



## USO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA CÁLCULO DE VOLUME EM FLORESTA DE EUCALIPTO NO MUNICÍPIO DE BOTUCATU/SP

**Bruna Soares Xavier De Barros<sup>1</sup>, Saulo Philipe Sebastião Guerra<sup>2</sup>, Zacarias Xavier De Barros<sup>3</sup>, Cristina Maria Sousa Catita<sup>4</sup> & João Carlos Costa Catalão Fernandes<sup>5</sup>**

**RESUMO:** Neste estudo se utilizou imagens de satélites multiespectrais como fonte de dados para determinação de parâmetro estrutural de uma floresta de eucalipto. Baseando-se em procedimentos utilizados em outras áreas de florestas de monocultura, através de uma metodologia que otimiza a monitoração e controle de um povoamento. A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) já é realidade presente em vários setores das atividades e necessidades humanas, devido principalmente à capacidade de armazenamento de dados e a velocidade na apresentação deste nas tomadas de decisões. Neste contexto, a avaliação de áreas de cultura de eucalipto, por meio de imagens aéreas, pode tornar muito rápida e acertada as tomadas de decisões pelas áreas técnicas ligadas ao cultivo e também pela área econômica. Este trabalho teve como objetivo verificar a possibilidade de calcular o volume de uma área de povoamento de eucalipto na região do município de Botucatu/SP Brasil, utilizando-se imagens satélite LANDSAT, ferramenta SIG e técnicas de análise estatística. Após a análise dos modelos com melhor ajuste estatístico obtido através da regressão série temporal, concluiu-se que, para o mesmo tipo de cultura, o emprego de dados orbitais associados aos de campo foi eficiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eucalipto, inventário florestal, volume, análise de imagens, sistemas de informação geográfica.

### Use Of Satellite Images To Determine Eucalyptus Plantation Volume In Botucatu-SP.

**ABSTRACT:** In this work, multispectral satellite images was used as source of data to determine structural parameter of an eucalyptus forest, based on procedures used in other areas of monoculture forests, through a methodology that optimizes the monitoring and control of a stand. The use of Geographic Information Systems (GIS) is already a reality in many sectors of human activities and needs, mainly due to storage capacity and data speed delivery in decision making. This work aimed at verifying the possibility to determine volume by evaluating an area of eucalyptus plantation in Botucatu / SP, Brazil, using Landsat satellite images, GIS tool, and statistical analysis techniques. After analyzing the statistical model with the best fit regression obtained from the time series, it was concluded that for the same type of crop, estimation using satellite data associated to field data was efficient.

**KEYWORDS:** Eucalyptus, forest inventory, volume, image analysis, geographic information systems.

## 1 INTRODUÇÃO

O município de Botucatu e região possuem terras com aptidão para o bom desenvolvimento do eucalipto, uma vez que, apresentam grandes áreas de solo tipo arenoso, com profundidade favorável ao desenvolvimento do sistema radicular desta cultura.

A avaliação do reflorestamento, com base em inventários de áreas e também do volume de madeira de uma região de interesse, torna-se importante ferramenta para o planejamento de novos investimentos na expansão ou

mesmo na melhoria dos tratamentos culturais de uma área pré-existente.

Segundo Cunha (2004) o volume é a variável mais utilizada no diagnóstico do potencial madeireiro de uma floresta, sendo por isso um parâmetro muito importante na dendrometria. Além de ser de uso corrente no manejo florestal, é também o mais utilizado na comercialização e na indústria. Calculando o volume de uma árvore pode-se chegar à determinação do volume de uma floresta.

A avaliação de áreas e volumes de florestas implantadas com eucalipto, por meio de imagens aéreas, orbitais e não orbitais, torna muito rápida e acertada as tomadas de decisões pelos departamentos ligadas ao cultivo e também pela área econômica da empresa para definir

1 E-mail: brunasxb@gmail.com

2 FCA/UNESP. E-mail: ssguerra@fca.unesp.br

3 FCA/UNESP. E-mail: zacariasxb@fca.unesp.br

4, 5 FCUL/UL.

