

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE SCHEIBE DALLAGNOL

**ESTIMATIVA DE TEORES DE CARBONO EM SEIS ESPÉCIES DE BAMBU
POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR).**

CURITIBA

2012

FELIPE SCHEIBE DALLAGNOL

**ESTIMATIVA DE TEORES DE CARBONO EM SEIS ESPÉCIES DE BAMBU
POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de concentração em Manejo Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos R. Sanquetta
Co-orientadora: Prof^a. Dra. Silvana Nisgoski

CURITIBA

2012

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Dallagnol, Felipe Scheibe

Estimativa de teores de carbono em seis espécies de bambu por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) / Felipe Scheibe Dallagnol. – 2012

112 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Coorientadora: Prof^a. Dra. Silvana Nisgoski

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 27/03/2012.

Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Ciclo do carbono - Biogeoquímica. 2. Bambu. 3. Espectroscopia de infravermelho. 4. Teses. I. Sanquetta, Carlos Roberto. II. Nisgoski, Silvana. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.287



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 905

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Felipe Scheibe Dallagnol* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**ESTIMATIVA DE TEORES DE CARBONO EM SEIS ESPÉCIES DE BAMBU POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR)**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.


Dr. Ana Paula Dalla Corte
Universidade Federal do Paraná
Primeiro examinador


Dr. Lilian Cristina Côcco
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 27 de março de 2012.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-coordenador do curso



Biografia acadêmica do autor

Nascido em Curitiba, fez o ensino Fundamental na Escola Estadual Professor Julio Mesquita, no ano de 2000, conseguiu uma bolsa de estudos na Organização Paranaense de Ensino Técnico (OPET), onde obteve o título de Técnico em Informática juntamente com a formação no ensino médio. No ano de 2004 ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, participou de várias atividades o que conferiu uma formação que abrange diferentes pontos acerca de sua formação profissional. No ano de 2007 foi selecionado para participação de intercambio, passou cerca de um ano na França na cidade de Nantes frequentando a *Ecole Supérieure du Bois*, e estagiando no grupo FCBA (sigla para Floresta, Celulose, Madeira e Mobiliário), retornando ao Brasil no ano de 2008, concluiu a graduação se formando no ano de 2009 e ingressando logo em seguida no mestrado, na área de Manejo Florestal que no momento da defesa desta dissertação termina, por enquanto, sua fase acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu Orientador por me aceitar e me dar a oportunidade e a confiança de desenvolver, trabalhar e participar das atividades que a pós graduação me ofereceu, gostaria também de agradecer o auxílio da minha co-orientadora, por possibilitar o meu acesso ao Laboratório de Anatomia da Madeira e me auxiliar na coletada dos meus dados, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Agradeço também ao Governo, mais especificamente ao REUNI por proporcionar uma bolsa de estudo para realizar o Programa de Pós-Graduação, o incentivo através da bolsa garantiu não só a mim, mas ao programa de pós a produção e desenvolvimento de novas formas de pensar e agir.

Aos professores da graduação e da pós-graduação, pela preocupação em nos tornarem melhores profissionais e por incentivar a pesquisa na instituição.

Agradeço a minha família por sempre me incentivar, e me apoiar nos momentos que mais necessitei por me dar todas as oportunidades de estudo e de caráter. É neles que deposito minha confiança e meu sincero respeito e agradecimento.

À Manoela Kowalczuck, pois dividimos os nossos sonhos e realizações, por almejarmos um futuro melhor e transformarmos as nossas dificuldades em aprendizado.

À Ana Paula Dalla Corte por possibilitar a experiência profissional e acadêmica em trabalhos que tive a oportunidade de realizar paralelamente ao mestrado.

À Técnica de laboratório Dioneia Romero Calixto, pelas conversas, conselhos e amizade que temos.

Ao estimado amigo e colega de Pós-graduação Francelo Mognon, pelo aprendizado, profissionalismo, conselhos e trabalhos de campo que realizamos

juntos. Aos amigos de graduação em Engenharia Cartográfica, Gabriel Model pelos mapas e a Lucas Costa da Engenharia Industrial Madeireira pelas conversas. Aos colegas da pós que tive contato direto, seja pelo convívio no laboratório, ou pela realização de alguns trabalhos, aos colegas da graduação, por me ensinarem que somos sempre estudantes, independente da fase da vida.

Às pessoas que estavam envolvidas na coleta de dados de campo, pois o trabalho braçal dessas pessoas garantiu que esse trabalho pudesse ser realizado e abriu uma grande porta ao desenvolvimento de novas oportunidades.

Aos que me disseram não, pois aprendi que existem outras oportunidades e desafios a serem superados.

