



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

**QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA DA TERRA INDÍGENA SETE DE SETEMBRO
UTILIZANDO IMAGEM DO SENSOR TM DO SATÉLITE LANDSAT 5**

Wesley Luis Pacheco

Orientador: **Edson Sano**

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

BRASÍLIA

2009

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

**QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA DA TERRA INDÍGENA SETE DE SETEMBRO
UTILIZANDO IMAGEM DO SENSOR TM DO SATÉLITE LANDSAT 5**

Wesley Luis Pacheco

Orientador: **Edson Sano**

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

BRASÍLIA

2009

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

**QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA DA TERRA INDÍGENA SETE DE SETEMBRO
UTILIZANDO IMAGEM DO SENSOR TM DO SATÉLITE LANDSAT 5**

Wesley Luis Pacheco

Orientador: **Edson Sano**

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof.	_____
Examinadores:	Prof.	_____
	Prof.	_____

BRASÍLIA

2009

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiramente às comunidades indígenas que lutam pelo seu espaço e sobrevivência de suas culturas e tradições. Também dedico à Equipe de Conservação da Amazônia – ACT Brasil pelo seu árduo trabalho de fortalecimento das comunidades indígenas e preocupação com a conservação do meio ambiente e por fim a minha esposa e família que mantiveram a energia necessária para a conclusão deste trabalho.

QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA DA TERRA INDÍGENA SETE DE SETEMBRO UTILIZANDO IMAGEM DO SENSOR TM DO SATÉLITE LANDSAT 5

Wesley Luis Pacheco

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar método quantitativo de biomassa em desenvolvimento comparativo entre informações quantitativas de biomassa obtidas de trabalho em campo e extrapolação de dados diretos seguindo o padrão de resposta espectral do sensor TM. A obtenção do quantitativo de biomassa da terra indígena Sete de Setembro se deve às perspectivas de obtenção de certificados de carbono através do mecanismo REDD com conversão em recursos financeiros a serem aplicados em projetos de etnodesenvolvimento. O método de análise empregado utiliza do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI em correlação com dados de biomassa levantados em campo e, através de extrapolação distribui de forma proporcional aos valores digitais da imagem NDVI o valor comparativo obtido pela curva de correlação. O coeficiente de correlação encontrado foi $r = 0,558$, considerado moderado que projetou um valor em toneladas de carbono de 19.250.839,15, coerente com valores estimados em literatura para região. O método empregado pode vir a ser desenvolvido em outras terras indígenas, considerando a necessidade de obtenção de saldo de biomassa de forma indireta, reduzindo custo e tornando viáveis as estimativas com objetivo de obtenção de recursos provenientes do mercado de carbono a serem aplicados na causa indigenista.

Palavras-chave: carbono, NDVI, biomassa

QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA DA TERRA INDÍGENA SETE DE SETEMBRO UTILIZANDO IMAGEM DO SENSOR TM DO SATÉLITE LANDSAT 5

Wesley Luis Pacheco

ABSTRACT

This paper aims to develop a method to get the biomass estimation in comparative development between both quantitative information of biomass obtained the work in field and the extrapolation of the direct data following the standard spectral response of the TM sensor. The biomass amount obtained in the Sete de Setembro Indigenous Land refers to the perspective to obtain carbon certificates amongst the REDD mechanism with the conversion into financial resources to be applied in ethnodevelopment projects. The method of analysis applied uses the NDVI in correlation with the biomass data acquired in field activities and throughout of the extrapolation distributes on a proportional way the digital values of the NDVI image the comparative value obtained by the correlation curve. The correlation coefficient found is $r=0,558$, considering moderate that projected a value in tons of carbon of 19,250,839.15, coherent with the estimated amounts in the literature for the region. The applied method might be developed in other indigenous regions, considering the need to obtain the biomass amount on an indirect way, reducing the costs and turning it into viable the estimation with the objective of obtaining the carbon market resources to be applied to the indigenous cause.

Keywords: carbon, NDVI, biomass

ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica da terra indígena Sete de Setembro	1
Figura 2 - Transmitância atmosférica baseada nos principais gases e vapor de água – (Green, 2001)	3
Figura 3 - Imagem do cardume com a rede de pesca e barco, usando o sistema LLLVS (Stevenson et al 1984).	5
Figura 4 - Cruzamento de informações de dados de precipitação da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental do Estado de Rondônia, modificado com o limite geográfico da terra indígena Sete de Setembro (SEDAM/RO).....	7
Figura 5 - Estoque de carbono de terras indígenas na Amazônia Legal - (Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG - CSR/UFMG)	12
Figura 6 - Localização dos transectos Apoena Meirelles e Lapetanha na terra indígena Sete de Setembro	14
Figure 7 – Fluxograma metodológico do trabalho. T.I. – Terra indígena	16
Figure 8 - Cruzamento de informações de dados de precipitação da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental do Estado de Rondônia, modificado com o limite geográfico da terra indígena Sete de Setembro (SEDAM/RO).....	20
Figura 9 - Imagem de reflectância da terra indígena Sete de Setembro em composição R = 660 nm, G = 550 nm e B = 485 nm.....	25
Figura 10 - Imagem NDVI da terra indígena Sete de Setembro e sua feições reais bandas 3 e 4	26
Figure 11 - Faixa de variação dos valores de NDVI internos a terra indígena Sete de Setembro, excluindo-se valores de zero em biomassa.....	27
Figure 12 - Valores NDVI externos a terra indígena Sete de Setembro.....	27
Figure 13 – Comparação entre os dados shapefile derivados e a imagem NDVI em região de afloramento rochoso.....	29
Figure 14 - Demonstrativo de biomassa por hectare da área parcial da TI Sete de Setembro .	29
Figure 15 - Limite da terra indígena Sete de Setembro em comparação com a área de abrangência da imagem 230/068	30
Figure 16 - Estoque de carbono de terras indígenas na Amazônia Legal - (Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG - CSR/UFMG)	31

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Equações de regressão de biomassa.....	06
Quadro 1 - Valores de biomassa calculados por transecto na região de apoená meirelles e lapetanha considerando cada equação de regressão de biomassa....	16
Table 2 - Taxas dinâmicas de pós-calibração das imagens tm do satélite landsat 5 (nlaps).....	9
Table 3 - Taxas dinâmicas de pós-calibração das imagens tm do satélite landsat 5 (nlaps).....	17
Quadro 2 - valores de biomassa calculados por transecto na região de apoená meirelles e lapetanha considerando cada equação de regressão de biomassa....	20

ABREVIATURAS E SIGLAS

Aw – Clima Tropical Chuvoso

BIL – Band-Interleaved-by-Line

BIP – Band-Interleaved-by-Pixel

BSQ – Band-Interleaved ou Band-Sequencial

CSR/UFMG – Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas

Gerais

FWHM – Full-width-half-maximum

INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

NASA – National Aeronautics and Space Administrator

NDVI – Índice de vegetação da diferença normalizada

PDD – Project Design Documento – Documento de Concepção de Projeto

RMS – Root Mean Square ou Erro Médio Quadrático

SEDAM – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia

SUMÁRIO

ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS E TABELAS	viii
ABREVIATURAS E SIGLAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 Sensoriamento Remoto e Biomassa	4
2.2 Determinação de Biomassa através de Inventários Florestais	6
2.3 Sensoriamento Remoto e Biomassa	7
2.4 Quantificação de Biomassa a partir dos Valores Digitais Orbitais	10
3 OBJETIVOS	12
3.1 Objetivo Geral:	12
3.2 Objetivos Específicos:	13
4 MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 Materiais	13
4.2 MÉTODOS	15
4.2.1 Levantamento Arbóreo	15
4.2.2 Processamento digital da imagen landsat 5 e conversão dos dados de reflectância em tonelada de carbono	16
4.2.3 Metodologia de tratamento e obtenção dos dados	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
6 CONCLUSÃO	32
7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	34

1 INTRODUÇÃO

Esta monografia destina-se ao desenvolvimento de metodologia para quantificação de biomassa da terra indígena Sete de Setembro localizada na porção nordeste do estado de Rondônia com 100.000,00 hectares e noroeste do estado do Mato Grosso com 149.000,00 hectares, perfazendo um total de 249.000,00 hectares conforme o mapa abaixo:

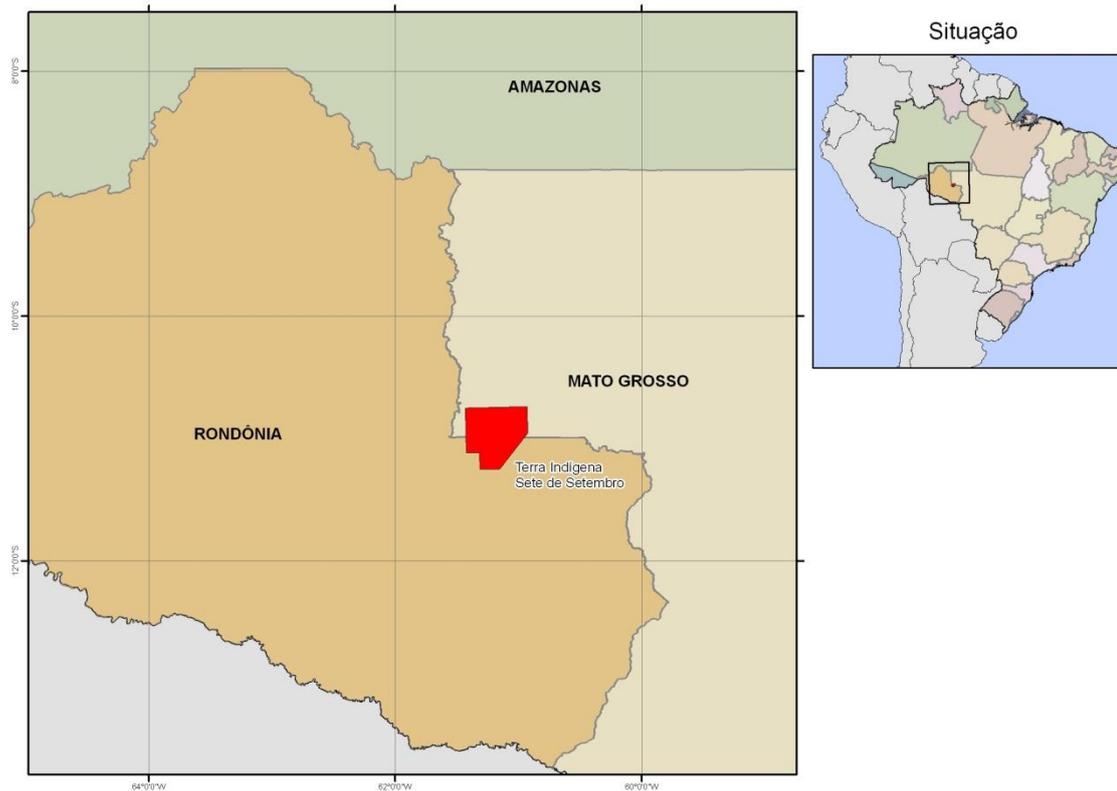


Figura 1 - Localização geográfica da terra indígena Sete de Setembro

Com a crescente demanda por recursos naturais nas últimas décadas a pressão madeireira tem se intensificado nas unidades de conservação e terras indígenas, citadas algumas vezes com ilhas da biodiversidade, pois, em muitos dos casos o entorno destas unidades de conservação é representado por áreas antropizadas. Considerando o processo de antropização as terras indígenas possuem uma vantagem sobre as unidades de conservação, pois, o fato de serem habitadas por seus nativos que a reconhecem como território a defendem para garantir a perpetuação de seu povo agindo como uma barreira a mais às frentes de degradação.

O estado de Rondônia, em função do processo de colonização incentivado pelo governo federal na década de 1970 e com a construção da BR-364, é um dos mais afetados quando se refere às áreas desmatadas. A maior parte da cobertura vegetal do estado foi substituída pelas pastagens e monocultura.

Neste contexto histórico se encontra a terra indígena Sete de Setembro que na década de 1960 perfaziam mais ou menos 5000 indígenas conforme contam e após o contato com os técnicos da Fundação Nacional do Índio – FUNAI (na época Serviço de Proteção ao Índio – SPI) e operários da BR-364, tiveram sua população reduzida a 250 indivíduos por causa da baixa imunidade às doenças do não indígena e, hoje perfazem um total aproximado de 1.300 indígenas.

O povo Paiter através de sua liderança Almir Surui, vem lutando contra a lógica do desmatamento e degradação dos recursos naturais de seu território e para isso está buscando recursos de fontes financiadoras com intuito de custear atividades de fortalecimento, capacitação, levantamentos técnicos dos recursos naturais de sua terra, além de executar atividades que colaboram com sua auto-sustentabilidade.