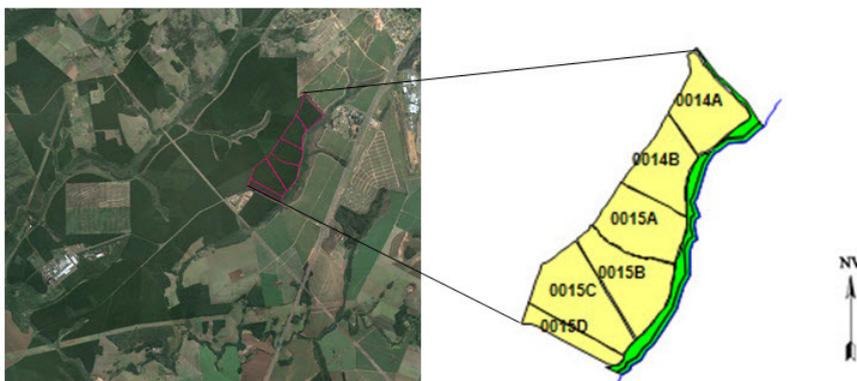
novos investimentos em determinados setores ou até mesmo determinados talhões dentro de uma grande área.

Segundo Silva (2001) a função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas computacionais são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas, produzindo assim imagens contendo informações específicas.

Para Moreira (2005) cada alvo (asfalto, vegetação, água, entre outros) tem comportamento espectral diferente na mesma condição ambiental. Os corpos de água apresentam baixa reflectância, pois absorve toda a radiação acima de 750nm. Segundo Tucker, (1979), a vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,58 a 0,68  $\mu\text{m}$ ) e por uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo (0,76 a 1,35  $\mu\text{m}$ ) causada pela estrutura celular das folhas.

Segundo Berra et al., (2012), os índices NDVI e SR mostraram-se como bons estimadores de volume de madeira e que existe alta correlação positiva entre volume de madeira e os valores de NDVI e SR para plantios de eucaliptos na forma de povoamento contínuo no Estado do Rio Grande do Sul.

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), já é realidade presente em vários setores, devido principalmente a capacidade de armazenamento de dados e a velocidade na apresentação deste nas tomadas de decisões. O emprego dos SIG para o estudo da ocupação do solo tornou-se evidente, principalmente pelo rápido fornecimento de resultados (MATIAS 2001).



**Figura 1 - Parcelas de reflorestamento da Fazenda Pinheiros.**

O inventário florestal de campo de cada fazenda, referente aos anos de 2007, 2008, 2009 e 2010, foram cedidos pela empresa Duratex S/A em 2012, com dados das parcelas, como por exemplo: espaçamento, área, idade na medição, data da medição, altura, número de árvores por hectare, fustes por hectare, entre outros.

Segundo Berra et al., (2012) modelos relacionando respostas espectrais com parâmetros biofísicos visam a estimativa de variáveis, tais como volume de madeira, sem a necessidade de avaliações constantes em campo. Este trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade de determinar volume de madeira, através da avaliação de uma área de plantação de eucalipto, utilizando-se imagens satélite LANDSAT e ferramenta SIG, na região de Botucatu/SP.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

As áreas estudadas estão situadas entre as coordenadas 756051m - 758915m e 7437244m - 7461880m. A Fazenda Pinheiro com altitude de 865m e a Fazenda Cascata com 650 m localizadas no reverso da “Cuesta” e depressão periférica, município de Botucatu/SP e de Itatinga/SP, respectivamente, com relevo plano e suave ondulado e clima tipo Cfa segundo Köpen.

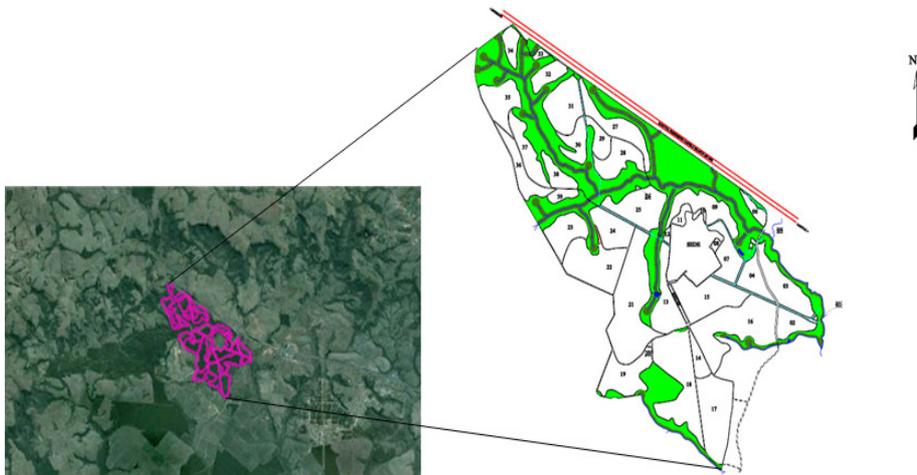
Para este estudo utilizaram-se imagens digitais Landsat 5/TM adquiridas junto ao U.S. Geological Survey / Earth Resources Observation & Science Center (EROS), com as bandas 3, 4 e 5 com resolução de 30 m para os de 2007, 2008, 2009 e 2010.