Enfim todos que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Resumo

DALLAGNOL, F.S. **Estimativa de teores de carbono em seis espécies de bambu por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal), Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

As florestas têm sua importância destacada já que constituem o maior reservatório de carbono de todos os ecossistemas terrestres e funcionam, em muitos casos, como sumidouros de carbono, o que auxilia com a sua inclusão em projetos no mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). Entretanto, a fim de que se possa avaliar o potencial para a geração de créditos de carbono, é de fundamental importância que se proceda à quantificação do carbono estocado nos tecidos vegetais. A quantificação do carbono fixado na biomassa é uma ferramenta geradora de dados primários e de informação, que podem vir a ser usados na proposição de projetos no âmbito do MDL. Os Bambus presentes em boa parte do planeta, constituintes da sucessão ecológica em áreas de espécies nativas, e em alguns casos introduzidos de forma errônea e sem qualquer critério de manejo ou manutenção, estão ganhando mais espaço. As possibilidades e os campos em que as espécies de bambu podem ser empregadas são as mesmas em que as diferentes espécies de madeiras. As espécies de bambu estudadas nesse trabalho são as mais cotadas para novos trabalhos com relação a fixação e o potencial de fixação de carbono em curto prazo dado ao rápido desenvolvimento de algumas espécies. As técnicas de espectroscopia no infravermelho próximo e médio têm sido frequentemente utilizadas, como uma ferramenta analítica, na determinação de constituintes em alimentos e fármacos. Diversos trabalhos demonstram o uso destas técnicas. Os métodos empregando a espectroscopia no Infravermelho são rápidos e exatos e têm ampla aplicação analítica. Para a realização desse trabalho foram avaliadas seis espécies de bambu, para isso os componentes da sua biomassa foram separados em colmo superior e inferior, folhas, galhos e rizoma. Esses compartimentos foram submetidos a dois tipos análises, por combustão total no equipamento Leco C-114 e pelo método do infravermelho próximo, a fim de comparar as metodologias e o tratamento dos dados. Em termos gerais os teores apresentados pelas espécies estudadas estão muito próximos das espécies florestais, valendo destacar que a espécie *Merostachys skvortzovii* foi a que apresentou os maiores teores de carbono, em média de 42% presente na sua biomassa. Com relação aos modelos testados no infravermelho o modelo ajustado para todas as espécies obteve um R^2 calibração de 0,8516 e RMSEC de 0,8009. Os modelos ajustados por espécie também apresentaram uma boa correlação e baixos erros de predição. Dessa forma é possível afirmar que com relação aos objetivos deste trabalho foi possível ajustar modelos, e estes obtiveram uma boa correlação com os dados de carbono reais e os espectros coletados na região do infravermelho analisados através da calibração por método multivariado comprovando a eficácia do método proposto.

Palavras Chave: bambu, teores de carbono, infravermelho próximo

Abstract

The forests have highlighted their importance as they constitute the largest carbon reservoir of all terrestrial ecosystems and work in many cases, such as carbon sinks, which helps with its inclusion in the CMD projects. However, in order to be able to assess the potential for generating carbon credits, is crucial to proceed to the carbon quantification stored in plant tissues. The quantification of carbon in biomass is a primary tool for generating data and information that may be used in proposing projects under the CDM. The Bamboos present in the planet, constituents of ecological succession in areas of native species, and in some cases inserted erroneously and without any criteria of management or maintenance, are gaining more space. The possibilities and the fields in which the species of bamboo can be used are the same as the different wood species are commonly employed. The bamboo species studied in this work are the highest rated in relation to new work setting and the potential for carbon sequestration in the short term given the rapid development of some species. The techniques of near-infrared spectroscopy and medium have often been used as an analytical tool in the determination of constituents in foods and pharmaceuticals. Several studies demonstrate the use of these techniques. The methods employing Infrared spectroscopy is fast and accurate analytical and have wide application. In forestry the techniques are gaining space and there are many fields in which this concept can be applied. To perform this work, was evaluated six species of bamboo, to do that the biomass components were separated into upper and lower stems, leaves, branches and rhizome. These compartments were submitted two kinds analysis, in the combustion equipment Leco C-114 and the near infrared, in order to compare the methodologies and data processing. In general the carbon contents of the studied species are very close to the forest species, worth highlighting that the species *Merostachys skvortzovii* showed the higher content of carbon, an average 42% of the carbon in their biomass. With respect to the models tested in the infrared model adjusted for all the species obtained an R^2 of calibration 0.8516 and RMSEC of 0.8009. The adjusted models for each species also showed a good correlation and low prediction errors. Thus we can say that with respect to the objectives of this work could fit models, and they had a good correlation with the carbon data and the actual spectra collected in the infrared region analyzed by multivariate calibration method for proving the efficacy of the proposed method.

Keywords: Bamboo, Carbon, Near Infrared

Sumário

Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de abreviações e siglas.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1 BAMBUS.....	5
3.2 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO E PERSPECTIVAS.....	9
3.3 BAMBUS NO BRASIL.....	10
3.4 BAMBUS COMO AGENTE DA SUCESSÃO VEGETAL.....	12
3.5 FIXAÇÃO DE CARBONO PELOS BAMBUS.....	14
3.5.1 Projetos de créditos de carbono.....	17
3.5.2 Definição de floresta de bambu para projetos de carbono.....	19
3.6 QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO.....	21
3.6.1 Métodos para a quantificação de carbono.....	22
3.7 ESPÉCIES UTILIZADAS NESTE TRABALHO.....	24
3.7.1 <i>Guadua angustifolia</i> Kunth.....	25
3.7.2 <i>Guadua chacoensis</i> (Rojas) Londoño e Peterson.....	25
3.7.3 <i>Merostachys skvortzovii</i> Sendulski.....	25
3.7.4 <i>Dendrocalamus giganteus</i> Munro.....	26
3.7.5 <i>Bambusa oldhamii</i> Munro.....	26
3.7.6 <i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex J.C. Wendl.....	27
3.8 ESPECTROSCOPIA ÓPTICA.....	27
3.8.1 Nir (<i>Near infrared</i>) – Infravermelho próximo.....	28
3.8.2 Análise dos dados provenientes do NIR.....	31
3.8.3 Análise de componentes principais.....	32
3.8.4 Calibração multivariada.....	32
3.8.5 Espectroscopia no infravermelho próximo na área florestal.....	33
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE COLETA DE DADOS.....	36