Um das possibilidades latentes de recursos são os chamados Pagamentos por Serviços Ambientais – PSA, que neste momento para o povo Paiter importam duas metodologias para a obtenção dos certificados de crédito de carbono. A primeira com um projeto de reflorestamento que em termos de crédito de carbono trabalha com a lógica do seqüestro do carbono atmosférico. A segunda com um projeto de manutenção do estoque de carbono da terra indígena Sete de Setembro trabalhando com o mecanismo de Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação – REDD.

Nesta perspectiva o povo Paiter iniciou com o processo de reflorestamento que consiste no desenvolvimento de projetos de reflorestamento das áreas de pastagens provenientes do momento de demarcação da terra indígena. Uma das maiores dificuldades encontrada pelo povo Paiter no desenvolvimento desta proposta foi o uso ao qual se destina estas áreas hoje em dia pelas famílias Paiter. A proposta do projeto tem por definição a mudança de uso destas áreas para o reflorestamento e posterior obtenção de crédito de carbono com repartição dos benefícios entre o povo Paiter, no entanto, nestas áreas algumas famílias conseguem de forma concreta um escasso recurso que lhe permitem certa qualidade de vida. A aposta que estas famílias têm que fazer em trocar o certo pelo duvidoso trouxe morosidade ao desenvolvimento do projeto o que fez com que se optasse pela segunda metodologia de serviços ambientais.

No mecanismo de REDD as dificuldades deixaram de ser político-sociais e passaram para o domínio técnico. O mecanismo REDD incentiva a conservação das áreas de florestas, considerando o estoque de carbono que essas possuem, uma vez que não conservadas podem transferir todo o seu estoque de carbono para a atmosfera. Neste projeto além de toda a base informacional necessária, é importante quantificar de forma confiável a biomassa existente na terra indígena e posteriormente fazer sua conversão em toneladas de carbono estocada.

Essas metodologias estão associadas às preocupações mundiais com o aquecimento global. Os gases do efeito estufa como o gás carbônico CO_2 são responsáveis em parte pela manutenção da temperatura terrestre.

O vapor de água e os gases de importância e Geradores do Efeito Estufa – GEE, são a água (H_2O) em forma de vapor, o gás carbônico (CO_2), o ozônio (O_3), o metano (CH_4) e o óxido nítrico (NO_2), abaixo é possível verificar a intensidade de absorção destes gases na atmosfera.

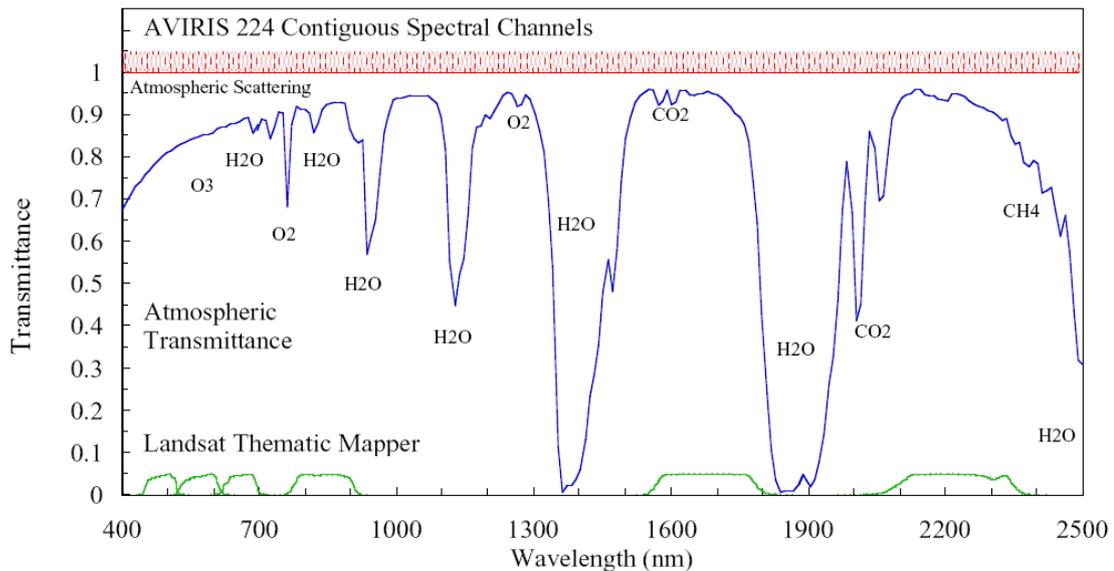


Figura 2 - Transmitância atmosférica baseada nos principais gases e vapor de água – (Green, 2001)

Dentre estes consideremos a molécula de CO_2 que possui entre seus carbonos e o átomo de oxigênio duas duplas ligações. Essas ligações têm a propriedade de interagir com a radiação eletromagnética solar, resultando em um processo de estiramento ou vibração definindo um fluxo de absorção da energia solar e emissão. Melhor dizendo, a radiação solar que penetra a atmosfera é refletida pela superfície terrestre e por sua vez na interação com as moléculas de gás carbônico retorna novamente à superfície terrestre em forma de calor. Este processo define-se o efeito estufa. Portanto, uma quantidade muito grande de carbono na forma de CO_2 na atmosfera aumenta a eficiência da concentração da radiação solar e conseqüentemente a temperatura global, por outro lado, uma quantidade baixa de carbono na forma de CO_2 na atmosfera diminui a eficiência da concentração da radiação solar e conseqüentemente a temperatura, conforme Gustavo (2003) em função deste processo de retenção da energia de radiação solar a temperatura média do planeta mantêm-se em 16°C e na sua ausência a temperatura cairia cerca de 32°C , chegando a uma temperatura média anual de -18°C . Existe uma quantidade ideal de gases do efeito estufa na atmosfera que mantenha a temperatura global

nos níveis aceitáveis para a manutenção da biota terrestre. O que ocorre hoje em dia é que as emissões de Gases do Efeito Estufa - GEE têm aumentado em função do modelo de produção e é necessário desenvolver mecanismos que permitam regular as toneladas de carbono que são enviadas para a atmosfera, ou modificar nosso modelo de produção atual o que seria um fracasso para o modelo econômico praticado hoje em dia.

No processo de reflorestamento a árvore na fase de crescimento utiliza do carbono atmosférico para aumentar sua biomassa, o que pode ser chamado de seqüestro de carbono atmosférico. Em seu estado de maturação o que uma árvore seqüestra de CO₂ ela libera também para atmosfera resultando em um balanço equilibrado.

No mecanismo de Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação - REDD o processo se diferencia pelo fato de que o carbono do qual se trata está estocado na forma de biomassa, e pode vir a ser liberado se nenhuma iniciativa de proteção deste estoque vir a ser desenvolvida. Por exemplo, um incêndio florestal emite toneladas de CO₂ para atmosfera, uma vez que se fossem tomadas as iniciativas necessárias para inibir este tipo de incidente essas toneladas de carbono continuariam em estoque.

Portanto, a quantificação de biomassa e conversão em toneladas de carbono é de extrema importância em mecanismos REDD que vêm a contribuir com parcela significativa dos recursos provenientes para aqueles que possuem áreas florestadas e, no caso, as terras indígenas.

Para a quantificação de biomassa são utilizados dois métodos, o método direto que consiste no inventário florestal de toda a área florestada e o método indireto que a partir do inventário florestal de uma parcela se extrapola para toda a área. Em áreas muito grandes como a maioria das terras indígenas a utilização das técnicas de sensoriamento remoto fundamentadas em inventários florestais têm sido preponderantes para a quantificação de biomassa, pois permitem extrapolar de forma controlada as taxas de biomassa identificadas.

A proposta deste trabalho tem por função testar as imagens do sensor TM LandSat 5 para a quantificação de biomassa tomando por base os recentes dados preliminares do inventário florestal que está sendo realizado na terra indígena Sete de Setembro. Com a quantificação de biomassa pretende-se também estabelecer as toneladas de carbono estocadas na terra indígena e fornecer subsídios suficientes para compor o Documento de Concepção do Projeto – PDD de valoração dos créditos de carbono da terra indígena.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sensoriamento Remoto e Biomassa

Estudos na década de 1980 remontam as tentativas dos pesquisadores em associar técnicas de sensoriamento remoto à identificação de biomassa. Um dos focos claros da década de 1980 era otimizar as técnicas de localização e quantificação da biomassa de cardumes com o intuito de minimizar os custos na pesca comercial. Stevenson et al (1984) relata em seu trabalho a utilização do Sistema Vidicon de Nível Baixo de Luz (LLLVS) usado para detectar sinais fracos de bioluminescência associados a cardumes no período de lua nova. Para isso, utilizou de modelo simples para correlacionar a concentração de peixes com níveis digitais particulares obtidos através do LLLVS chegando a estimar uma biomassa de cardume de 6,4 toneladas métricas. Na década de 1970 (Stevenson et al, Roithmayr, 1970) concluiu em seu trabalho Airborne low-light sensor detects luminescing fish schools at night ser possível identificar 30 espécies de peixes bioluminescentes. Os sensores aerotransportados eram utilizados a noite para diminuir a luz de fundo e melhorar o contraste das imagens obtidas pelo LLLVS. Abaixo um exemplo das imagens obtidas pelo LLLVS na década de 1980.



Figura 3 - Imagem do cardume com a rede de pesca e barco, usando o sistema LLLVS (Stevenson et al 1984).

Já, nas últimas décadas com o foco crescente do uso de recursos madeireiros a técnicas para cálculo de volume e massa de madeira tornaram-se mais relevantes e exigiram métodos cada vez mais eficazes e com custos mais reduzidos com a intenção de verificar a viabilidade de projetos de manejo madeireiro e também de extração ilegal de madeira.

Hoje em dia com a crescente demanda do mercado global e acúmulo de GEEs na atmosfera tem-se buscado metodologias para quantificar a biomassa de florestas com a intenção de quantificar tanto o volume de carbono estocado quanto o volume de carbono seqüestrado

por uma floresta na sua fase de crescimento, o que pode ser observado nos trabalhos de Santos (1998), Foody et al. (2003), Baptista (2003), Cerqueira et al. (2007) entre outros. Todos estes trabalhos têm boas perspectivas para encontrar soluções de quantificação de biomassa ou trocas gasosas entre biomassa e atmosfera considerando métodos indiretos com rápida obtenção e credibilidade suficiente para servir de fundamentação em Documento de Concepção de Projeto – PDD para a certificação de créditos de carbono no mercado regulado de comercialização de carbono. Para tal, metodologias que envolvem inventários florestais e técnicas de sensoriamento remoto, têm sido preponderantes para a obtenção de sucesso nas estimativas de biomassa com fins de conversão destas em certificados de carbono.

2.2 Determinação de Biomassa através de Inventários Florestais

Conforme Brown (1997), biomassa é compreendida como a quantidade total de matéria orgânica viva de árvores sobre a superfície como tonelada seca por unidade de área.

No texto de Cerqueira et al. (2007) a obtenção dos valores de biomassa pode-se dar de forma direta sendo destrutiva e tendo como consequência a derrubada da vegetação para sua precisa quantificação. De forma indireta, através de extrapolações baseadas em dados extraídos em trabalhos de quantificação direta. O desenvolvimento deste trabalho está baseado na identificação de forma indireta de dados físicos de árvores como CAP e altura. O método de extrapolação utilizado para o cálculo de biomassa aqui enfatizado é descrito por Brown (1997), que apresenta equações de regressão de biomassa combinando valores de DAP, Área Basal e o clima que rege as estações da região de análise. São apresentadas em seu trabalho cinco equações a serem aplicadas dependendo da região de trabalho, conforme o quadro abaixo:

Índice	Zona climática	Função	Faixa de DBH	Nº de árvores	Coefficiente de correlação	Fonte – Brown (1997)
EB1	Seca	$Y = \exp\{-1,996 + 2,32 * \ln(D)\}$	5-40	28	0,89	Brown et al. (1989)
EB2		$Y = 10^{\{-0,535 + \log_{10}(BA)\}}$	3-30	191	0,94	Martinez-Yrizar et al. (1992)
EB3	Úmida	$Y = 42,69 - 12,8(D) + 1,242(D^2)$	5-148	170	0,84	Brown et al. (1989)
EB4		$Y = \exp\{-2,134 + 2,530 * \ln(D)\}$			0,97	
EB5	Muito úmida	$Y = 21,297 - 6,593(D) + 0,74 * (D^2)$	4-112	169	0,92	Brown e Iverson (1992).