Para complementar o estudo, utilizaram-se dados de levantamentos de campo de seis parcelas da Fazenda Pinheiros, Figura 1, e dados de vinte e sete parcelas pertencentes à Fazenda Cascata, Figura 2. Vale salientar que estas parcelas são florestadas por *Eucalyptus grandis* com idades de 3,5 anos em 2007 e 6,5 anos em 2010.

Os programas de computador utilizados foram: PCI *Geomatics*, versão 9.1 (*Geo-intelligence Solutions*, 2003); o *Microsoft Office Excel* 2007 (Microsoft, 2007); *Idrisi Kilimanjaro*, versão 14.01 (Clark Labs, 2003); *ArcGis 10 Desktop* (ESRI, 2010) e R, versão 3.0.0 (*The R Foundation for Statistical Computing*, 2013).

Iniciado o tratamento dos dados, as imagens de satélite e as tabelas com dados das observações de campo foram processadas no intuito de gerar as amostras que

compuseram o ajustamento dos modelos de regressão, as quais posteriormente foram analisadas detalhadamente.



**Figura 2 -** Parcelas de reflorestamento da Fazenda Cascata.

Para a etapa de Processamento e medição de características das imagens de interesse e do programa PCI Geomatics, fez-se a importação da imagem através do item “import PCIDSK”, no qual se selecionou a importação apenas de uma banda, no caso a banda cinco. Após salvar este procedimento, fez-se a adição da banda 4 através do item “transfer layer” e o mesmo para a banda 3.

Após a combinação das bandas para o ano de 2007, fez-se o mesmo procedimento para os anos seguintes: 2008, 2009 e 2010. Para facilitar a visualização da área de estudo efetuou-se o corte da imagem em torno da área de interesse através do comando “Clipping / Subsetting”, alterando o nome do arquivo de saída.

O objetivo de tratar a imagem no PCI Geomatics foi calcular a reflectância, que é a razão entre fluxo radiante e incidente, segundo Luiz et al., (2003) e o NDVI da imagem a fim de promover a melhor caracterização das formações florestais da área de estudo. Procedeu-se então a conversão dos números digitais para reflectância, utilizando-se do item “raster calculator”, para a determinação do índice de vegetação NDVI, que é dado pela Equação,  $NDVI = \frac{IP - V}{V + IP}$ , onde:  $IP - V =$  infravermelho próximo - vermelho e  $V + IP =$  vermelho + infravermelho próximo, conforme (KRIEGLER et al., 1969) e (ROUSE et al., 1973).

No programa Microsoft Excel, para cada ano (2007, 2008, 2009 e 2010) tomou-se nota dos números digitais de cada banda de cada parcela em estudo pertencentes à Fazenda Pinheiro, obtidos na etapa anterior pelo PCI Geomatics. Estes números são do sistema RGB de cores onde cada cor é definida pela quantidade de vermelho, verde e azul que a compõem, onde o número zero indica ausência de intensidade e o número 255 indica intensidade máxima (GONZALEZ & WOODS, 2000).

Vale salientar que a fórmula adotada para o cálculo de volume de madeira por unidade de área foi  $V (m^3/ha) =$

$[(DAP^2/4 \cdot \pi) \cdot H] \cdot f]$  citada em (THAINES et al., 2010).

O Idrisi Kilimanjaro foi utilizado visando relacionar os dados de campo com os dados oriundos das imagens geradas, efetuaram-se análises de regressão múltipla pelo método Stepwise, podendo-se, assim, determinar a variável ou variáveis independentes que melhor explicassem a variação de cada variável dependente. Ressalta-se que, o volume é considerado variável dependente e os valores digitais de reflectância (REF) e o índice de vegetação (NDVI), correspondentes às unidades amostrais, foram consideradas variáveis independentes, resultando na equação padrão  $y = a \cdot NDVI + b \cdot REF + c$  (MACIEL et al., 2009).

Os dados da Fazenda Cascata foram inseridos no Excel e inicialmente verificaram-se os valores de volume encontrados pelo mesmo método utilizado na Fazenda Pinheiro, através da fórmula já citada anteriormente. Em seguida, aplicou-se a equação de regressão encontrada no Idrisi referente aos dados da outra área de estudo, tendo assim um meio de verificação do método.