4.2	DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E DAS ESPÉCIES DE BAMBU	37
4.2.1	<i>Guadua chacoensis</i>	38
4.2.2	<i>Guadua angustifolia</i>	38
4.2.3	<i>Bambusa oldhamii</i>	39
4.2.4	<i>Bambusa vulgaris</i>	39
4.2.5	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	40
4.2.6	<i>Merostachys skvortzovii</i>	40
4.3	PROCEDIMENTO DE COLETA DAS AMOSTRAS	41
4.3.1	Galhos vivos e folhas	42
4.3.2	Colmo	43
4.3.3	Rizoma	44
4.4	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA AS ANÁLISES	46
4.5	DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CARBONO	47
4.6	ANÁLISE DOS DADOS PROVENIENTES DA ANÁLISE DE CARBONO	48
4.7	ANÁLISE DAS AMOSTRAS NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR)	48
4.8	ANÁLISE DE DADOS PROVENIENTES DO NIR	49
4.8.2	Análise de componentes principais	52
4.8.3	Pré-processamento dos dados	52
4.8.4	Regressão por mínimos quadrados parciais	53
4.8.5	Variáveis latentes	56
4.8.6	Metodologia para o ajuste no Infravermelho dos teores de carbono	57
5	RESULTADOS	59
5.1	TEORES DE CARBONO DETERMINADOS POR COMBUSTÃO SECA	59
5.2	DIFERENÇAS ENTRE COLMO SUPERIOR E INFERIOR	62
5.3	ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE AS ESPÉCIES E COMPARTIMENTOS	64
5.4	ANÁLISE NO INFRAVERMELHO	67
5.4.1	Análise de componentes principais	68
5.4.2	Análise de todo o conjunto de dados	71
5.4.3	Avaliação das espécies	74
5.4.4	Resumo das análises realizadas no NIR	95
6	CONCLUSÕES	97
7	RECOMENDAÇÕES	99

REFERÊNCIAS.....	100
------------------	-----

Lista de Figuras

Figura 1 Distribuição natural da subfamília Bambusoideae	7
Figura 2: Distinção entre os grupos de Bambus.....	7
Figura 3: Morfologia externa do bambu.....	8
Figura 4 Espectro eletromagnético e suas faixas.....	28
Figura 5 Esquema de um Espectrofotômetro	30
Figura 6: Locais onde as amostras foram retiradas.	37
Figura 7: Identificação das moitas.....	42
Figura 8: Coleta as coordenadas UTM com GPS de navegação.....	42
Figura 9: Amostra composta de galhos com folhas.....	43
Figura 10: Pesagem da amostra composta de galhos sem folhas.	43
Figura 11: Corte do Colmo	44
Figura 12: Medição do comprimento total	44
Figura 13: Pesagem da parte inferior	44
Figura 14: Pesagem da parte superior	44
Figura 15: Preparo e acondicionamento das amostras de cada compartimento.	45
Figura 16: Preparo das amostras de cada compartimento para a análise de carbono.	47
Figura 17: Esquema das zonas em que os espectros foram feitos por Amostra	49
Figura 18: Exemplo da transformação da coleta de três espectros de uma amostra	51
Figura 19: Espectro médio das Amostras utilizadas nesse exemplo.....	51
Figura 20: Variação dos teores de carbono no colmo superior e inferior	63
Figura 21: Resultados do teste de Tukey realizados nos compartimentos das seis espécies de bambu.....	65
Figura 22 Variações das médias entre as espécies e Resultados do teste de Tukey realizados nos entre as seis espécies de bambu.	66
Figura 23 Variações das médias entre os compartimentos e o resultados do teste de Tukey realizados nos cinco compartimentos de biomassa de bambu.66	
Figura 24: Espectros obtidos no infravermelho	67
Figura 25: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie <i>Guadua angustifolia</i>	68
Figura 26: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i>	69

Figura 27: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie <i>Guadua chacoensis</i>	69
Figura 28: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie <i>Merostachys skvortzovii</i>	70
Figura 29: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie <i>Bambusa oldhamii</i>	70
Figura 30: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie <i>Bambusa vulgaris</i>	71
Figura 31: Resultados proveniente da calibração do melhor modelo.....	73
Figura 32: Resultados proveniente da validação externa do melhor modelo	73
Figura 33: Validação e Dispersão do erro de estimativa na calibração externa.	74
Figura 34: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie <i>Guadua angustifolia</i>	76
Figura 35: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie <i>Guadua angustifolia</i>	76
Figura 36: Comparação entre a predição e os valores de referência.....	77
Figura 37: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie <i>Guadua angustifolia</i>	78
Figura 38: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i>	80
Figura 39: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i>	80
Figura 40: Comparação entre a predição e os valores de Referência	81
Figura 41: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i>	81
Figura 42: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie <i>Guadua chacoensis</i>	83
Figura 43: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie <i>Guadua chacoensis</i>	83
Figura 44: Comparação entre a predição e os valores de referência.....	84
Figura 45: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie <i>Guadua chacoensis</i>	84
Figura 46: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie <i>Merostachys skvortzovii</i>	86
Figura 47: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie <i>Merostachys skvortzovii</i>	86
Figura 48: Comparação entre a predição e os valores de referência.....	87
Figura 49: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie <i>Merostachys skvortzovii</i>	88