Tabela 1 - Equações de regressão de biomassa

A equação EB1 é baseada em dados de floresta seca na Índia, EB2 de floresta seca no México ambas aplicadas a uma média anual de precipitação abaixo de 900 mm/ano. Em seu trabalho, Brown (1997), classifica zonas climáticas secas com uma precipitação anual abaixo de 1500 mm/ano, zonas climáticas úmidas de 1500 a 4000 mm/ano e as zonas climáticas muito úmidas acima de 4000 mm/ano. Considerando, portanto, as equações EB3 e EB4 como funções a serem aplicadas em florestas tropicais com um regime de chuvas mediano para chuvoso e uma

curta estação de seca durante o ano, já a equação EB5 para um regime de chuvas acentuado e sem estação de seca durante o ano.

O estado de Rondônia, no qual se encontra a terra indígena Sete de Setembro possui um clima predominantemente tropical, úmido e quente durante todo o ano. Segundo a classificação de Köppen, o estado de Rondônia possui um clima do tipo Aw – Clima Tropical Chuvoso com uma precipitação anual média variando entre 1.400 a 2.500 mm/ano. Conforme dados e mapa publicados no portal de comunicação WEB da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental – SEDAM, foi utilizado o mapa da SEDAM em contraste com a terra indígena Sete de Setembro o que permitiu identificar a faixa de precipitação na terra indígena, como mostrado abaixo:

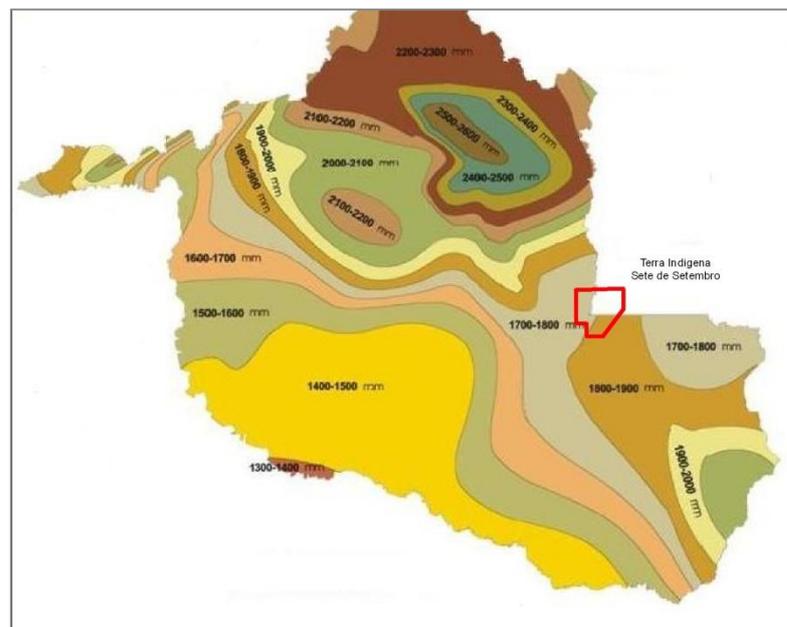


Figura 4 - Cruzamento de informações de dados de precipitação da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental do Estado de Rondônia, modificado com o limite geográfico da terra indígena Sete de Setembro (SEDAM/RO)

Como se pode perceber a terra indígena se localiza em uma região de faixa de precipitação que varia de 1700 a 1900 mm/ano, o que nos permite optar pelas equações de regressão de biomassa EB3 ou EB4 conforme orientações de Brown et al. (1997).

2.3 Sensoriamento Remoto e Biomassa

A conversão dos dados de biomassa em valores digitais é desenvolvida utilizando na maioria das vezes o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, que é uma função da fração da radiação fotossinteticamente ativa (fapar) absorvida pela vegetação verde Rahman

et al. (2003), porém, muito tem-se estudado para a complementação com outros índice de vegetação como o Índice de Refletância Fotoquímica – PRI que permite medir a eficiência de uso da radiação pela vegetação (Rahman et al. 2003, Gamon et al. 1997), e da integração destes dois índices é possível ter estimativas das trocas de gás carbônico entre a vegetação e a atmosfera definido com o índice CO2 Flux por Rahman et al. (2003), conforme trabalho realizado em floresta da região boreal do Canadá, estas perspectiva mais utilizada nas metodologias interessadas no seqüestro de carbono pela biomassa.

Para a obtenção de valores digitais correlacionados com dados de biomassa obtidos em campo alguns passos devem ser seguidos, como escolha do sensor e obtenção de imagens, correções radiométrica e geométrica. Deve se considerar, portanto, que a radiação incidente antes de interagir com os detectores imageadores sofre processos e incorreções que dependem do meio e do equipamento de detecção. Um dos primeiros processos que devem ser considerados é o caminho óptico percorrido pela radiação (espalhamento), em seguida as interações sofridas durante seu fluxo e por fim as distorções na interpretação do sinal incidente em função do desgaste dos detectores. Conforme Jensen (2009) a correção radiométrica é composta pela calibração radiométrica e correção atmosférica dos dados adquiridos, já a correção geométrica consiste na correção de escala, rotação e translação.

A calibração relativa tem como objetivo corrigir o efeito da variação das respostas dos detectores quando submetidos a sinais de mesma intensidade. A calibração absoluta tem como objetivo permitir a transformação de um nível de cinza contido em imagens geradas em diferentes faixas espectrais, em valores de radiância (Gouvêa, 2008).

Outro fator importante é a correção atmosférica que é fundamental para a obtenção de dados confiáveis em sensoriamento remoto, uma vez que, seus derivados são relações de dados orbitais com dados reais da superfície terrestre. Entre o sensor e a superfície terrestre está a atmosfera que é composta de vários gases e vapor de água. A interação destes gases e vapor de água com a radiação solar interfere de forma relevante no sinal obtido pelo sensor em órbita provocando distorções na informação resultante da reflexão obtida na interação com o objeto da superfície.

De acordo com o trabalho de Chander & Markham (2003), no qual define novos valores de parâmetros como radiância máxima e ganho é preponderante a observância da degradação do sinal do sensor para proceder com uma correta calibração absoluta das imagens TM Landsat. Em seu estudo, a degradação do sensor TM chega a um grau relevante a ponto de se sugerir dois períodos para a utilização de valores diferenciados de tais parâmetros, definidos pelo mês de maio de 2003, conforme a figura abaixo:

TABLE I
L-5 TM POSTCALIBRATION DYNAMIC RANGES FOR U.S. PROCESSED NLAPS DATA

Spectral Radiances, L_{MIN}_λ and L_{MAX}_λ in $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$								
Processing Date	From March 1, 1984				After May 5, 2003			
	To May 4, 2003							
Band	L_{MIN}_λ	L_{MAX}_λ	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$	L_{MIN}_λ	L_{MAX}_λ	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$
1	-1.52	152.10	0.602431	-1.52	-1.52	193.0	0.762824	-1.52
2	-2.84	296.81	1.175100	-2.84	-2.84	365.0	1.442510	-2.84
3	-1.17	204.30	0.805765	-1.17	-1.17	264.0	1.039880	-1.17
4	-1.51	206.20	0.814549	-1.51	-1.51	221.0	0.872588	-1.51
5	-0.37	27.19	0.108078	-0.37	-0.37	30.2	0.119882	-0.37
6	1.2378	15.303	0.055158	1.2378	1.2378	15.303	0.055158	1.2378
7	-0.15	14.38	0.056980	-0.15	-0.15	16.5	0.065294	-0.15

Table 2 - Taxas dinâmicas de pós-calibração das imagens TM do satélite Landsat 5 (NLAPS)

De acordo com o estudo de Latorre (1998), no qual faz também uma comparação entre os valores de NDVI de reflectância gerados tomando com base dados de sensores tanto multiespectrais quanto hiperespectrais, com e sem correção atmosférica, observou-se discrepâncias relevantes nos valores de NDVI, portanto, para uma boa confiabilidade dos dados é importante se atentar para o correto tratamento dos valores digitais da imagem.

Em metodologias com o objetivo de extrapolar os dados de biomassa a partir de dados orbitais a preocupação com os processos do sensoriamento remoto são cruciais para a obtenção de um resultado confiável, considerando ainda a necessidade de relacionar bandas para gerar dados derivados que poderão se correlacionar com aspectos físicos da superfície terrestre. Para a obtenção de valores de biomassa em valores digitais se faz necessário trabalhar com bandas espectrais que tenham respostas correlacionáveis com os dados físicos da vegetação. Para estabelecer as relações de valores digitais de reflectância em plantas deve-se primeiramente relacionar as bandas do vermelho (visível – 630 a 690 nm) e infravermelho próximo (760 a 900 nm) no caso do sensor TM em função de sua interação com alguns componentes fisiológicos das plantas. A interação do vermelho e infravermelho próximo nas plantas ocorre em uma relação na qual a reflectância do infravermelho próximo possui valores sempre superiores ao vermelho devido as suas faixas espectrais e a quantidade de energia utilizada pela planta em seus processos fotossintéticos e em processos de espalhamento da radiação eletromagnética. Na região do vermelho muito da radiação é absorvida pela pigmentação da planta baixando os valores de reflectância e já no infravermelho próximo a radiação está mais comprometida nos processos de espalhamento o que resulta em baixa absorção e aumenta os valores de reflectância. Na região de 400 a 700 nm a reflectância é baixa ($\rho < 0,2$) em função dos pigmentos conforme (Latorre 1998, Novo 1990) e na região do infravermelho próximo de 700 a 1300 nm o espalhamento é o principal fenômeno em função da estrutura interna da folha com

baixos níveis de absorção e relevantes níveis de reflectância ($0,3 < \rho < 0,4$), tomando como referência os estudos de (Latorre 1998, Ponzoni e Disperate, 1992).

Tomando por base os conceitos discutidos acima um dos índices de vegetação mais utilizados na comparação entre a atividade fotossintética das plantas e resposta espectral orbital é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, comumente utilizado na definição de feições de vegetação, pois, relaciona as bandas espectrais que possuem interação direta com os componentes principais das plantas e ainda possui pouca interação com a água a qual, possui sinais relacionados à sua concentração em plantas na banda do infravermelho médio que cobre a faixa de 1550 a 2350 nm. A relação do índice de vegetação da diferença normalizada é mostrada abaixo pela equação (1):

$$NDVI = \frac{IVp - V}{IVp + V} \quad (1)$$

Sendo:

IVp = faixa espectral do infravermelho próximo;

V = faixa espectral do vermelho.

Para o sistema sensor TM do satélite Landsat 5 o vermelho é compreendido pela faixa espectral de 630 a 690 nm e infravermelho de 760 a 900 nm, podendo é claro as variáveis de vermelho e infravermelho variarem na faixa do espectro dependendo do sensor adotado.

2.4 Quantificação de Biomassa a partir dos Valores Digitais Orbitais

A transformação dos valores digitais de uma imagem em valores de biomassa pode ocorrer a partir do registro da imagem NDVI em comparação com os dados de biomassa georreferenciados calculados por métodos de inventário em campo.

Para um preciso registro das imagens tem-se utilizado as imagens GeoCover disponibilizadas pela NASA que em avaliação pelo estudo realizado por Júnior et al. (2009) com levantamento de pontos utilizando GPS de precisão, concluiu que as imagens Landsat 5 TM disponibilizadas pelo GeoCover possuem precisão adequada para o registro de imagens de igual resolução ou resolução inferior.

Com o registro da imagem NDVI e com os dados de biomassa, produz-se, uma curva de regressão linear com o objetivo de obter o algoritmo a ser aplicado a todos os valores digitais de NDVI convertendo-os posteriormente a valores digitais de biomassa. Para se obter valores de biomassa em toneladas por hectare, faz necessário somente ajustar os dados de biomassa de campo para a relação de unidade e fazer uma reamostragem da imagem NDVI pelo método do vizinho mais próximo para tamanho de pixel de 100 metros.

Foody et al. (2003) relata dados de biomassa para região próxima a Manaus em torno de 78 a 420 Mg ha⁻¹ em seu estudo das relações de previsibilidade de biomassa de florestas tropicais a partir de dados Landsat TM e suas transferibilidades entre regiões de florestas tropicais úmidas.