Para a próxima etapa, também como meio de verificação, com os dados do inventário florestal da Fazenda Cascata e utilizando o Idrisi Kilimanjaro, fizeram-se os cálculos de NDVI e reflectância fazendo uso das imagens de satélite, com destaque para o utilitário “VegIndex” para o cálculo do NDVI. O objetivo desta etapa foi encontrar a equação de regressão para o parâmetro biométrico (volume) de cada ano da fazenda agora em estudo.

No ArcGis, o primeiro passo foi georreferenciar a Fazenda Cascata, sabendo-se que quanto maior o número de pontos coletados, mais preciso será o georreferenciamento. Na seqüência, efetuou-se a digitalização dos limites das áreas correspondentes as quadras em estudo, gerando assim geometrias do tipo polígono, conforme a Figura 3. Em seguida, converteu-

se os polígonos vetoriais para uma estrutura raster. Acrescentou-se, em arquivo tif, as duas imagens anteriormente processadas no Idrisi referentes à reflectância e ao NDVI. Fez-se a média dos pontos em cada parcela para NDVI e reflectância, visando encontrar



**Figura 3** - Parcelas da Fazenda Cascata sobrepostas à imagem de satélite no ArcGis.

os valores das coordenadas x e y médio através do centróide de cada parcela, reunindo assim todos os valores em uma única tabela, inclusive os valores de volume.

Pôde-se distinguir efetivamente duas etapas do trabalho quando optou-se pela regressão série temporal como alternativa de atender as dificuldades encontradas nas informações analisadas da regressão época a época, ou seja, para obter um componente temporal e alcançar uma tendência estatística, modelos por regressão múltipla foram determinados ao adicionar o valor médio de cada parcela ano a ano ao longo do tempo.

A linguagem de programação e cálculo estatístico denominado R foi a ferramenta utilizada para criação e manipulação de gráficos com a finalidade de executar a

regressão múltipla para análise estatística conjunta dos anos considerados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabela 1 e 2, apresentam os valores, obtidos em campo, utilizados para os cálculos de volume, onde HD (altura predominante em metros); HT (altura total em metro) e q (diâmetro médio em centímetros), referentes ao ano de 2010 das Fazendas Pinheiro e Cascata, respectivamente.

**Tabela 1** - Dados de campo das quadras da Fazenda Pinheiro em 2010.

| Quadra | Espaçamento (m) | Idade (anos) | HD (m) | HT (m) | q (cm) | Árvores (n/ha) |
|--------|-----------------|--------------|--------|--------|--------|----------------|
| 0015C  | 3,00 X 1,70     | 6,4          | 25,8   | 21,5   | 14,2   | 1.528          |
| 0014B  | 3,00 X 1,70     | 6,6          | 25,4   | 20,9   | 13,4   | 1.690          |
| 0014A  | 3,00 X 1,70     | 6,7          | 25,8   | 22,1   | 15,0   | 1.296          |
| 0015D  | 3,00 X 1,70     | 6,4          | 25,5   | 21,2   | 13,9   | 1.759          |
| 0015B  | 3,00 X 1,70     | 6,4          | 25,1   | 21,2   | 13,2   | 1.852          |