Figura 50: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie <i>Bambusa oldhamii</i>	90
Figura 51: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie <i>Bambusa oldhamii</i>	90
Figura 52: Comparação entre a predição e os valores de Referência	91
Figura 53: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie <i>Bambusa oldhamii</i>	91
Figura 54: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie <i>Bambusa vulgaris</i>	93
Figura 55: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie <i>Bambusa vulgaris</i>	93
Figura 56: Comparação entre a predição e os valores de Referência	94
Figura 57: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie <i>Bambusa vulgaris</i>	94

Lista de Tabelas

Tabela 1: Características de espécies herbáceas e lenhosas de bambu.....	8
Tabela 2: Número espécies de bambu distribuídas nos biomas brasileiros.....	11
Tabela 3: Organização dos dados no Software Unscrambler® v9.7	50
Tabela 4: Valores apresentados para o teor de carbono em seus compartimentos	60
Tabela 5: Resultado da ANOVA entre colmo inferior e superior	63
Tabela 6: Análise de variância entre as espécies e seus compartimentos	64
Tabela 7: Resultado dos melhores ajustes para todo o conjunto de dados	72
Tabela 8: Resultado dos melhores ajustes para a espécie <i>Guadua angustifolia</i>	75
Tabela 9: Resultado dos melhores ajustes para a espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i>	79
Tabela 10: Resultado dos melhores ajustes para a espécie <i>Guadua chacoensis</i>	82
Tabela 11: Resultado dos melhores ajustes para a espécie <i>Merostachys skvortzovii</i>	85
Tabela 12: Resultado dos melhores ajustes para a espécie <i>Bambusa oldhamii</i>	89
Tabela 13: Resultado dos melhores ajustes para a espécie <i>Bambusa vulgaris</i>	92
Tabela 14: Resumo dos melhores modelos ajustados.....	95

Lista de abreviações e siglas

cm – Centímetros.

cm⁻¹ – número de onda

CO₂ – Dióxido de Carbono.

FAO – Organização das Nações Unidas para alimentação e Agricultura.

FT-NIR – Infravermelho Próximo por Transformada de Fourier.

GEE – Gases de Efeito Estufa.

IV – Infravermelho.

Km² – Quilômetros Quadrados.

m – Metro.

nm- Nanômetro

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

NIR – Infravermelho Próximo.

PCA - Análise de Componentes Principais

PLS - Quadrados parciais

PFNM – Produtos Florestais Não Madeireiros.

t C/ha – Toneladas de Carbono por Hectare.

t C/ha.ano⁻¹ – Toneladas de Carbono por Hectare por Ano.

t/ha – Toneladas por Hectare.

UNFCCC – Painel Internacional de Mudanças Climáticas das Nações Unidas.

US\$ - Dólares Americanos.

1 INTRODUÇÃO

As florestas contêm importantes recursos naturais para humanidade, fornecendo bens e serviços, são responsáveis igualmente pelos reservatórios de carbono no ecossistema terrestre que em muitos casos se encontram como a forma mais viável de estocagem e de manutenção do carbono tanto acima quanto abaixo do solo (SANQUETTA, 2004). As florestas contribuem em grande escala para a mitigação dos gases do efeito estufa, sobretudo pela remoção do CO₂ atmosférico transformando-o através da fotossíntese em biomassa.

Os bambus, presentes em boa parte do planeta, constituintes do ambiente florestal e da sucessão ecológica, ocupam na América Latina uma área estimada em 11 milhões de hectares (SANTOS, 2008). São tipicamente considerados como gramíneas arbustivas, mas apresenta alguns representantes com comportamento arborescente. Essas espécies contribuem significativamente para a manutenção e contenção de alguns tipos de solo e para a fixação de carbono em seus tecidos vegetais.

Apesar de não serem consideradas como árvores ou florestas pelas convenções internacionais que definem as espécies passíveis de utilização em projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no aspecto florestal, ou para a mitigação do aquecimento global, as espécies de bambu estão ganhando espaço perante os projetos ligados a redução dos efeitos das mudanças climáticas, seja pela substituição da matriz energética por uma renovável, ou simplesmente pelo caráter estético em obras com critério mais sustentáveis.

Casagrande e Umezawa (2004) destacam que o bambu cresce mais rápido e possui um rendimento superior a biomassa das espécies arbóreas de rápido crescimento, segundo os autores, também é possível diminuir consideravelmente o impacto causado pela construção civil no meio ambiente, simplesmente pelo fato da adição das fibras de bambu ao cimento. Entretanto a maior importância relacionada às espécies de bambu é o fato de ser altamente renovável o que dificilmente ocorre com outros materiais.

Dessa forma as possibilidades e os campos em que as espécies de bambu podem ser empregadas são as mesmas em que as diferentes espécies de madeiras são comumente empregadas, que vão de produtos como carvão, utilizado na base energética de muitas empresas, ao piso altamente resistente de madeiras nobres da floresta amazônica.

O MDL é um dos mecanismos de flexibilização para o cumprimento dos compromissos dos países industrializados previstos no Protocolo de Quioto. É o único mecanismo que possibilita aos países industrializados cumprirem seus compromissos de redução investindo em projetos que evitem emissões dos gases causadores do efeito estufa nos países em desenvolvimento, os quais não possuem metas. Em contrapartida, estes projetos devem fomentar o desenvolvimento sustentável no país anfitrião.