Ainda no trabalho de Foody et al (2003) constata-se uma correlação da biomassa medida em campo com o dados de reflectância extraídas das imagens do sensor TM do satélite LandSat que, em comparação com os valores de biomassa medidos em campo e previsto através das técnicas de sensoriamento remoto observou uma correlação fraca com uma flutuação de $r = -0,208$ a $0,244$. Quanto a transferibilidade das formulações derivadas através da previsão de biomassa por dados de sensoriamento remoto e dados de campo de uma região do globo para outra de naturezas climáticas próximas, concluiu-se que a aplicação de equações derivadas de uma região de floresta tropical para outra região do globo tem problemas ainda consideráveis, (Foody et al, Cohen et al, 2001) justificam que um dos fatores que podem estar associados a esta incapacidade de generalizar métodos em sensoriamento remoto para todo o globo pode estar associado ao fato de as imagens utilizadas em diferentes regiões não estarem apropriadamente normalizadas e assim derivar produtos diferenciados mesmo considerando objetos de estudos similares.

No trabalho de Coltri et al. (2009) em análise realizada com imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 e sensor MS do satélite Quickbird para metodologia de obtenção de estoque de carbono a partir de relação de índices de vegetação e valores de biomassa originados de campo em lavoura de café arábica, relatou que, utilizando a equação de biomassa 3 proposta por Segura et al. (2006) encontrou valores de carbono que correlacionados com os valores de NDVI de imagem Landsat produziu um valor de $r = 0,65$, demonstrando uma correlação moderada.

Para a conversão dos dados de biomassa em toneladas de carbono se faz necessário somente aplicar o fator de conversão recomendado pelo IPCC, o qual preconiza que a quantidade de carbono existente em biomassa aproxima-se de 50 % do total, projetando um fator de 0,5. Alguns estudos já definem os valores em toneladas de carbono por hectare para grande parte dos estados amazônicos como se pode verificar no mapa abaixo:

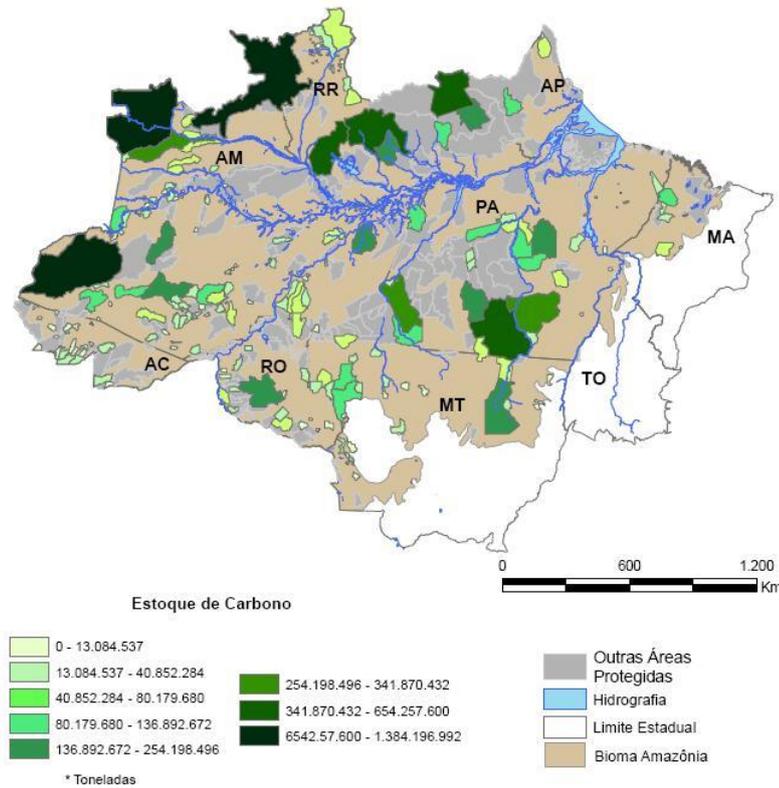


Figura 5 - Estoque de carbono de terras indígenas na Amazônia Legal - (Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG - CSR/UFMG)

Pelo mapa pode se observar que o quantitativo de toneladas de carbono por hectare em estoque na terra indígena Sete de Setembro encontra-se na faixa aproximada de 13.000.000 à 41.000.000.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral:

- Desenvolver metodologia de quantificação de biomassa para propostas de Pagamentos por Serviço Ambientais – PSA.

3.2 Objetivos Específicos:

- Verificar a resposta das imagens do sensor TM LandSat 5 como subsídio para a quantificação indireta de biomassa no bioma amazônico;

- Quantificar de forma indireta a biomassa da terra indígena Sete de Setembro e o estoque de carbono em toneladas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Para o desenvolvimento do trabalho utilizou-se os dados preliminares de vegetação da Revisão do Componente Biótico do Diagnóstico Agroambiental da terra indígena Sete de Setembro. O trabalho da equipe de vegetação consistiu no levantamento arbóreo e florístico da terra indígena. Para aproveitamento neste trabalho considerou-se somente os dados do inventário arbóreo, o qual permitiu determinar in loco a biomassa através de amostragem em dois transectos considerados interessantes do ponto de vista biológico. Devo aqui descrever um pouco mais o processo pelo qual foram obtidos os dados de biomassa a considerar que este trabalho não teve por função executar um levantamento florestal para cálculo de biomassa, mas em oportuno, aproveitar os resultados preliminares obtidos na terra indígena. As duas regiões ou transectos de amostragem para o levantamento arbóreo foram escolhidas seguindo dois critérios: o primeiro considera regiões que através de levantamento secundário a qualifica como antropizada com a intenção de ter uma amostragem da área em recuperação ou alterada há algum tempo, o segundo, considera uma região na qual também por levantamento secundário é provável encontrar uma área de floresta primária com representatividade de biodiversidade ainda em um estado de conservação relevante. Os trabalhos de levantamento arbóreo foram desenvolvidos nestas duas regiões conforme os alinhamentos definidos no mapa abaixo:

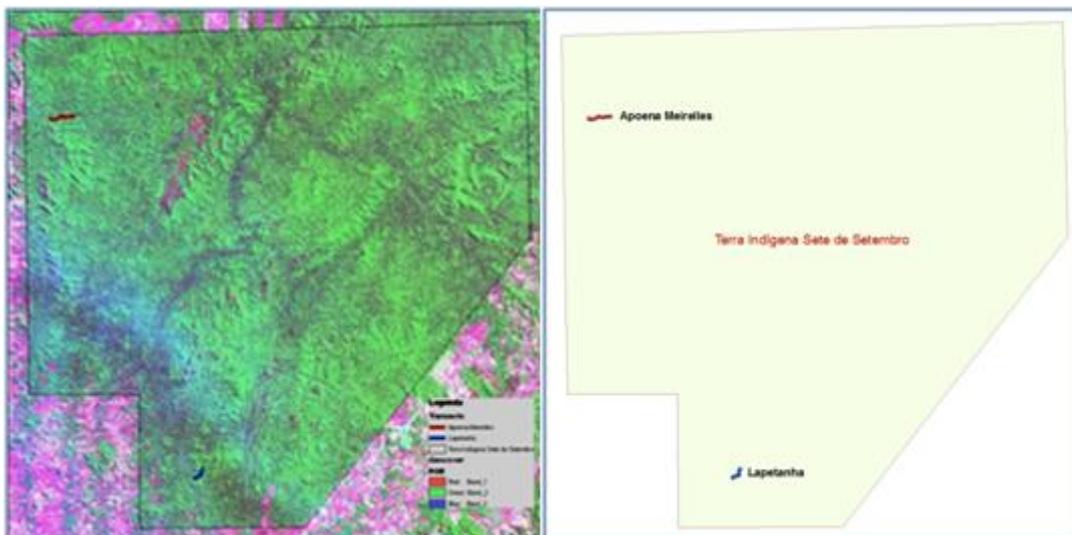


Figura 6 - Localização dos transectos Apoena Meirelles e Lapetanha na terra indígena Sete de Setembro

A segunda etapa do trabalho consistiu em utilizar técnicas de sensoriamento remoto para extrapolar os resultados a partir do levantamento arbóreo nas duas regiões de amostragem e assim quantificar a biomassa existente em toda a terra indígena Sete de Setembro. Para tal, foi utilizada a imagem do sensor TM do satélite Landsat 5 identificada pela órbita/ponto 230/068 datada de 17 de julho de 2009, principalmente as bandas 3 e 4 que cobrem respectivamente as

faixas de comprimento de onda do espectro eletromagnético de 630 a 690 nm (banda do vermelho) e 760 a 900 nm (banda do infra-vermelho).

Para a utilização e processamento dos dados gerados em campo pelo levantamento arbóreo foi utilizado o programa ArcView em sua versão 9.3, produzido pelo Environmental System Research Institute– ESRI e, para o processamento digital da imagem ótica foram utilizados o módulo Landsat TM Calibration para calibração da imagem Landsat 5 e o módulo FLAASH para conversão de seus dados de radiância em reflectância, todos pertencentes ao programa ENVI em sua versão 4.4, produzido pela empresa IIT Visual Information Solutions.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Levantamento Arbóreo

Para a obtenção dos dados de referência, conforme dito anteriormente foram utilizados os dados preliminares do levantamento arbóreo da terra indígena Sete de Setembro, que está em sua fase inicial, os dados preliminares datam de junho de 2009. O levantamento arbóreo identificou 273 árvores distribuídas nos dois transectos e considerou árvores com uma Circunferência na Altura do Peito – CAP igual ou superior a 30 cm. Conforme Brown (1997), considerando como método de inventário florestal é aconselhável que se utilize um CAP igual ou superior a 30 cm em florestas fechadas quando se objetiva estimar a densidade de biomassa.

Os valores de CAP permitiram obter a informação de biomassa através de equações de regressão linear obtidas para florestas em climas seco, úmido e muito úmido, tomando como referência os trabalhos de Brow et al. (1989) e Martinez-Yrizar et al. (1992). Para uma melhor compreensão dos dados foram calculados os valores de biomassa para as três situações de clima e estabelecido curvas de correlação entre os valores de biomassa versus valores de reflectância obtidos através do processamento digital da imagem. Abaixo é possível verificar as equações de regressão de biomassa.

Índice	Zona climática	Função	Coeficiente de correlação	Valor médio de biomassa(Kg)	
				Apoena	Lapetanha
EB1	Seco	$Y = \exp\{-1,996 + 2,32 * \ln(D)\}$	0,89	422,05	1.466,47

EB2		$Y=10^{-0,535+\text{Log}_{10}(BA)}$	0,94	440,21	1.099,00
EB3	Úmido	$Y=42,69-12,8(D)+1,242(D^2)$	0,84	876,73	2.525,94
EB4		$Y=\exp\{-2,134+2,530*\text{Ln}(D)\}$	0,97	802,78	3.566,66
EB5	Muito úmido	$Y=21,297-6,593(D)+0,74*(D^2)$	0,92	537,12	1.548,63

Quadro 1 - Valores de biomassa calculados por transecto na região de Apoena Meirelles e Lapetanha considerando cada equação de regressão de biomassa. Tomando-se D – diâmetro na altura do peito e BA – área basal em cm^2

4.2.2 Processamento digital da imagen landsat 5 e conversão dos dados de reflectância em tonelada de carbono

O fluxograma abaixo representa as etapas seguidas no trabalho:

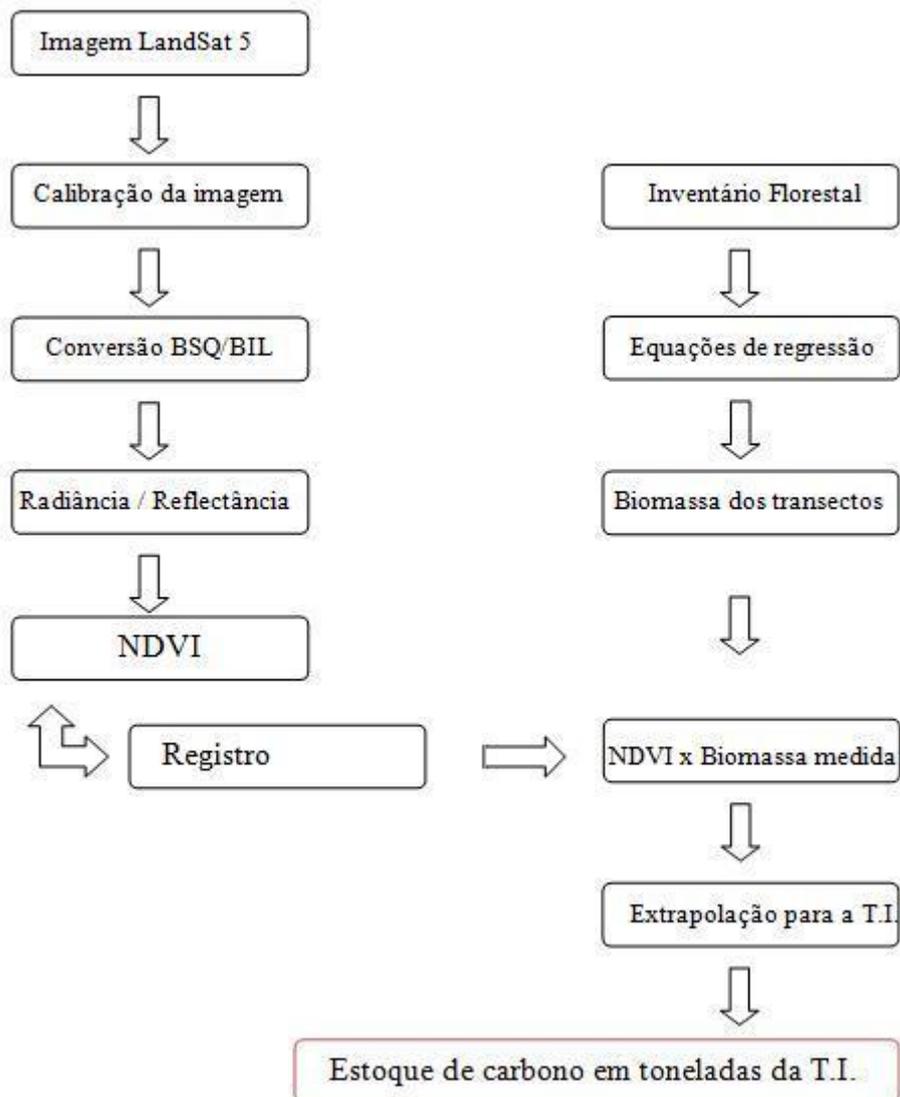


Figure 7 – Fluxograma metodológico do trabalho. T.I. – Terra indígena

4.2.3 Metodologia de tratamento e obtenção dos dados

Para o trabalho foi escolhido o sensor TM do satélite Landsat 5 considerando a disponibilidade de dados de radiometria das imagens TM e seus devidos parâmetros de correção que periodicamente são avaliados, conforme o estudo de Chander & Markham (2003).