**Tabela 2 - Dados de campo das quadras da Fazenda Cascata em 2010.**

| Quadra | Espaçamento (m) | Idade (anos) | HD (m) | HT (m) | q (cm) | Árvores (n/ha) |
|--------|-----------------|--------------|--------|--------|--------|----------------|
| 0002   | 3,00 X 2,00     | 6,18         | 32,00  | 24,85  | 16,68  | 1.574,07       |
| 0003   | 3,00 X 2,00     | 6,18         | 31,75  | 25,07  | 16,64  | 1.435,19       |
| 0004   | 4,00 X 1,50     | 6,13         | 29,65  | 24,18  | 15,69  | 1.527,78       |
| 0007   | 4,00 X 1,50     | 6,13         | 33,25  | 26,73  | 17,45  | 1.481,48       |
| 0009   | 4,00 X 1,50     | 6,17         | 32,93  | 26,42  | 16,51  | 1.412,04       |
| 0013   | 4,00 X 1,50     | 6,12         | 33,25  | 26,83  | 17,21  | 1.342,60       |
| 0015   | 4,00 X 1,50     | 6,14         | 31,65  | 24,07  | 15,47  | 1.574,07       |
| 0016   | 4,00 X 1,50     | 6,14         | 31,71  | 24,57  | 15,64  | 1.481,48       |
| 0017   | 3,75 X 1,80     | 5,20         | 26,52  | 22,11  | 15,54  | 987,65         |
| 0018   | 3,75 X 1,80     | 4,95         | 29,45  | 24,13  | 17,11  | 1.049,38       |
| 0019   | 4,00 X 1,50     | 6,05         | 32,40  | 24,90  | 15,56  | 1.435,19       |
| 0021   | 4,00 X 1,50     | 6,10         | 32,06  | 25,41  | 15,96  | 1.435,19       |
| 0022   | 4,00 X 1,50     | 5,88         | 31,15  | 25,29  | 16,41  | 1.319,45       |
| 0023   | 4,00 X 1,50     | 6,06         | 32,25  | 26,26  | 16,37  | 1.111,11       |
| 0024   | 4,00 X 1,50     | 6,12         | 29,60  | 24,36  | 16,05  | 1.435,19       |
| 0025   | 4,00 X 1,50     | 6,12         | 31,45  | 26,20  | 16,73  | 1.342,60       |
| 0028   | 4,00 X 1,50     | 5,98         | 32,35  | 25,62  | 16,33  | 1.435,19       |
| 0029   | 4,00 X 1,50     | 5,98         | 31,10  | 24,10  | 15,75  | 1.481,48       |
| 0030   | 4,00 X 1,50     | 6,00         | 31,40  | 25,53  | 16,31  | 1.157,41       |
| 0031   | 4,00 X 1,50     | 6,05         | 31,68  | 25,73  | 16,46  | 1.365,74       |
| 0032   | 4,00 X 1,50     | 5,96         | 27,15  | 23,52  | 16,37  | 1.203,70       |
| 0034   | 3,00 X 2,00     | 5,34         | 30,65  | 24,45  | 16,53  | 1.250,00       |
| 0035   | 4,00 X 1,50     | 6,04         | 31,30  | 26,83  | 17,02  | 1.342,59       |
| 0036   | 4,00 X 1,50     | 6,04         | 32,45  | 25,98  | 17,50  | 1.157,41       |
| 0037   | 4,00 X 1,50     | 6,04         | 32,95  | 24,92  | 16,08  | 1.388,89       |
| 0038   | 4,00 X 1,50     | 6,04         | 31,05  | 25,33  | 16,58  | 1.388,89       |

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para cada ano estudado, utilizando-se como variáveis independentes os valores digitais de reflectância e/ou índice de vegetação, onde se determinou uma equação referente ao volume e também o valor de  $R^2$  ajustado proveniente de cada equação.

**Tabela 3 - Equações de volume do período estudado e valores de  $R^2$  ajustado, fazenda Pinheiro.**

| Ano  | $R^2$ ajustado | equação:   |
|------|----------------|--|
| 2007 | 0.170511       | $eq\_vol\_2007 = 306.5319 - 451.7395*eq\_ndvi\_2007 + 459.9947*eq\_ref4\_2007$     |
| 2008 | 0.128272       | $eq\_vol\_2008 = 13.5136 + 97.7839*eq\_ndvi\_2008 + 319.0300*eq\_ref4\_2008$       |
| 2009 | 0.285729       | $eq\_vol\_2009 = -1161.3818 + 2441.0828*eq\_ndvi\_2009 - 1612.6618*eq\_ref4\_2009$ |
| 2010 | 0.380342       | $eq\_vol\_2010 = 591.5330 + 1480.2263*eq\_ndvi\_2010 - 4877.9718*eq\_ref4\_2010$   |

A tabela acima apresenta resultados baseados na equação padrão  $y = a*NDVI + b*REF + c$ ; verificando que através dos cálculos de NDVI e reflectância dispendo das imagens de satélite pode-se determinar o parâmetro biométrico escolhido. Para volume fez-se uso dos valores de reflectância da banda 4 e do índice de vegetação, onde  $Volume = a \cdot NDVI + b \cdot REF + c$ , segundo Maciel et al., (2009), a fim de obter equações de regressão com melhor resultado de cada ano da fazenda em estudo.

No entanto, os valores de  $R^2$  ajustado apresentados na tabela 3 não foram satisfatórios. O objetivo da análise estatística é saber a qualidade de uma amostra buscando regularidade presente nas observações na qual a regressão e correlação são técnicas estatísticas que se baseiam neste conceito de amostragem. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é utilizado no caso de uma regressão linear para verificação do quão bem o modelo se ajusta aos dados. A tabela 4 traz valores de  $R^2$  ajustado consideravelmente inferior a 1, portanto insatisfatórios.