A compreensão do ciclo do carbono, particularmente dos impactos das atividades humanas nos fluxos globais de carbono, são importantes ferramentas para o entendimento das mudanças climáticas. As atividades humanas relevantes que afetam diretamente o ciclo do carbono são: a emissão de gases de efeito estufa através dos combustíveis fósseis e mudanças do uso de solo; redução da emissão através do desmatamento evitado; sequestro de carbono nos solos e vegetação; e a substituição dos combustíveis fósseis pela biomassa. Entretanto os métodos para a estimativa do carbono no solo e na vegetação são críticos para as atividades que terão como base métodos e medidas para mitigar os efeitos citados, assim este fato reforça a necessidade de uma metodologia rápida, de baixo custo e possível de ser replicada (RAVINDRANATH e OSTWALD, 2008).

A medição de estoques e teores de carbono torna-se foco de atenção de convenções e acordos internacionais relacionados às mudanças climáticas globais. Entretanto, métodos mais eficientes de quantificação de carbono são necessários para oferecer melhores estimativas em inventários terrestres de carbono (Watson *et al.*, 2000). Estes inventários mais aperfeiçoados podem exigir mais medições que devem ser economicamente viáveis. Assim, o desenvolvimento de procedimentos alternativos de baixo custo econômico e impacto ambiental, combinados com adequada precisão e acurácia, devem ser altamente demandados.

Os métodos de determinação de carbono estão divididos em combustão úmida e seca, a combustão úmida convencionalmente mais utilizada, tem por princípio o uso de reagentes químicos, sendo uma técnica problemática quanto à questão dos resíduos, pois o principal subproduto desta técnica é o resíduo de Cromo. Já a combustão seca, resume-se ao aquecimento e queima de uma amostra em certos patamares, de forma que em cada patamar existe a queima de uma forma de carbono. Ambas as técnicas são destrutivas e existem problemas quanto aos resíduos gerados no decorrer de cada processo.

As técnicas de espectroscopia no infravermelho próximo e médio tem sido frequentemente utilizadas, como uma ferramenta analítica, na determinação de constituintes em alimentos e fármacos. Os métodos empregando a espectroscopia no infravermelho são rápidos e exatos e tem ampla aplicação analítica em análises químicas e de controle de qualidade de produtos das áreas agrícolas, farmacêuticas e tecnológicas. No setor florestal as técnicas vem ganhando espaço e existem muitos campos em que o conceito pode ser aplicado, na área de silvicultura, por exemplo, com a qualidade de sementes, entre outras possibilidades, mas é na área de tecnologia da madeira que ultimamente tem recebido o foco de alguns pesquisadores, onde muitos trabalhos apontam excelentes correlações quando comparados com as análises provenientes do infravermelho comparando métodos tradicionais. Isso somente reforça a idéia deste trabalho. Assim na determinação de um componente em particular, a espectroscopia no infravermelho necessita de um conjunto de amostras de calibração, uma vez que a resposta instrumental não fornece diretamente a informação desejada.

Neste trabalho será abordado o vértice dos três assuntos citados, a utilização do infravermelho próximo para determinação de teores de carbono nos componentes da biomassa de seis espécies de bambus, e das relações que esses teores podem apresentar, gerando uma ferramenta para a rápida estimativa dos teores de carbono, essencial para a geração básica de informações relacionadas a fixação de carbono na biomassa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os teores de carbono entre os diferentes compartimentos (colmo inferior, colmo superior, folhagem, galhada e rizoma) de seis espécies de bambus, quais sejam: *Guadua angustifolia* Kunth, *Guadua chacoensis* (Rojas) Londoño e Peterson, *Merostachys skvortzovii* Sendulski, *Dendrocalamus giganteus* Munro, *Bambusa oldhamii* Munro, *Bambusa vulgaris* Schard. Ex J.C. Wendl, por meio do método de combustão seca e sua correlação com espectros obtidos por meio da análise NIR – *Near Infrared* (IV - Infravermelho Próximo).

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- a) Determinar os teores de carbono das espécies analisadas pelo método da combustão seca;
- b) Determinar os espectros do infravermelho próximo (FT-NIR) das mesmas amostras analisadas pelo método da combustão seca e verificar a existência de correlação entre ambas as variáveis;
- c) Analisar os teores de carbono e evidenciar possíveis diferenças entre as espécies e seus compartimentos;
- d) Testar modelos de predição dos teores de carbono em função dos espectros do FT-NIR.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 BAMBUS

Segundo Scurlock *et al.* (2000), o termo bambu designa particularmente um grande grupo taxonômico de gramíneas lenhosas. Pertencem à família Poaceae e subfamília Bambusoideae, algumas vezes tratados separadamente como pertencentes à família Bambusaceae. Existem ainda dificuldades de precisar a quantidade correta de gêneros e famílias, pois Scurlock *et al.*, (2000) citam que existem cerca de 75 gêneros com aproximadamente 1250 espécies. Já dados de Ohrnberger (1999) e Divers (2001) mostram que existem cerca de 87 gêneros com aproximadamente 1500 espécies, sendo que 100 delas possuem potencial econômico. Por outro lado, Spolidoro (2008) cita que existem aproximadamente 50 gêneros e 1300 espécies de bambus.