As imagens Landsat 5 foram descarregadas gratuitamente através do sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE em sua plataforma de interface com o usuário. Para o trabalho foram utilizadas as bandas 3 e 4 correspondendo às bandas do vermelho e infravermelho.

O primeiro procedimento para tratamento da imagem foi a configuração dos parâmetros de cabeçalho para as bandas 3 e 4. Os comprimentos de onda para cada banda foram assumidos o valor médio de cada faixa espectral correspondendo a 660 nm e 830 nm. Para os valores de Full-Width-Half-Maximum - FWHM foram utilizados para as bandas 3 e 4, 60 nm e 140 nm respectivamente correspondentes a largura da faixa espectral de cada banda. Os valores de ganho e offset foram configurados conforme dados NLAPS em concordância com Markham (2003) que em função da degradação da radiância máxima e ganho sugere o uso de valores diferenciados para os períodos de aquisição antes e depois de 05 de maio de 2003, conforme a tabela abaixo:

TABLE I
L-5 TM POSTCALIBRATION DYNAMIC RANGES FOR U.S. PROCESSED NLAPS DATA

Processing Date	Spectral Radiances, L_{MIN}_λ and L_{MAX}_λ in $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$							
	From March 1, 1984 To May 4, 2003				After May 5, 2003			
	Band	L_{MIN}_λ	L_{MAX}_λ	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$	L_{MIN}_λ	L_{MAX}_λ	$G_{rescale}$
1	-1.52	152.10	0.602431	-1.52	-1.52	193.0	0.762824	-1.52
2	-2.84	296.81	1.175100	-2.84	-2.84	365.0	1.442510	-2.84
3	-1.17	204.30	0.805765	-1.17	-1.17	264.0	1.039880	-1.17
4	-1.51	206.20	0.814549	-1.51	-1.51	221.0	0.872588	-1.51
5	-0.37	27.19	0.108078	-0.37	-0.37	30.2	0.119882	-0.37
6	1.2378	15.303	0.055158	1.2378	1.2378	15.303	0.055158	1.2378
7	-0.15	14.38	0.056980	-0.15	-0.15	16.5	0.065294	-0.15

Table 3 - Taxas dinâmicas de pós-calibração das imagens TM do satélite Landsat 5 (NLAPS)

Para a calibração da imagem 230/068 de 17 de julho de 2009, sensor TM do satélite LandSat 5 foi utilizado o módulo do ENVI TM Calibration. Os parâmetros configurados para a calibração de radiância foram: ângulo da elevação solar para a banda 3, $44^\circ 32' 03,12''$ e para a banda 4, $44^\circ 32' 17,52''$, data de aquisição – 17 de julho de 2009, Satélite – Landsat 5, tipo de calibração – radiância, com valores de radiância mínima de -1,17 e -1,51 respectivamente e radiância máxima de 264 e 221 respectivamente. Após a calibração a imagem resultante possuía a estrutura inicial de formação do tipo Band -Sequencial – BSQ. Para o processo posterior, conversão dos dados de radiância em reflectância, foi necessário a conversão dos dados BSQ na estrutura Band-Interleaved-by-Line - BIL. Isto se deveu em função da estrutura da imagem

requerida para sua conversão em imagem de reflectância através do módulo FLAASH do ENVI 4.4.

Com a imagem calibrada passou-se ao processo de conversão a valores de reflectância. Para este processo os parâmetros foram configurados da seguinte forma:

A localização do centro da imagem foi obtida através do arquivo .xml disponibilizado em conjunto com a imagem sendo a latitude sul de $11^{\circ} 34' 14''$ e longitude oeste de $66^{\circ} 55' 08''$. O tipo de sensor foi utilizado Landsat 5 TM com altitude 705 km, uma elevação aproximada do terreno de 100 m e tamanho do pixel de 30 m. Como modelo atmosférico foi utilizado o Tropical levando em consideração a posição geográfica da terra indígena Sete de Setembro. O fator multiplicador da coluna de água foi adotado o padrão configurado como 1. O modelo aerosol foi utilizado rural em função de a área foco estar concentrada em área não urbanizada. Não foi utilizado nenhum modelo para a recuperação do aerosol e a visibilidade inicial foi configurada como padrão 40 km. Nas configurações avançadas foi utilizado o modelo Modtran 4 com o método ISAACS que possui um processamento rápido e menos complexo em relação ao métodos Disort e Scaled Disort que exigiriam maiores recursos computacionais.

Com a imagem de reflectância passou-se então à geração do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, que foi gerado através da função específica NDVI do ENVI.

Na imagem NDVI desenvolveu-se seu registro utilizando como base de referência o Geocover disponibilizado pela National Aeronautics and Space Administrator – NASA, em análise da precisão dos dados geocover para registro de imagens de mesma resolução Tavares et al (2008) através de comparações com dados precisos de campo observou discrepâncias dentro da margem de tolerância definida pela própria NASA sendo portanto uma boa referência para registro de imagens de igual ou inferior resolução espacial. O registro efetuado na imagem de NDVI apresentou um erro médio quadrático (RMS) igual a 1,94 atestando a conformidade entre as duas imagens comparadas e praticamente ausência de distorção relativa.

Com o registro da imagem NDVI foi possível comparar o valor do índice de vegetação de cada pixel com os valores resultantes dos dados de biomassa obtidos pelas equações de regressão de biomassa em função da georreferência destes dados. Os valores de biomassa foram calculados para cada ponto através de cinco equações de regressão de biomassa obtendo cinco valores por ponto de amostragem. Para cada ponto foi coletado o valor do pixel central à área de amostragem do levantamento florestal e assim elaborado uma curva de correlação entre os valores de pixel e valores de biomassa calculados. A partir da curva foi extraída a equação de regressão que aplicada através da função Band Math do ENVI sobre a imagem de NDVI, permitiu obter de forma corrigida os valores de biomassa para cada pixel.

dependendo da equação de regressão de biomassa definidas por Brow et al. (1989) e Martinez-Yrizar et al. (1992) conforme a tabela abaixo:

Índice	Zona climática	Função	Coeficiente de correlação	Valor médio de biomassa(Kg)	
				Apoena	Lapetanha
EB1	Dry	$Y=\exp\{-1,996+2,32*\ln(D)\}$	0,89	422,05	1.466,47
EB2		$Y=10^{-0,535+\text{Log}_{10}(BA)}$	0,94	440,21	1.099,00
EB3	Moist	$Y=42,69-12,8(D)+1,242(D^2)$	0,84	876,73	2.525,94
EB4		$Y=\exp\{-2,134+2,530*\ln(D)\}$	0,97	802,78	3.566,66
EB5	Wet	$Y=21,297-6,593(D)+0,74*(D^2)$	0,92	537,12	1.548,63

Quadro 2 - Valores de biomassa calculados por transecto na região de Apoena Meirelles e Lapetanha considerando cada equação de regressão de biomassa. Tomando-se D – diâmetro na altura do peito e BA – área basal em cm^2

Em princípio a equação de regressão de biomassa mais adequada para a região da terra indígena Sete de Setembro é a de número 3 ou 4 considerando a média anual de precipitação para a região da terra indígena, que varia de 1700 a 1900 mm/ano conforme dados da Secretaria de Desenvolvimento Ambiental do Estado de Rondônia – SEDAM/RO, mapa abaixo.

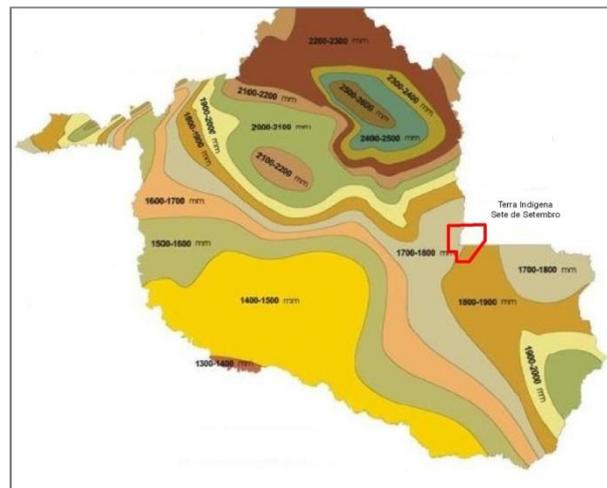


Figure 8 - Cruzamento de informações de dados de precipitação da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental do Estado de Rondônia, modificado com o limite geográfico da terra indígena Sete de Setembro (SEDAM/RO)

Considerando ainda os dados de correlação entre biomassa e reflectância, a maior correspondência é encontrada para a equação EB4 que teve o maior coeficiente de correlação.

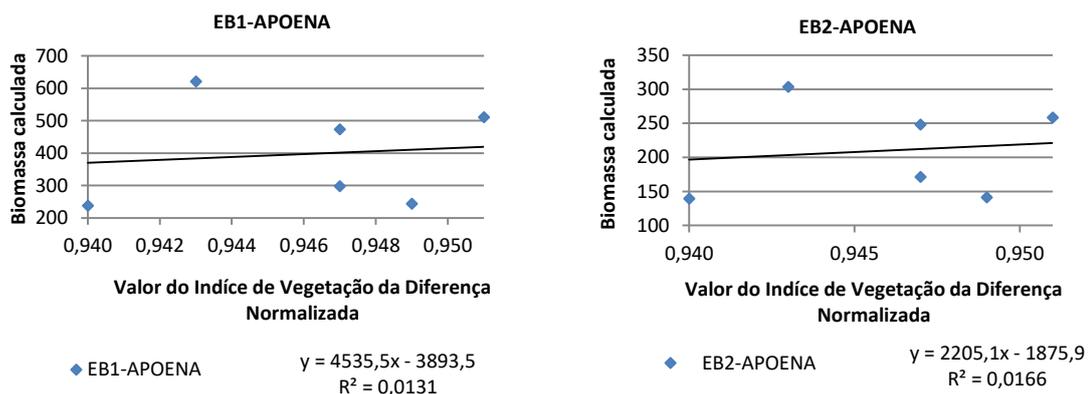
Levando em consideração os dados de precipitação, a biomassa média de árvores calculadas através de EB4 no transecto Apoena Meirelles, é de 802,78 kg por árvore e no transecto Lapetanha de 3566,66 kg por árvore em acordo com as informações preliminares obtidas nestas duas regiões. A área de influência de observação para cada ponto de

levantamento estava em torno de 10 m de raio, resultando em uma área de amostragem de 314,16 m² para cada ponto de amostragem.