Nestas circunstâncias, na tentativa de solucionar este problema do coeficiente de determinação, volta-se a área inicial e ao invés de utilizar pontos aleatórios de cada parcela para chegar às equações apresentadas, fez-se uma média de todos os pixels da área em questão, na ferramenta R.

Segundo Tucker (1979), as variáveis independentes que melhor explicam a variância da variável dependente, são o NDVI e as reflectâncias, da banda 3 e 4, dispondo-se da equação padrão, segundo Ramos (2005), agora representada por  $y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2$ , tem-se que para as variáveis independentes referente ao cálculo do volume são NDVI e reflectância da banda 4 para  $x_1$  e  $x_2$ , respectivamente.

Assim, executou-se uma regressão múltipla para cada época, com recurso do comando `lm()` da ferramenta R já referido. Os resultados obtidos para o  $R^2$  estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Valores de  $R^2$  para Fazenda Pinheiro e Fazenda Cascata.**

| Época | Fazenda Pinheiro | Fazenda Cascata |
|-------|------------------|-----------------|
|       | $R^2$ - Volume   | $R^2$ - Volume  |
| 2007  | 0.0751           | 0.5297          |
| 2008  | 0.0369           | 0.2229          |
| 2009  | 0.0446           | 0.2572          |
| 2010  | 0.3562           | 0.0483          |

Com os dados da tabela 4, pode-se confirmar que os valores de  $R^2$  são muito pequenos e por isso estatisticamente não significativo.

De posse dos resultados apresentados pode-se verificar que mesmo com os valores de  $R^2$  insatisfatórios não se conclui a inexistência de correlação entre as variáveis dependentes e independentes, ou seja, outro fator, além da falta de correlação entre variáveis, pode estar presente.

Através de uma análise mais detalhada verificou-se que estes valores baixos do coeficiente de determinação são devido a pouca variabilidade dos dados.

O desvio padrão mostra o quanto de variação existe em relação ao valor esperado (média) e que um baixo desvio padrão indica que os dados tendem a estar próximos da média, enquanto o desvio padrão alto indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores. A Tabela 5 apresenta os valores médios e desvio padrão para a variável em estudo.

**Tabela 5 - Média e desvio padrão na Fazenda Pinheiro.**

| Época | Volume  | NDVI  | REF 3 | REF 4 |
|-------|---------|-------|-------|-------|
| 2007  | 104.750 | 0.730 | 0.039 | 0.346 |
|       | 9.060   | 0.010 | 0.001 | 0.014 |
| 2008  | 162.802 | 0.588 | 0.051 | 0.265 |
|       | 10.993  | 0.014 | 0.001 | 0.008 |
| 2009  | 109.521 | 0.647 | 0.040 | 0.265 |
|       | 13.819  | 0.008 | 0.000 | 0.007 |
| 2010  | 268.003 | 0.533 | 0.058 | 0.256 |
|       | 16.794  | 0.007 | 0.001 | 0.005 |

Como o comportamento dos dados relativos à variação são muito semelhantes para as duas fazendas, apresentou-se na Tabela 5 os valores referentes à Fazenda Pinheiro. E, ao analisá-los, é visível a reduzida variação dos dados, ou seja, desvio padrão baixo.

A fim de contornar a falta de variabilidade de dados, mencionada anteriormente, decidiu-se estender a regressão à série temporal, como é possível verificar através da média e desvio padrão ao longo do período estudado para variável, como mostra a Tabela 6.

**Tabela 6 - Média e desvio padrão para variável série temporal, fazenda Pinheiro.**

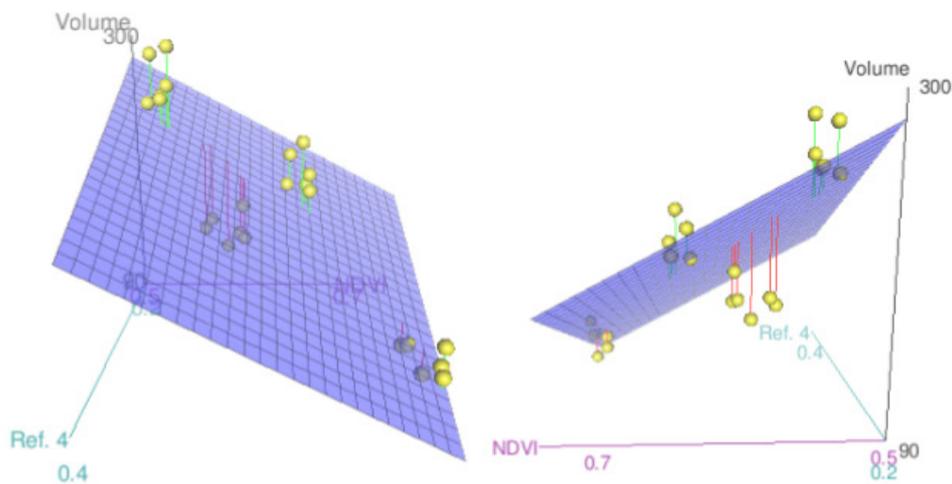
|           | Volume  | NDVI  | REF 3 | REF 4 |
|-----------|---------|-------|-------|-------|
| $\bar{x}$ | 185.074 | 0.625 | 0.047 | 0.283 |
| $s$       | 62.084  | 0.075 | 0.008 | 0.039 |