Os motivos para a existência de dados diferentes em cada levantamento feito por esses autores são: a taxonomia dos bambus ainda é pouco compreendida; pouca atualização de dados de muitas espécies (SCURLOCK *et al.*, 2000); e também, segundo a FAO (2001), pelo fato de os bambus não serem rotineiramente incluídos em inventários florestais. A exclusão dos bambus dos inventários florestais pode estar associada à dificuldade em se delimitar o indivíduo, assim como ao número excessivo de colmos a serem medidos. Outra razão para dificuldade de identificação dos bambus, apontada por Beraldo e Freire (2003), é que a maioria dos bambus floresce em períodos muito longos, 30, 60, 90, 100 ou mais anos, e as flores e os frutos são essenciais para a sua classificação. Assim, o número de espécies conhecidas de bambus é ainda hoje objeto de discussões.

Os bambus se distribuem naturalmente dos trópicos às regiões temperadas, tendo, no entanto, maior ocorrência nas zonas quentes e com chuvas abundantes das regiões tropicais e subtropicais, da Ásia, África e América do Sul. Os bambus nativos crescem naturalmente em todos os continentes, exceto na Europa, sendo que 62% das espécies são nativas da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e

Oceania (HIDALGO, 2003 citado por SPOLIDORO, 2008), conforme mostra a Figura 1. Só a China tem cerca de 300 espécies, distribuídas em 44 gêneros, ocupando 33.000 km², ou 3% da área florestal do país total (YUMING e CHAOMAO 2010). Outro importante produtor de bambu é a Índia, com 130 espécies, abrangendo 96.000 km² ou aproximadamente 13% da área florestal do país. Outras nações com a produção significativa de bambu e correspondente utilização são: Bangladesh, Indonésia e Tailândia (SCURLOCK *et al.* 2000).

Existe uma diversidade de formas e tamanhos de espécies de bambus. Por exemplo, bambus anões, que atingem no máximo 10 cm de altura, e espécies como *Dendrocalamus giganteus* Munro, que pode atingir cerca de 40 metros de altura, com 30 cm de diâmetro à altura do peito. Contudo, a maioria das espécies tem altura média entre 15 e 20 metros (SCURLOCK *et al.*, 2000). A densidade de algumas espécies, como *Oligostachyum oedogonatum*, pode chegar até cerca de 120.000 colmos por hectare (CHEN *et al.* 2009).

Dentre todas as diferenças relevantes entre as espécies encontradas na natureza existem características que evidenciam dois grupos distintos, bambus herbáceos e bambus lenhosos essas características estão descritas abaixo na Tabela 1. Além da classificação apresentada por Figueiras e Gonçalves (2004), Spolidoro (2008) cita que mesmo tendo a divisão entre lenhosos e herbáceos, os bambus podem ser classificados como Simpodiais (Agrupados ou Entouceirados), Anfipodiais (Semi-entouceirantes) e Monopodiais (Espalhados ou Alastrantes), Figura 2.

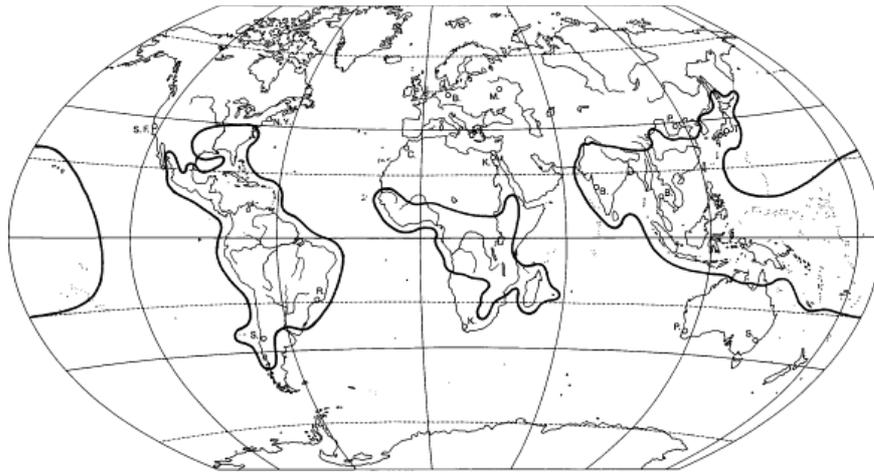


Figura 1 Distribuição natural da subfamília Bambusoideae (Fonte: OHRNBERGER, 1999).



Figura 2: Distinção entre os grupos de Bambus

Fonte: Spolidoro, 2008 (Adaptado).

Tabela 1: Características de espécies herbáceas e lenhosas de bambu.

Características	Herbáceos	Lenhosos
1. Comprimento	Até 2 m	Até 35 m
2. Ramificações	Simples	Complexas
3. Consistência do colmo	Não lignificado (facilmente quebrável entre dois dedos)	Lignificado (inquebrável entre dois dedos)
4. Folha do colmo	Ausente	Presente
5. Lígula externa	Ausente	Presente
6. Flores	Unissexuais	Bissexuais
7. Florescimento	Contínuo (Policárpico)	Sazonal (monocárpico)
8. Exposição direta ao sol	Intolerante	Tolerante

Fonte: Filgueiras e Gonçalves (2004).

Embora seja uma gramínea, os bambus possuem hábito arborescente e da mesma forma que as árvores apresentam uma parte aérea constituída pelo colmo, folhas e ramificações e outra subterrânea composta pelo rizoma e raiz (SPOLIDORO, 2008), Figura 3.

