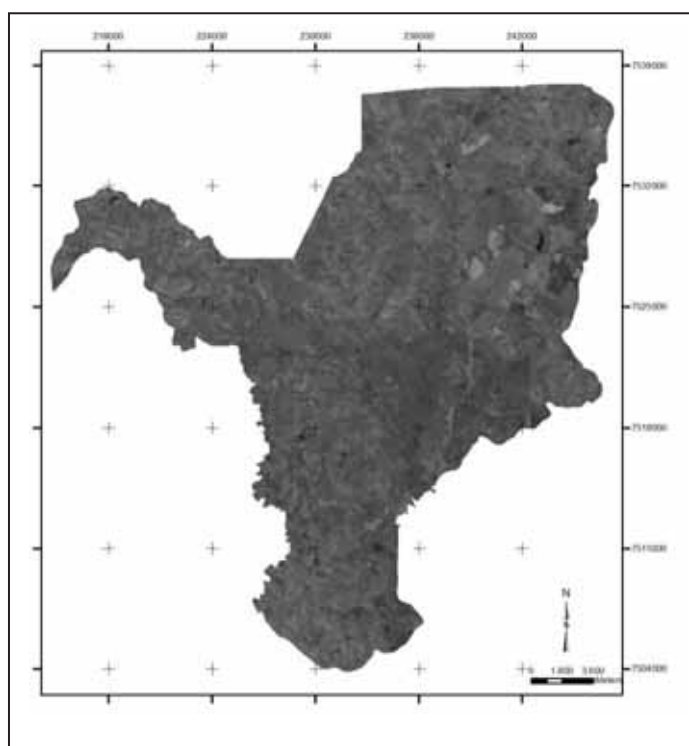
19/04/2009 (Banda 3) - Imagem Referência para a Retificação



19/04/2009 (Banda 4) - Imagem Referência para a Retificação



23/09/2008 (Banda 3) - Imagem Retificada



23/09/2008 (Banda 4) - Imagem Retificada

APÊNDICE 4: Descrição sistemática das amostras coletadas em campo

Ponto 1: representou a cultura de cana-de-açúcar (confirmando o mapeamento realizado). Na proximidade do ponto coletado havia a presença da cultura de cana por todos os lados. Um fato interessante observado durante o percurso até a chegada no ponto foi a presença da cana margeando o aterro sanitário do município, fator que pode ser prejudicial dependendo da destinação final dada a plantação (figura 1apêndice 5).

Ponto 2: localizado às margens da rodovia Cornélio Pires, havia a presença de cana no sentido leste, e do outro lado da rodovia, no sentido oeste, havia a presença de uma fábrica. Este ponto também confirmou a veracidade do mapeamento realizado. A cana neste ponto se apresentava em estágio de médio crescimento (figura 2 apêndice 5).

Ponto 3: também foi coletado na rodovia Cornélio Pires, no sentido Rio Claro – Piracicaba. Neste ponto foi observada a presença de cana no lado esquerdo da rodovia. Este ponto também confirmou a exatidão do mapeamento realizado. A cana se encontrava em estágio de médio crescimento (figura 3 apêndice 5).

Ponto 4: próximo a uma mineradora. A cultura da cana também estava presente em estágio de médio crescimento, assim como, no mapeamento realizado (figura 4 apêndice 5).

Ponto 5: também se referia à cultura de cana-de-açúcar. Para a sua coleta houve a necessidade de solicitar a abertura da porteira de uma grande fazenda canavieira. Durante todo o trajeto para a coleta do ponto amostral havia a presença da cultura da cana. Nesta fazenda encontramos talhões sendo preparados para plantio e a cana em diversos estágios de crescimento. Por se tratar de uma grande propriedade, a mecanização do plantio e da colheita puderam ser visualizados (figuras 1 e 2).



Figura 1: Trajeto percorrido em direção ao ponto amostral 5 representativo do solo sendo preparado para o plantio



Figura 2: Ponto amostral 5

Ponto 6: também continha a cultura de cana. Encontrava-se próximo a uma mineração. O ponto amostrado era visualmente margeado por esta mesma cultura nos seus arredores e se apresentava no final de seu estágio de desenvolvimento (figura 5 apêndice 5).

Ponto 8: também apresentava a cultura de cana em estágio de médio desenvolvimento (figura 6 apêndice 5).