Tomando a equação EB4 como referência para o estudo, em função de sua maior correlação entre os dados de reflectância e biomassa, com $r = 0,558$ resultou em valor médio de biomassa que variou na faixa de 24 a 349 Mg ha⁻¹, coerente com as variações encontradas por Foody et al. (2003) que relata dados de biomassa para região próxima a Manaus em torno de 78 a 420 Mg ha⁻¹ conforme seu estudo sobre as relações de previsibilidade de biomassa de florestas tropicais a partir de dados Landsat TM e suas transferibilidades entre regiões de florestas tropicais úmidas. Os cálculos foram baseados na biomassa média e na reflectância média considerando-se a pequena área de amostragem e o pixel de 30 m da imagem TM do Landsat 5.

O valor de biomassa médio encontrado, apesar de se aproximar dos valores descritos na literatura, foi originado a partir de dados preliminares e necessita de uma reavaliação, pois, a aquisição dos dados não teve como objetivo calcular a biomassa existente, mas, a repetibilidade das espécies encontradas.

Considerando os valores encontrados fez-se uma análise sobre os resultados de cada equação de regressão de biomassa para avaliar o comportamento de cada curva e encontrou-se para o transecto Apoena Meirelles as seguintes curvas de correlação, considerando as equações de regressão de biomassa EB1 e EB2:



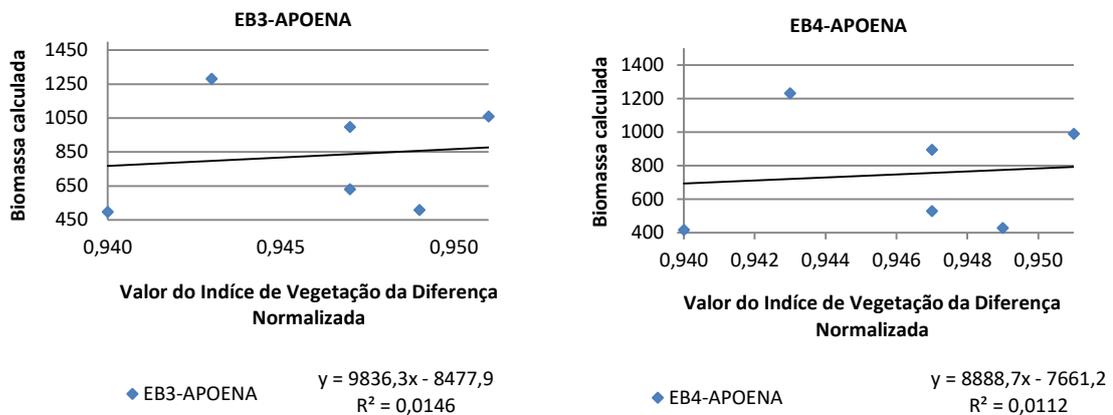
Entende-se EB, como Equação de Biomassa e o índice após “EB” o número da equação de referência conforme quadro de equação de biomassa apresentado acima.

As curvas de correlação EB1 e EB2 são regressões efetuadas levando em consideração floresta de clima seco, não se adaptando à região foco deste trabalho, o que projetou para EB1 um $r = 0,114$ e para EB2 $r = 0,126$, demonstrando que os dados obtidos no transecto Apoena

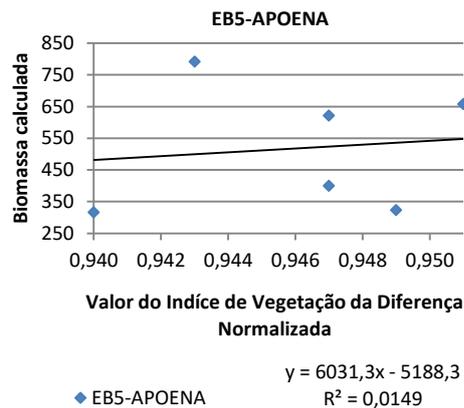
Meirelles não possuem correlação relevante aos dados de NDVI, tanto em EB1, quanto em EB2. O fato comprova a distinção efetuada por Brown et al. entre todas as equações definidas.

Da mesma forma para as equações EB3 e EB4, as correlações foram muito baixas, o que pode ter ocorrido em função da coleta e amostragem desenvolvida em campo sem objetivo de cálculo de biomassa. Outro fator a ser considerado é a precisão dos dados georreferenciados que foram obtidos através de GPS de mão sob a copa das árvores que também podem ter projetado grandes variações em seus posicionamentos. Em se tratando do cruzamento das coordenadas da imagem de satélite e dos dados de biomassa pode se ainda inferir uma propagação de erros em função da precisão do georreferenciamento da imagem de satélite que apesar de apresentar um valor de RMS adequado, pode ainda em função do tamanho do pixel e sua diagonal apresentar deslocamentos consideráveis para uma área com raio de 10 m. As duas correlações considerando as equações EB3 e EB4 para a região de amostragem da aldeia Apoena Meirelles, as quais possuem respectivamente $r = 0,121$ e $r = 0,106$ demonstram que os dados de biomassa e de NDVI são informações distintas.

Abaixo pode se verificar as curvas de correlação:



Considerando os dados obtidos através de EB5, percebeu-se que o cruzamento de biomassa e NDVI não demonstrou qualquer possibilidade de correlação, uma vez que os valores de r não superaram a taxa de 0,126. Sendo, portanto, uma amostragem desinteressante para o trabalho proposto.

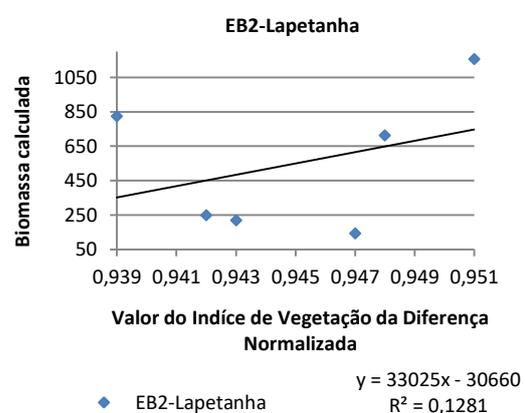
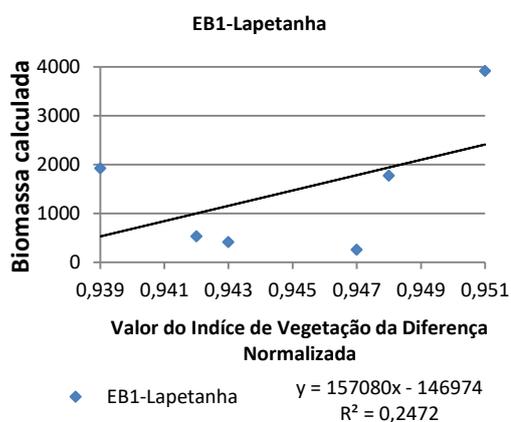


Esta descontinuidade não permitiu nestes termos comparar os resultados obtidos na aldeia Apoena Meirelles com os dados obtidos na aldeia Lapetanha.

Considerando os resultados obtidos na aldeia Lapetanha, as correlações foram mais esperanças alcançando a taxa de 0,558 o que demonstra uma correlação moderada entre os dados de biomassa e NDVI.

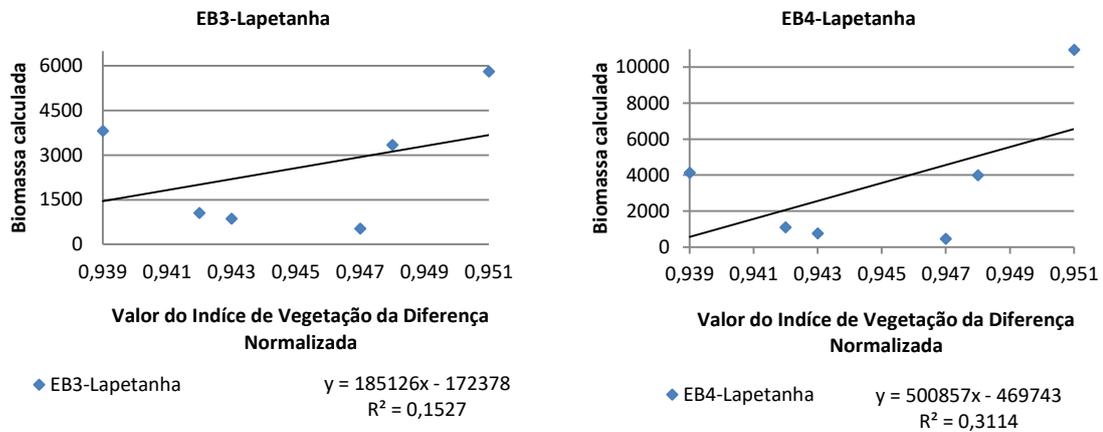
Abaixo segue o comparativo das correlações entre cada equação de regressão de biomassa adotada.

As equações EB1 e EB2 para a região da aldeia Lapetanha, têm respectivamente $r = 0,497$ e $r = 0,358$, demonstrando valores mais correlacionados de biomassa e NDVI. Apesar do aumento considerável na correlação as equações EB1 e EB2 para a região da Lapetanha não são ainda as mais adequadas, pois, se situam em uma faixa de precipitação anual inferior a faixa descrita para terra indígena Sete de Setembro que varia de 1700 a 1900 mm/ano.

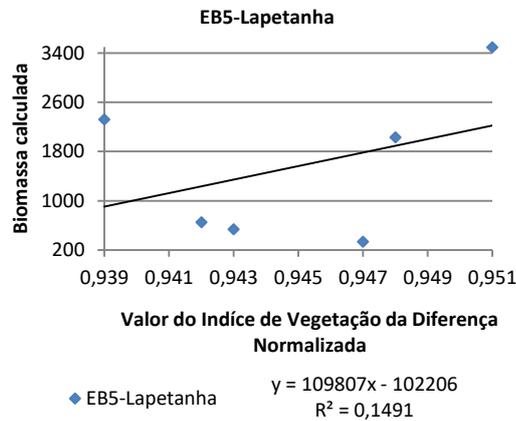


Já a equação EB4, que contempla a faixa de precipitação observada para a terra indígena Sete de Setembro, demonstrou a maior correlação entre os dados de biomassa e NDVI, com um

$r = 0,558$. A equação EB3 demonstrou um $r = 0,391$, baixo para as condições definidas para a equação e a região de floresta a qual foi aplicada.



Por último a equação EB5 demonstrou um $r = 0,386$ próximo à equação EB3 para a região referida. Percebe-se claramente que a região de Lapetanha possui correlações maiores do que a região de Apoená Meirelles, o que pode ser explicado com a possibilidade de melhor amostragem e posicionamento dos dados obtidos. Abaixo, verifica-se a curva de correlação para EB5 na região da aldeia Lapetanha.



Em consideração às análises de correlação efetuadas acima, tomou-se como referência para este estudo a equação de regressão de biomassa EB4 e região de amostragem o transecto Lapetanha, devido às coerências nas respostas NDVI encontradas em relação aos dados de biomassa calculados.

Abaixo pode se observar a imagem de reflectância gerada através da imagem 230/068 do sensor TM do satélite Landsat 5, considerando os comprimentos de onda de 660 nm, 550 nm e 485 nm para os canais R, G e B respectivamente.

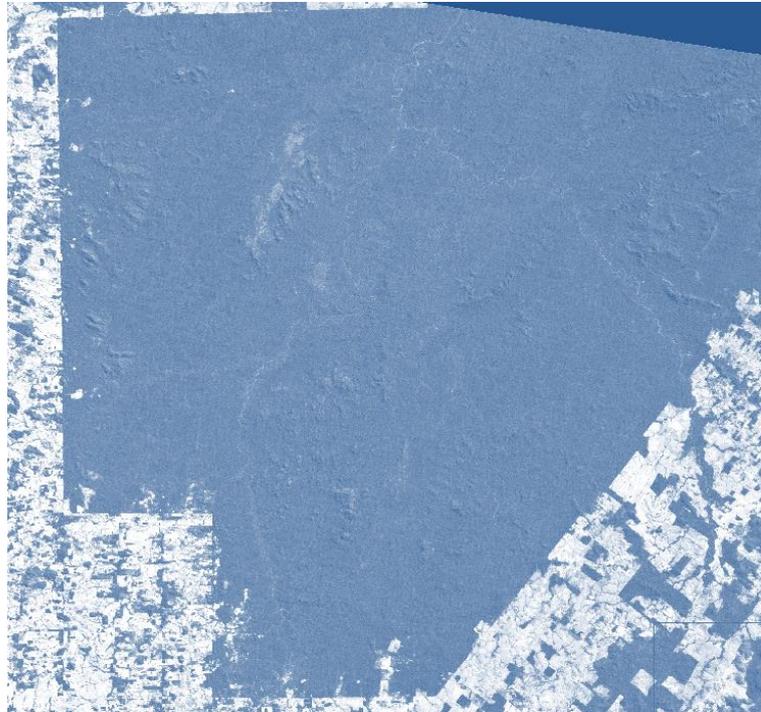


Figura 9 - Imagem de reflectância da terra indígena Sete de Setembro em composição R = 660 nm, G = 550 nm e B = 485 nm

Para a conversão dos dados de radiância em reflectância não se utilizou de qualquer método anterior, tendo o cuidado de não processar qualquer alteração de radiância que poderia como consequência alterar os valores de reflectância. Aqui ressalto que a área amostrada na figura acima representa somente a área foco do estudo, no entanto, o processamento foi efetuado sobre toda a extensão da imagem 230/068.