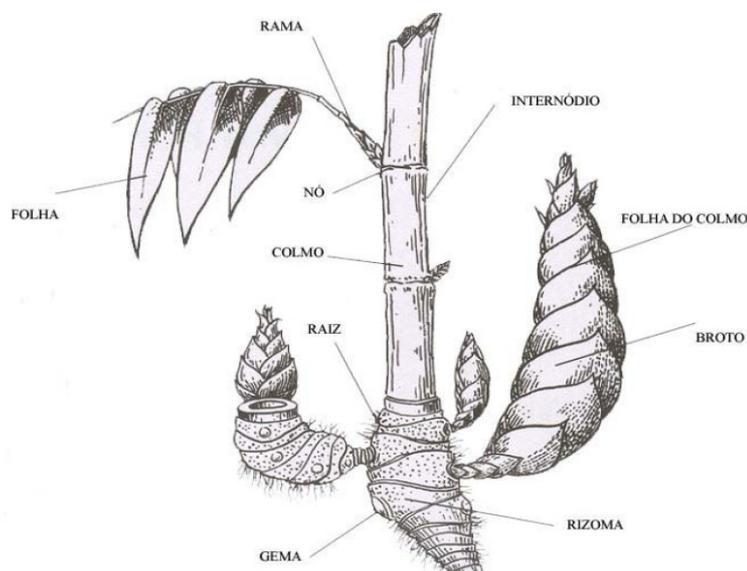


Figura 3: Morfologia externa do bambu.

Fonte: Spolidoro, 2008 (Adaptado).

3.2 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO E PERSPECTIVAS

O bambu é uma planta conhecida e tem sido utilizada para os mais diversos fins, principalmente nos países asiáticos (CASAGRANDE e UMEZAWA, 2004). A história de uso remonta a China da Idade da Pedra (Neolítico). O bambu é e sempre foi um recurso vital para a economia chinesa, em razão de haver nesse país escassez de componentes florestais e de possuir uma ecologia frágil e grande deficiência no suprimento de madeira para o mercado interno (CHUNG, 2003).

Dentre os maiores feitos que utilizaram espécies de bambu pode-se citar que em 1882, Thomas Edison usou a espécie *Phyllostachys bambusoides* Siebold e Zucc. conhecida vulgarmente por Madake, a fibra desta espécie foi carbonizada e utilizada como filamento de 0,3 mm para o bulbo da primeira lâmpada elétrica. O bulbo ficou aceso por um tempo aproximado de mil horas, demonstrando o quanto durável é a fina fibra e intensa a energia produzida por esta espécie. Alexander Graham Bell usou também como matéria-prima para sua primeira agulha de vitrola e em 1907, Santos Dumont usou uma estrutura de bambu para construir o Demoiselle. (FORESTBRAZIL, 2007).

Outra característica relevante é a facilidade de utilização e a multiplicidade de produtos provenientes de bambus, pois são importantes produtos florestais não madeiráveis (PFNM), de agricultura de subsistência e estão associados a diversas necessidades comerciais, econômicas, sociais e ambientais (SCHWARZBACH, 2008).

Muitas espécies presentes no Brasil são cultivadas com fins ornamentais, mas existem ainda outras formas de utilização, seja na arquitetura ou em complementos de projetos arquitetônicos e utensílios (CARDOSO JR, 2000). Como a maioria do comércio de artigos de bambu acontece no mercado informal, o valor anual de produtos é difícil de determinar, no entanto, uma estimativa conservadora coloca em 10 bilhões de dólares por ano (JANSSEN, 2000). O movimento financeiro é alto, pois cerca 1,5 bilhões de pessoas serve-se diariamente de produtos de

bambu, que vão desde as construções e acomodações dos seus lares a produtos de celulose (LIESE, 2009).

O bambu tem um papel importante a desempenhar na redução da pressão sobre os recursos florestais. Por exemplo, na China, uma vez que o país proíbe a derrubada de certas florestas, o bambu tem sido cada vez mais visto como um possível substituto, desta forma as espécies entraram em muitos mercados em que tradicionalmente eram dominados pela madeira, este programa para substituir a madeira tropical estimulou a implantação de 100 fábricas que produzem 10 milhões de metros quadrados de piso de bambu anualmente e que tem mercado na Ásia, América do Norte e Europa (CASAGRANDE e UMEZAWA, 2004). O sucesso no uso do bambu em diferentes linhas de produtos demonstra o alto potencial do bambu como material alternativo mais sustentável (INBAR, 2010a).

Estudos estimam que a área atual total de bambu no mundo seja de 22 milhões de hectares, ocupando, assim, 1% da área total das florestas no planeta. Todavia, a perspectiva para o século XXI é de que essa área passe a algo em torno de 55 a 65 milhões de hectares, ocupando, aproximadamente, de 2% a 3% da área florestal total do planeta. Esta projeção tem três principais fatores de causa, o primeiro é o aumento do uso dessa planta no mundo todo e o conseqüente aumento no plantio dos bambuzais. O segundo fator seriam as atuais divergências apresentadas no que se refere aos números oficiais de áreas de bambuzais em alguns países tropicais, principalmente da América do Sul e África e o terceiro e principal fator, a ausência de um inventário florestal dos bambus difusos nas florestas tropicais (MAOYI, 2004).