Ponto 9: foi coletado no último acesso mais próximo ao ponto que havia sido selecionado no sorteio. Na área continha a cultura de cana, também classificada

corretamente no mapeamento em questão. Ao redor do ponto coletado a única cultura presente era a da cana-de-açúcar (figuras 7 apêndice 5).

Ponto 10: não foi coletado no local selecionado previamente devido ao desconhecimento de estradas e caminhos passíveis de serem percorridos. Desta forma, o ponto coletado foi posteriormente conferido com o mapeamento realizado, indicando que a classificação foi definida corretamente. No entanto, através da figura 8 do apêndice 5 pode-se notar que há alguns metros do ponto coletado (no sentido nordeste) havia uma pequena propriedade com a presença de pasto, alvo que foi erroneamente classificado como cana nova devido as semelhanças espectrais e a presença de cana em toda sua proximidade.

Ponto 11: também apresentou irregularidade quando comparado ao mapeamento realizado. Nota-se que a refletância da fábrica que estava contida no local erroneamente classificado como cana em estágio de solo preparado para o plantio, foi confundida com a cana com palhiço que possui semelhanças espectrais. Além disso, ao redor da fábrica havia a presença de pequenos arbustos passíveis de serem confundidos com a cultura de cana (figura 9 apêndice 5)

Ponto 12: continha a cultura de cana em sua área, confirmando o mapeamento realizado. Além disso, em seus arredores, essa cultura prevalecia no local. A cana se encontrava em estágio médio de desenvolvimento (figura 10 apêndice 5)

Ponto 13: foi coletado margeando a rodovia Irineu Penteado, no sentido Rio Claro- Ipeúna. Do lado direito da estrada havia cana sendo preparada para o plantio e do lado esquerdo cana pequena. Essas observações também estão de acordo com o mapeamento realizado (figura 11 apêndice 5).

Ponto 14: foi coletado no mesmo talhão previsto, no entanto, não no meio do talhão como estava programado, mas no caminho mais próximo a este ponto. A cultura de cana estava presente no local em médio estágio de desenvolvimento (figura 12 apêndice 5).

Ponto 15: foi coletado no último acesso disponível mais próximo ao ponto pré-selecionado. No ponto constatou-se a presença da cultura de cana-de-açúcar, classificada corretamente no mapeamento (figura 13 do apêndice 5).

Ponto 16: também confirmou o mapeamento realizado. Neste ponto observou-se a presença de cana em estágio de desenvolvimento pequeno/médio. No chão ainda restava pedaços de cana queimada, fato que pôde ser notado principalmente em algumas

pequenas propriedades com esse cultivo. As grandes propriedades, não apresentaram indícios de queima pré-corte (figura 14 apêndice 5).

Ponto 17: foi mapeado como cana-de-açúcar, no entanto as constatações demonstraram que se tratava de pastagem. Em imagens de maior resolução espacial pode-se constatar este fato com maior facilidade. Em imagens de baixa resolução espacial, como a trabalhada nesta pesquisa, não foi possível distinguir esse alvo devido à semelhança na refletância.

Ponto 18: não foi possível de ser percorrido, devido à falta de acessibilidade. Desta forma, foi selecionado o ponto mais próximo do ponto planejado como referência amostral. Neste ponto, foi observada a presença de pasto por grandes extensões de terras vizinhas. No mapeamento realizado a identificação desse uso da terra não foi confundida com a cana-de-açúcar, o que demonstra a classificação correta dos alvos nesta área do município (figura 15 apêndice 5).

Ponto 19: foi erroneamente classificado. Pode-se observar até mesmo pela imagem Alos utilizada no campo que o alvo do ponto selecionado se tratava de pastagem. Além da resposta espectral da pastagem e da cana serem semelhantes, outro fator contribuiu para a confusão dos alvos, já que através da imagem CBERS não foi possível observar as árvores características dos pastos.

Ponto 20: foi coletado na rodovia Wilson Finardi no sentido Rio Claro- Araras, o uso do solo neste ponto representou a cana no estágio médio de desenvolvimento (figura 16 apêndice 5).

Ponto 21: também foi coletado próximo à rodovia Wilson Finardi. Neste ponto havia a presença de cana média (figura 17 apêndice 5).