A esta imagem foi aplicado o processamento para a obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, conforme figura abaixo:

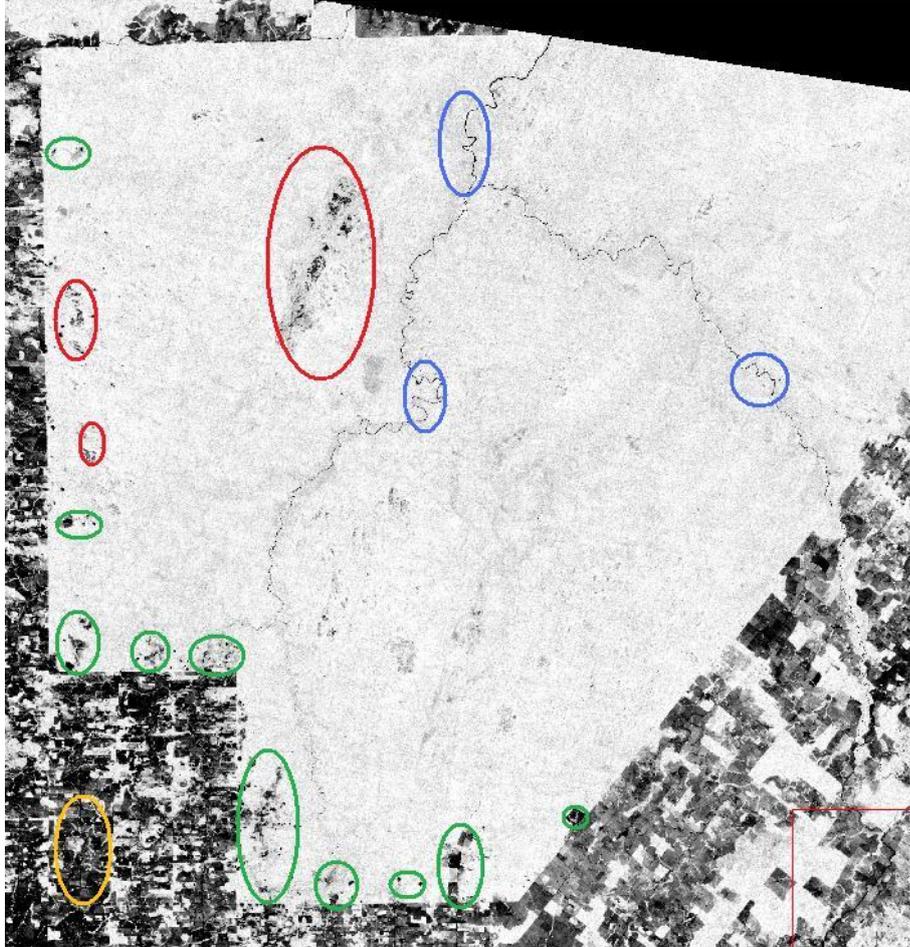


Figura 10 - Imagem NDVI da terra indígena Sete de Setembro e suas feições reais bandas 3 e 4

Na imagem de NDVI observada acima, pode-se observar elipses que demonstram regiões com ausência de vegetação devido a alguns fatores considerando sempre somente as regiões escuras da imagem.

Para as elipses de contorno vermelho pode-se observar os afloramentos rochosos na terra indígena, as elipses de contorno azul demonstram a ausência de vegetação em função dos rios de maior volume, as elipses de contorno verde demonstram as áreas antropizadas de uso comum das comunidades indígenas e a elipse de contorno amarelo escuro na região inferior esquerda da imagem mostra a área antropizada pelo não índio (colonos incentivados pela política desenvolvimentista da década de 1970 e 1980, com o plano de integração da Amazônia dos governos militares). Portanto, é notável a discrepância entre as áreas com vegetação e sem vegetação na região visualizada. Os valores de NDVI internos à terra indígena descontando as áreas com tons de cinza mais escuros variaram entre 0,91 a 0,97 em média, conforme os valores de histograma apresentado abaixo:

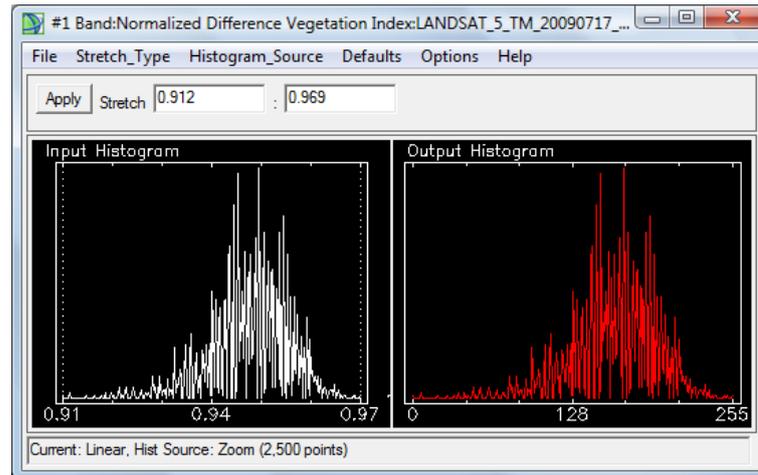


Figure 11 - Faixa de variação dos valores de NDVI internos a terra indígena Sete de Setembro, excluindo-se valores de zero em biomassa

Os valores externos à terra indígena estavam praticamente em torno de 0,74 a 0,90 em média, conforme o histograma abaixo:

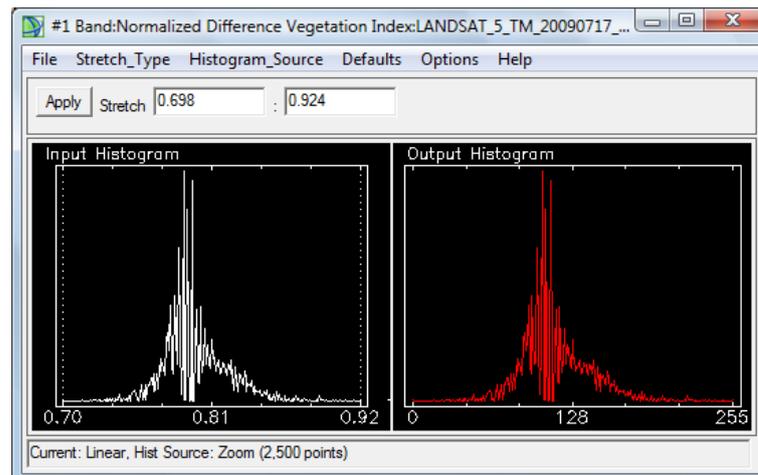


Figure 12 - Valores NDVI externos a terra indígena Sete de Setembro

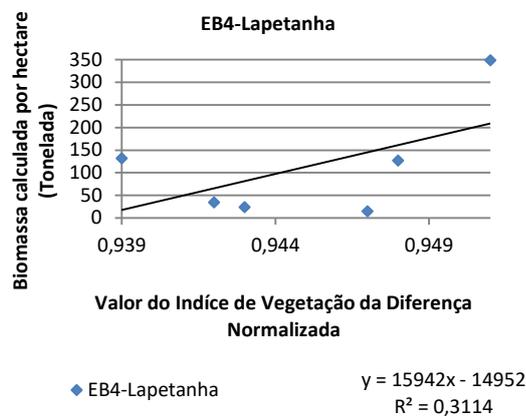
Que são coerentes com a realidade encontrada na região, uma vez que o entorno da terra indígena está tomado pela monocultura e pecuária, definido por plantios de baixa biomassa, como a soja e as pastagens.

Os valores de afloramento rochoso e hidrografia se aproximaram aos valores encontrados para o entorno da terra indígena. No caso da hidrografia, os valores podem ser tendenciosos, em função dos píxeis impuros que, considerando as árvores desta região as quais possuem uma área circular de copa média com diâmetro de 25 m, dimensão próxima ao valor de largura dos rios existentes no interior da terra indígena.

Para calcular a biomassa a partir dos dados de NDVI, foi feita a extrapolação da biomassa encontrada para a área de 314,16 m² para 10.000 m² (1 hectare), produzindo o fator de 31,83 comparativo entre as duas áreas observadas, conforme equação (2) abaixo:

$$\frac{10.000,00 \text{ m}^2}{314,16 \text{ m}^2} = 31,83 \quad (2)$$

E a curva de correlação considerando biomassa por hectare e valor de NDVI se comportou com o mesmo $r = 0,558$, como esperado e conforme a figura abaixo:



Com os dados de biomassa calculados e os valores de NDVI reamostrados para o tamanho de pixel de 100 m através do método do vizinho mais próximo. A imagem foi salva no formato ASCII, e desta foi extraída uma tabela contendo coordenadas E e N (UTM) referenciado ao sistema geodésicos WGS84, que permitiu criar o arquivo em formato shapefile para os processamentos posteriores. Para os valores de NDVI, no arquivo shapefile, foram somente considerados os superiores a 0,9379, excluindo-se praticamente as áreas com ausência de biomassa.

A figura abaixo mostra o arquivo resultante com geometria de ponto e seus valores de NDVI médios à área de 100 x 100 m (1 hectare) na imagem:

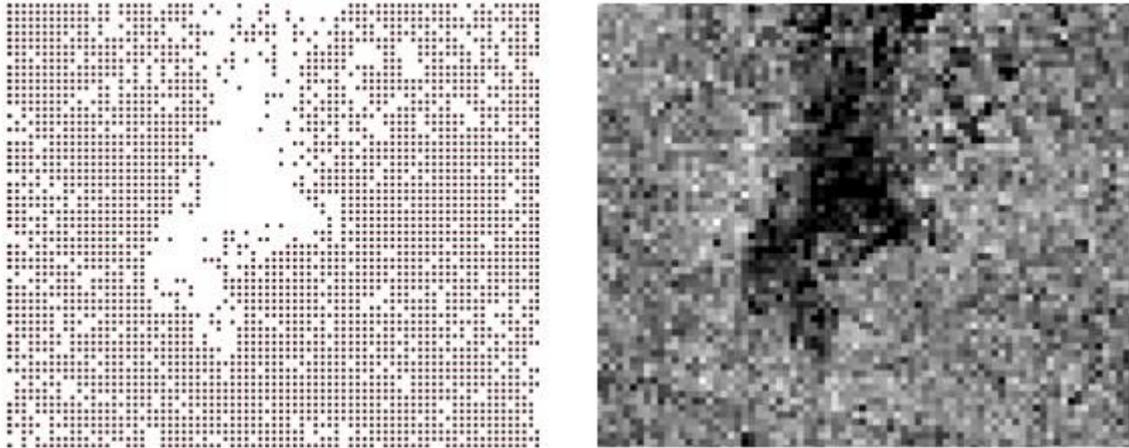


Figure 13 – Comparação entre os dados shapefile derivados e a imagem NDVI em região de afloramento rochoso

Na figura mostrada acima é possível verificar também a exclusão dos pontos não interessantes que pela curva de correlação que estariam com valores de zero em termos de biomassa.