Com esta variabilidade mais favorável, executou-se o ajustamento para toda a série temporal, os resultados para o valor de  $R^2$  encontram-se na Tabela 7 e como esperado, estes valores são substancialmente maiores que os obtidos para a regressão anterior, concordando com Canavesi et al., (2010), que encontraram valores para  $R^2$  ajustado para os modelos variando de 0,589 a 0,704.

**Tabela 7 - Valores de  $R^2$  da fazenda Pinheiro e Cascata**

| Fazendas | $R^2$  |
|----------|--------|
|          | Volume |
| Pinheiro | 0.7018 |
| Cascata  | 0.5614 |

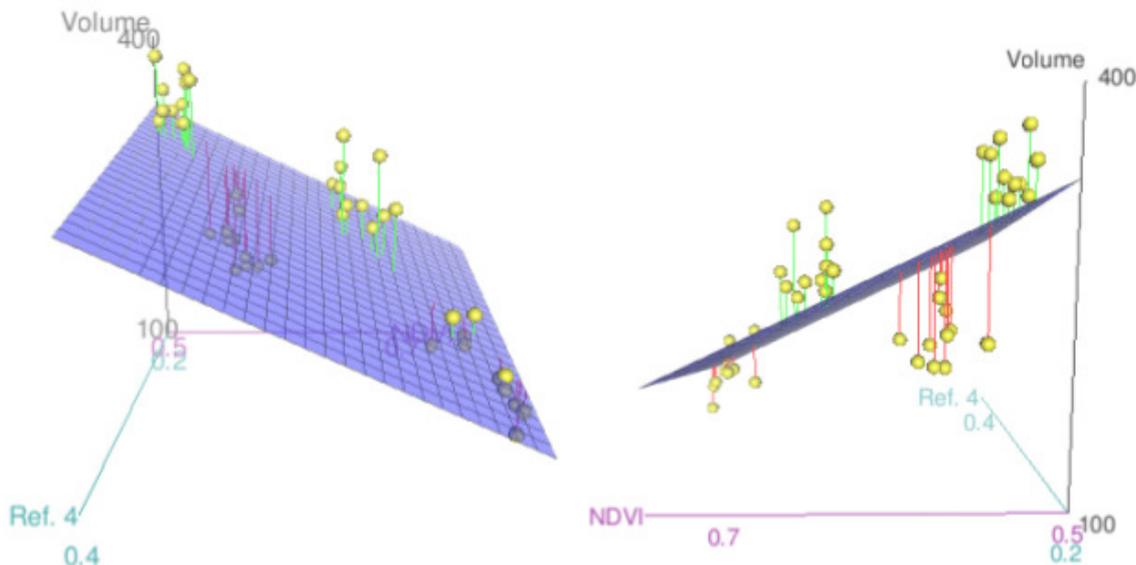
Apesar de apresentar uma melhora significativa quando comparados com os valores obtidos para o caso anterior, os valores de  $R^2$  mostraram-se como principal inconveniente à pesquisa por se apresentarem ainda baixos do ponto de vista estatístico, é importante destacar que para a Fazenda Pinheiro o valor encontrado próximo de 70% é considerado aceitável, Tabela 7.



**Figura 4 - Plano ajustado e representação dos resíduos do volume na Fazenda Pinheiro.**

Os novos modelos obtidos com melhor ajuste, para a fazendas Pinheiro e Cascata foram:  $V = 613.4285 - 471.3079 * NDVI - 473.5523 * REF4$ , figura 4 e  $V = 681.5558 - 586.2572 * NDVI - 259.7072 * REF4$ , Figura 5.