Ponto 22: presença de um “mar de cana”. Essa área analisada localiza-se próxima ao horto florestal de Rio Claro. O talhão verificado apresentava-se no início de seu desenvolvimento (figura 18 apêndice 5).

Ponto 23: localiza-se muito próximo ao ponto 22, apresentando características muito semelhantes às daquele ponto amostral.

Ponto 24: não foi possível chegar a este ponto amostral, no entanto, o ponto foi coletado na área mais próxima ao ponto inicialmente determinado, onde também havia a presença da cultura de cana-de-açúcar, coincidindo com o mapeamento realizado. Havia uma mineradora próxima ao local do ponto coletado.

Ponto 25: foi mapeado incorretamente como cana-de-açúcar, sendo que na realidade representava a pastagem.

Pontos 26 e 27: foram escolhidos no momento do campo devido aos pontos que não puderam ser analisados devido à falta de caminho e o desconhecimento de estradas que levassem ao local desejado.

O ponto 26 representou o pasto que coincidiu com o mapeamento realizado, que nesta área não foi classificada como cana (figura 19 apêndice 5).

O uso da terra no ponto 27, no entanto, apresentava a cultura de cana-de-açúcar, que não estava presente no mapeamento elaborado para o município (figura 20 apêndice 5).

Ponto 28: localizado na porção norte do município estava de acordo com o mapeamento realizado, apresentando a cultura da cana-de-açúcar em seu estágio de médio desenvolvimento (figura 21 apêndice 5).

Ponto 29: o local mais próximo ao ponto inicialmente pré-estabelecido foi observado. Neste local havia a presença da cultura da cana-de-açúcar, como também no mapeamento realizado.

Ponto 30: foi sorteado no momento da realização do campo, e também confirmou o mapeamento. No local foi encontrada a cultura de cana-de-açúcar.

APÊNDICE 5: Fotos registradas no trabalho de campo

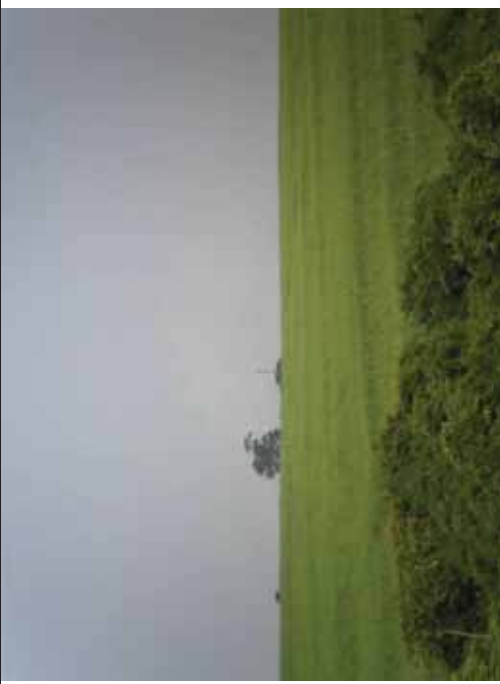
		
Figura 1: Ponto Amostral 1 – Cana em estágio inicial de desenvolvimento 	Figura 2: Ponto Amostral 2 – Cana em estágio de médio desenvolvimento 	Figura 3: Ponto Amostral 3 – Cana em estágio de desenvolvimento médio 

Figura 4: Ponto Amostral 4 – Cana em estágio de desenvolvimento médio 		Figura 5 – Ponto amostral 7 - Cana em estágio de desenvolvimento médio 	Figura 6 – Ponto amostral 8 - Cana em estágio de desenvolvimento médio 
Figura 7 – Ponto amostral 9 - Cana em pequeno estágio de desenvolvimento 		Figura 8 – Ponto amostral 10 - Cana em estágio de desenvolvimento médio 	Figura 9 – Ponto amostral 11 – Ponto erroneamente classificado – Havia a presença de uma fábrica no local 
Figura 10 – Ponto amostral 12 - Cana em estágio de desenvolvimento médio 	Figura 11 – Ponto amostral 13 - Cana em estágio inicial de desenvolvimento (lado esquerdo da rodovia) 	Figura 12 – Ponto amostral 14 - Cana em estágio de desenvolvimento médio 	