Ao arquivo shapefile foi aplicada a equação da curva de EB4 para a região Lapetanha nos valores de NDVI obtendo os seguintes resultados em biomassa por hectare:

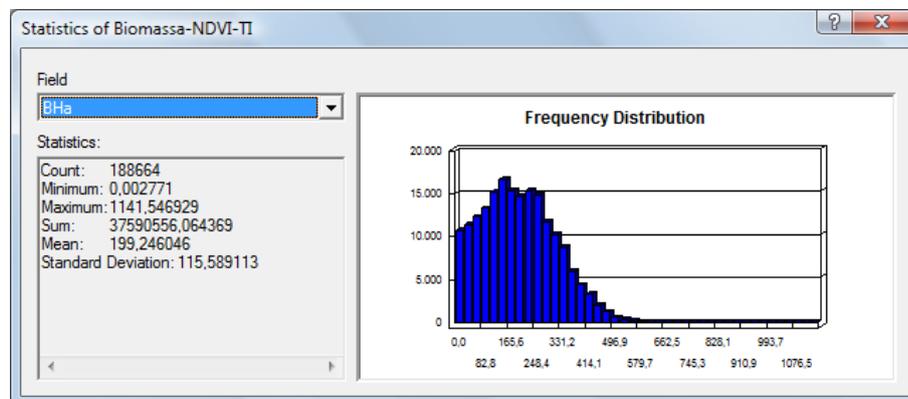


Figure 14 - Demonstrativo de biomassa por hectare da área parcial da TI Sete de Setembro

No qual pode se observar o quantitativo total de biomassa de 37.590.556,06 toneladas de biomassa considerando a área representada pela imagem 230/068 na terra indígena que define uma área de 242.274,73 ha conforme a figura abaixo:



Figure 15 - Limite da terra indígena Sete de Setembro em comparação com a área de abrangência da imagem 230/068

Quando aplicada aos 248.147,00 ha de área da terra indígena, conforme dados oficiais da FUNAI, através de regra de três simples obtêm-se o valor de 38.501.678,30 toneladas de biomassa existentes na área da terra indígena Sete de Setembro. No quadro demonstrativo de biomassa por hectare (figura 6), observa-se que os valores de biomassa variaram para toda a terra indígena entre 0,002 e 1141,55 toneladas por hectare, mantendo um valor de médio de 199,25 toneladas por hectare.

Ao valor de biomassa foi aplicado o fator de 0,5 conforme recomendações do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, obtendo o quantitativo total de toneladas de carbono existentes na terra indígena Sete de Setembro, que ficou estimado em 19.250.839,15 toneladas em estoque de carbono coerente com os dados apresentados pelo Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG conforme o mapa abaixo, que estima para a região a uma faixa aproximada de 13 a 41 milhões de toneladas para a terra indígena Sete de Setembro.

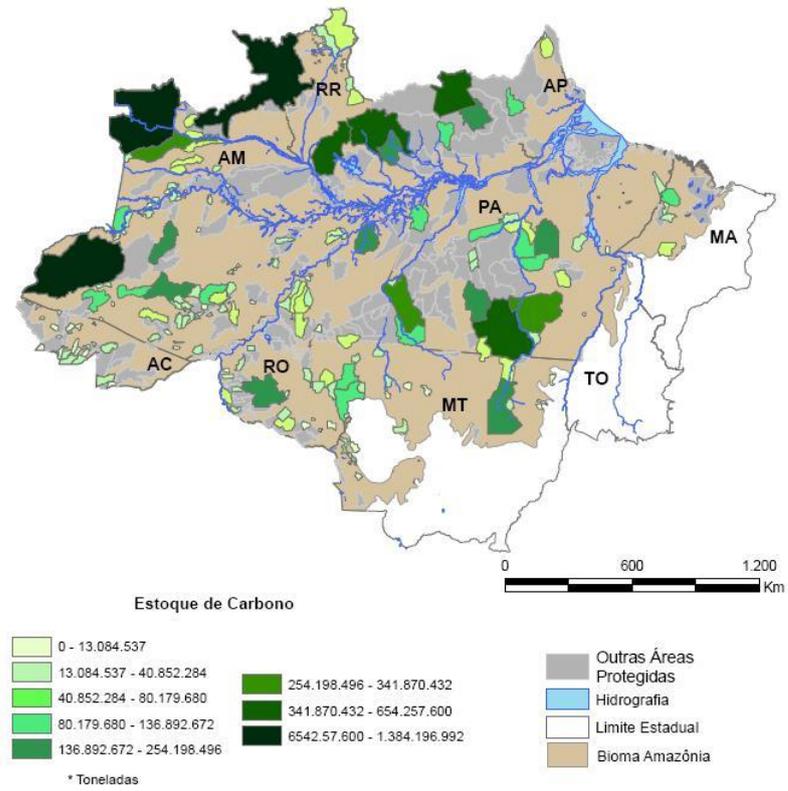


Figure 16 - Estoque de carbono de terras indígenas na Amazônia Legal - (Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG - CSR/UFMG)

6 CONCLUSÃO

Como conclusão do estudo desenvolvido, o uso de imagens de satélite para a obtenção do quantitativo de biomassa e quantitativo de toneladas de carbono como subsídios para certificados de carbonos tem grande potencial. Um dos diferenciais deste trabalho é que as médias elaboradas não seguem modelos de classificação de diferentes tipos de vegetação, mas, o valor de cruzamento das bandas do vermelho e infravermelho pixel a pixel, obtendo um valor direto dos dados imageados com os dados de biomassa calculados através de trabalho de campo. Este método, portanto, explora o potencial das respostas espectrais obtidas pelo sensor TM do satélite Landsat 5, uma vez que, considerando somente as aproximações das respostas do sensor foi possível se aproximar muito dos valores definidos na literatura para as toneladas de carbono estimadas para a região. Também, pode-se fazer a consideração de que a radiância média medida pelo pixel tem mais coerência quando se compara com a biomassa média por árvore, considerando que as áreas circulares das árvores da Amazônia podem chegar a 60 m de diâmetro, possuindo em média 25 m, o que tem potencial suficiente para responder pela área correspondente a um pixel na imagem Landsat 5. Quando tenta se utilizar valores de biomassa por hectare seu comparativo com a radiância média produz algumas distorções que impossibilitam o cálculo por este método o que é ainda uma suposição deste trabalho, pois, o assunto não foi intensamente explorado neste estudo e deve ser melhor estudado posteriormente. Tomando como referência os dados obtidos no trabalho de Nogueira et al. (2008), que faz aproximações para floresta ombrófila aberta de submontana e floresta ombrófila densa de submontana os valores para a terra indígena Sete de Setembro se aproximam de 18.000.000,00 de toneladas de carbono, no entanto, esta média exclui os valores intrínsecos de cada área de 30 x 30 o que não ocorre quando se trabalha com a média de radiância pixel a pixel. Quanto a base de dados utilizada para o trabalho em questão, algumas considerações são interessantes de se concluir. O levantamento arbóreo foi desenvolvido com a intenção de identificar distribuição de espécies o que pode ter provocado as distorções de correlação na região da aldeia Apoena Meirelles, o que faz necessário uma revisão destes dados preliminares com o objetivo de identificar o quantitativo com maior precisão por hectare, ou melhorar as respostas do campo. Os dados levantados na aldeia Apoena Meirelles sofre com a influência de recente retirada de madeira (últimos cinco anos) o que pode em muito alterar os valores medidos em campo considerando que os dados são ainda preliminares, já na aldeia Lapetanha as retiradas de madeira ocorreram por volta de quarenta anos atrás, tempo quase que suficiente para a recuperação da mata.

Como medidas, algumas iniciativas devem ser tomadas para melhorar a confiabilidade deste trabalho:

1. Desenvolver trabalhos de campo com inventário florestal objetivando também a quantificação de toneladas de biomassa em áreas regulares de 900 m² e 10.000 m² (hectare) com o interesse de comparar com as respostas espectrais de sensores ópticos de satélites de imageamento;
2. Testar a mesma metodologia com outros sensores ópticos, principalmente com o sensor CCD do satélite CBERS 2B que possui uma resolução espacial melhor. Também verificar a possibilidade de trabalhar com sensores radar;
3. Melhorar as etapas de georreferenciamento dos dados de campo, com a intenção de obter a melhor correlação entre as informações de biomassa por árvore com as respostas espectrais do sensor óptico.

Como aproveitamento deste estudo, tem-se o propósito de estender o mesmo trabalho para outras comunidades indígenas que tenham o interesse de quantificar as toneladas de carbono existentes nas áreas com cobertura vegetal com a finalidade de obtenção de certificados de carbono.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, G.P. et al. *FLAASH and MODTRAN4: State-of-the-Art Atmospheric Correction for Hyperspectral Data*. Air Force Research Laboratory, Space Vehicles Directorate, [S.l.].
- BAPTISTA, G.M. M. *Validação da Modelagem de seqüestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, Belo Horizonte, p. 1037-1044, 2003.
- BOLFE, E.L.; FERREIRA, M.C.; BATISTELLA, M. *Avaliação da correlação entre índices de vegetação e biomassa epígea de sistemas agroflorestais*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, p. 2603-2610, 2009.
- CERQUEIRA, D. B. de; ROCHA, W.F.. *Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO₂ no Bioma Caatinga: Estudo de caso em Rio de Contas - Ba*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Florianópolis, p. 2413-2419, 2007.
- COLTRI, P. P. et al. *Utilização de índices de vegetação para estimativas não destrutivas da biomassa, estoque e seqüestro de carbono do cafeeiro arábica*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, p. 121-128, 2009.
- FEARNSIDE, P.M.. *Estoque e estabilidade do carbono nos solos na Amazônia brasileira*. p. 259–262. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 p. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5, 2009.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests*. Forestry Paper, n.134, p. 71.
- FOODY, G. M.; BOYD, D.S.; CUTLER, M. E. J. *Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions*. Remote Sensing of Environment, n. 85, p. 463–474, 2003.
- GARBULSKY, M.F. et al. *Estimación de la eficiencia del uso de La radiación en bosques mediterráneos a partir de datos MODIS. Uso del Índice de Reflectancia Fotoquímica (PRI)*. Ecosistemas, v.17, n. 3, p. 89-97, 2008.

GOUVÊA; E. J. C. *Calibração radiométrica relativa da câmara CCD dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B*. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

GOUVÊA; E. J. C.; FONSECA, L.M.G. *Avaliação da qualidade radiométrica das imagens do satélite CBERS-2B*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, p. 2041-2048, 2009.

GREEN, R. O.; *Measuring the Spectral Expression of Carbon Dioxide in the Solar Reflected Spectrum with AVIRIS*. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena.

JÚNIOR, J. B.T. et al. *Avaliação dos dados GeoCover a partir de dados de campo coletados com receptores GPS*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, p. 1889-1896, 2009.

LATORRE, M. *Utilização de um método de correção atmosférica para o processamento de dados hiperspectrais do sensor AVIRIS em regiões tropicais*. 1998. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

LATORRE, M. et al. *Correção Atmosférica: Conceitos e Fundamentos*. Espaço & Geografia, [S.l.], Vol.5, n. 1, p. 153-178, 2002.

MANUAL para Produção de Madeira na Amazônia. *Censo Florestal*. p. 19-35.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G.; ALENCAR, A. A. *A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia*. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Brasília, Brasil, p. 202, 1999.

NOGUEIRA, E. M. et al. M. *Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories*. Forest Ecology and Management, v.256, p. 1853–1867, 2008.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSIDE, P.M; NELSON, B.W. *Normalization of wood density in biomass estimates of Amazon forests*. Forest Ecology and Management, v.256, p. 990–996, 2008.

PEREIRA, G. *Modelagem das estimativas dos fluxos de gases traços e de aerossóis liberados na queima de biomassa por Sensoriamento Remoto*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, p. 5351-5358, 2009.

PINHEIRO, E.S.; DURIGAN, G.; ADAMI, M. *Imagens Landsat e QuickBird são capazes de gerar estimativas precisas de biomassa aérea de Cerrado?* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, p. 2913-2920, 2009.

PINTO, E.C.T; RIBEIRO. A.P. *Comparação da densidade de biomassa fotossinteticamente ativa em cordilheiras de beira de salina em áreas com gado e sem gado na Nhecolândia através do sensoriamento remoto.* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, p. 2921-2927, 2009.

RAHMAN, A.F. et al. *Modeling CO₂ Flux of Boreal Forests using Narrow-Band indices from AVIRIS Imagery.* California State University, Los Angeles, Geography Department.

ROSEMBACK, R.; FRANÇA, A. M. S.; FLORENZANO, T. G. *Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana.* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

SANTOS, J. R. et al. *Análise da Imagem JERS-1 para Estimativa da Biomassa Aérea de Florestas Tropicais no Sudoeste da Amazônia.* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, Santos, 1998.

TERRA, F. S.; FONSECA, E. L. da; SALDANHA, D.L. *Influência da estrutura do dossel e contribuição do solo no modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produção de biomassa aérea.* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, p. 507-514, 2009.

SILVA, M.J.G. *Climatologia do Estado de Rondônia.* SEDAM - Secretaria de Estado do Meio Ambiente . Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br/web/guest/Meteorologia/Climatologia>. Acesso em: 30 nov. 2009.

SOUZA; P. E.U. *Calibração radiométrica da câmara CCD/CBERS-1.* 2003. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

STEVENSON, M.R.; MALUF, S. *Estudo de um caso de detecção de cardume e estimativa de sua biomassa utilizando um sistema de imageamento com nível baixo de luz (Low Light Level Imaging System).* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

ZANCHI, F. B. *Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil.* Acta Amazonica, [S.l], v. 39, n. 2, p. 335 – 348, 2009.