Ao analisar os resíduos, Figuras 4 e 5, verifica-se que estes apresentam um padrão não aleatório. Este padrão é um padrão sistemático, claramente relacionado com a



**Figura 5 - Plano ajustado e representação dos resíduos do volume na Fazenda Cascata.**

A análise estatística dos dados provenientes da medição de campo permitiu uma estimativa analítica da incerteza associada ao resultado final, sendo assim, o uso dos dados de campo através do inventário florestal foi um diferencial no desenvolvimento da pesquisa, assim como a avaliação da potencialidade de utilização das imagens de satélite na estimativa do volume onde a aparência da cobertura vegetal em uma imagem orbital é consequência de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais.

Atingindo-se o objetivo proposto com a obtenção dos modelos, verificou-se um valor de R2 próximo a 70%

época de aquisição e se expressa de igual forma nas duas fazendas. Fenômeno este que se deve as diferenças relativa da camada atmosférica entre as épocas de aquisição, sendo considerado um problema típico de sensoriamento remoto quando se utilizam imagens para detecção de alterações em que o efeito relativo da atmosfera deve ser corrigido.

para a Fazenda Pinheiro, considerado um valor aceitável e de bom resultado comparado a levantamentos feitos em campo, já para a Fazenda Cascata manteve-se um baixo R2, Tabela 7. Ao analisar os resíduos constatou-se que estes não apresentavam um comportamento aleatório ao longo do tempo, sendo a explicação mais plausível para este fato os possíveis efeitos atmosféricos, que pode ser verificado nos gráficos de resíduos, Figuras 4 e 5.

O método aqui desenvolvido pode ser reaplicado para plantações de florestas de eucalipto com restrições quanto às condições consideradas, afinal os resultados

podem variar para outras espécies, estrutura e para outros métodos de determinação das variáveis.

#### 4 CONCLUSÃO

Dentre as limitações encontradas, a maior delas foi a variabilidade reduzida de tal forma que não foi suficiente para a determinação de uma única equação geral com a finalidade de obter resultados como em árvores de diferentes características da cultura avaliada, como foi demonstrado pelos valores de R<sup>2</sup> associados aos ajustamentos realizados.

Observando as devidas restrições e os modelos com melhor ajuste estatístico, é possível utilizar imagens de sensores remotos para a ampliação da capacidade de geração de informações em cadastros florestais.

#### 5 REFERÊNCIAS

- BERRA, E. F.; BRANDELERO, C.; PEREIRA, R. S.; SEBEM, E.; GOERGEN, L. C. de G.; BENEDETTI, A. C. P.; LIPERT, D. B. Estimativa do volume total de madeira em espécies de eucalipto a partir de imagens de satélite Landsat. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 853-864, 2012.
- CANAVESI, V.; PONZONI, F. J.; VALERIANO, M. M. Estimativa de volume de madeira em plantios de *Eucalyptus* spp. utilizando dados hiperespectrais e dados topográficos. Viçosa, **Rev. Árvore**. Viçosa, MG, v.34, n.3, p. 539-549, 2010.
- CUNHA, U. S. da. Dendrometria e inventário florestal. Manaus, 2004, 61p. **Apostila** - Escola Agrotécnica Federal de Manaus.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo, Edgard Blücher, Prentice Hall, 2000. 1004p.
- KRIEGLER, F. J.; MALILA, W. A.; NALEPKA, R. F.; RICHARDSON, W. 'Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition.' **Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment**, p. 97-131. 1969.
- LUIZ, A. J. B.; GÜRTLER, S.; GLERIANI, J. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; CAMPOS, R. C. Reflectância a partir do número digital de imagens ETM+. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p.2071 - 2078.
- MACIEL, M. N. M.; BASTOS, P. C. O.; CARVALHO, J. O. P.; WATRIN, O. S. Uso de imagens orbitais na estimativa de parâmetros estruturais de uma floresta primária no município de Paragominas, Estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 52, p. 159-178, 2009.
- MATIAS, L. F. **Sistemas de informações geográficas (SIG): Teoria e métodos para representação do espaço geográfico**. São Paulo, 2001, 325p. Tese (Doutorado em Geografia Humana) Universidade de São Paulo.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 320p.
- SILVA, A. M. **Curso Processamento digital de imagens de satélite**. Porto Alegre: Centro de Eventos da PUCRS, 2001. Disponível em: < <http://www.cartografia.org.br> >. Acesso em: 19 fev. 2007.
- THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de Madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Cábreá, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30. n.64, p.282-289, 2010.
- TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, Minnesota, 8, p.127-150, 1979.
- RAMOS, A. L. Q. B. **Busca de descritores na modelagem quimiométrica de inibidores de corrosão**. Niterói, 2005, 130 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal Fluminense.
- ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973. p.309-317.