 Figura 13 - Ponto amostral 15 - Cana adulta	 Figura 14 - Ponto amostral 16 - Cana em estágio de desenvolvimento pequeno/médio	 Figura 15 - Ponto amostral 18 - Pastagem
 Figura 16 - Ponto amostral 20 - Cana em estágio de desenvolvimento médio	 Figura 17 - Ponto amostral 21 - Cana em estágio de desenvolvimento médio	 Figura 18 - Ponto amostral 22 - Cana em pequeno estágio de desenvolvimento

		
Figura 19 – Ponto amostral 26 – Pasto com capim	Figura 20 – Ponto amostral 27 - Cana a cerca de 50 metros do ponto coletado	Figura 21- Ponto amostral 28 – Cana média

ANEXOS

**ANEXO 1: DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NOS ANOS DE 2008 E 2009
NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO**

2008	ALTURAS DIÁRIAS DE CHUVA (mm)											
DIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1						8,8						
2	0,4		22,0		1,0	0,6				26,7		
3	0,4	3,1	4,6		20,1			12,9		0,9	1,4	16,8
4		1,1		13,0		16,1		4,1				
5	1,6					14,9				1,2		
6	14,2							2,9		2,4		
7	4,9	1,0		3,8					1,4	9,6	29,1	
8		6,8		1,1				21,5	0,8	0,2	2,3	
9			0,7	8,7				4,8	1,9			
10		3,2	7,5	5,9				7,7	0,1			
11		0,9		23,1							7,2	4,8
12	1,8	16,7	15,9							12,7	9,8	68,5
13			3,0								19,4	
14	21,7		7,9	4,5					9,7		0,7	
15	25,4	0,4	34,0	7,1					0,6			
16	0,6		1,4			5,3						2,3
17	15,7	5,5		0,2								16,1
18	0,3		24,0									
19	2,0	53,2	21,4		5,4					5,8		
20	11,2			1,9								1,1
21	27,5	6,4		3,0					7,1	5,9		8,3
22		4,0							1,1		11,3	19,6
23		9,1		10,1		2,3					0,6	25,7
24		4,8	12,1			0,3					1,7	
25		24,9				4,9					0,2	32,3
26			13,5						12,0			27,5
27									1,8			
28	1,7									5,1		
29	18,8											
30	26,8			24,1	5,7	0,2		0,5		43,1	2,8	1,4
31	0,3				1,0							

Fonte: Estação Meteorológica CEAPLA/UNESP/Rio Claro

**ANEXO 1: DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NOS ANOS DE 2008 e 2009
NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO**

2009	ALTURAS DIÁRIAS DE CHUVA (mm)											
DIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	15,7	0,2										
2										0,3		1,6
3	7,2	15,5					0,6					33,0
4	71,8	23,4			0,5		0,3		2,7	6,7		1,4
5	3,9	5,7			2,6				3,0			
6									0,2		28,9	
7				11,1					18,8	4,2	1,4	0,9
8	0,4	1,7								7,4	29,6	15,6
9		24,7	1,1						62,2	2,1	0,5	38,0
10	3,3	25,4	47,0						4,6		7,5	
11		1,2	6,0			10,6	1,0					12,3
12		6,6	19,1			3,9	8,5				2,3	13,7
13		44,8	28,0	2,3		2,3				23,3		5,6
14		3,6	4,3	11,4	23,6							5,8
15	28,4	7,8	5,8	0,4	14,8					0,3		8,2
16		22,7	8,2		1,9					7,4	5,3	
17	4,5											
18	10,7		14,0					4,2		7,7		24,4
19	4,3	0,5					6,1	31,4	4,1	2,3	1,7	
20	4,2	1,0	2,9					25,1	1,7	6,5	0,4	
21	16,5							9,7				4,4
22		3,2	15,8						9,8	11,8	4,6	
23		0,2	3,9						0,7			
24		6,9	0,4	0,1			5,5	13,0	18,7		20,4	
25	4,8	30,2					14,1	1,6			5,7	0,8
26	40,2					5,4	3,1					2,0
27	9,3						1,8			36,8	41,3	2,5
28	23,5					6,5					5,3	8,3
29	15,6		1,3				1,9		4,8		13,0	119,7
30	16,9										0,3	33,7
31	5,4											0,4

Fonte: Estação Meteorológica CEAPLA/UNESP/Rio Claro