3.3 BAMBUS NO BRASIL

Um dos primeiros registros e considerado o mais antigo a cerca de bambus no território brasileiro se encontra na carta encaminhada por Pero Vaz de Caminha ao Rei D. Manoel, quando do descobrimento do Brasil (“Carta a El Rei D. Manoel”)

em que são citados pelo menos três diferentes espécies de bambus (FILGUEIRAS e PEIXOTO, 2002).

No Brasil o bambu também pode ser chamado de Taboca, Taquara e entre outros 34 nomes que estão relacionadas com a subfamília Bambusoideae, essa diversidade de nomenclaturas esta fundamentada nas raízes da língua tupi-guarani, fato relacionado com a cultura indígena, pois o conhecimento e a distinção das diversas espécies proporcionavam aos índios diferentes formas de utilização no seu cotidiano (FILGUEIRAS e GONÇALVES, 2007).

O Brasil abriga a maior diversidade de espécies e gêneros de bambus das Américas, de acordo com Filgueiras e Gonçalves (2004). Cerca de 89% dos gêneros e 65% das espécies que são nativas do novo mundo estão representadas no território brasileiro, sendo que a maior quantidade de representantes é do gênero *Merostachys*, com 53 espécies. Ainda de acordo com os mesmos autores, dadas as grandes diferenças de clima e condição entre os biomas brasileiros, existe uma diferença na quantidade e na distribuição das espécies de bambu, em função de suas características. Uma estimativa do número de espécies ocorrentes no país está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Número espécies de bambu distribuídas nos biomas brasileiros.

Bioma	Número de Espécies	Representatividade
Floresta Atlântica	151	65%
Amazônia	60	26%
Cerrado	21	9%
Total	232	100%

Fonte: Filgueiras e Gonçalves (2004) adaptado.

Beraldo e Azzini (2004), citam que no Brasil as espécies mais comuns são: *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl (Bambu-verde), *Bambusa vulgaris* var. *vitata* (bambu-imperial), *Bambusa tuldoides* Munro (bambu-comum), *Dendrocalamus giganteus* (bambu-gigante ou bambu-balde) e algumas espécies de *Phyllostachys* (bambu-chinês). Ainda de acordo com esses autores, estas espécies tem origem

asiática, as quais chegaram ao Brasil trazidas por imigrantes portugueses, com exceção da espécie *Phyllostachys*, a qual foi introduzida no país mais recentemente por imigrantes asiáticos. Estas se integraram com a biodiversidade local, podendo ser encontradas em quase todo o território brasileiro.

Londoño (1998) também cita que várias espécies de bambu exóticas foram introduzidas no Brasil durante o período de colonização pelos Portugueses e que os gêneros *Bambusa* e *Dendrocalamus*, preenchem um papel mais importante do que qualquer outra espécie econômica nativa no Brasil, entretanto atualmente, dos gêneros de bambus lenhosos nativos do Brasil, pode-se dizer que apenas *Actinocladum*, *Apoclada*, *Chusquea*, *Guadua* e *Merostachys* podem ter alguma utilidade potencialmente mais significativa.

O Brasil possui uma grande área de bambuzais, que pode chegar a cerca de nove milhões de hectares, estando localizados em uma grande porção somente em dois estados, a Amazônia e Acre (FIALHO *et al.*, 2005), essa área é muito significativa em comparação com florestas plantadas que somam aproximadamente 7,5 milhões de hectares em todo o território brasileiro (FAO, 2010). Apesar da região norte do Brasil possuir a maior área de bambuzais nativos os estados da Bahia, São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina e Paraná possuem a maior diversidade de espécies de bambu (FORESTBRASIL, 2007).

3.4 BAMBUS COMO AGENTE DA SUCESSÃO VEGETAL

Quando uma espécie de bambu ainda está inserida no seu habitat podem ocorrer diferentes impactos em seu entorno. De acordo com Janssen (2000), podem ser enumerados quatro níveis de impactos:

- a) impacto positivo de maior escala: principalmente o controle da erosão e melhoria da estrutura do solo e do nível do lençol freático;
- b) impacto positivo de menor escala: que concerne à fertilidade do solo pelo fornecimento de material orgânico e melhoria da microfauna do

- solo, da qualidade das águas subterrâneas e a estabilização do microclima local;
- c) impactos de menor significância: melhoria do clima regional e global;
 - d) impacto negativo: pelo fato de algumas espécies diminuírem o pH do solo tornando-o mais ácido.

No trabalho realizado por Santos (2008) constatou-se que a dinâmica da Floresta com Araucária em áreas antropizadas é afetada pela presença das taquaras, pois as intervenções antrópicas ocorridas modificaram significativamente os processos ecológicos de grande parte desta formação florestal dando espaço ao desequilíbrio e a dominação de taquaras nos seus sub-bosques, dificultando o ingresso e o incremento de outras espécies. Griscon e Ashton (2003), trabalhando com florestas sem intervenção humana no sul do Peru, notaram que somente com a abertura do dossel as espécies de bambu tem um desenvolvimento acentuado, regulando consideravelmente as taxas de regeneração de espécies florestais. O único fator, segundo os autores, para a retomada das taxas normais é o período do florescimento gregário das espécies de bambu, em que existe uma considerável mortalidade de bambus. Nesses casos as taxas de ingresso de espécies florestais chegam ao dobro das áreas anteriormente dominadas.

Além do desequilíbrio que pode ser causado quando não existe o correto manejo e zoneamento da ocupação pelas espécies de bambu, o estudo conduzido por Barbosa e Diniz (2010) relata que a utilização de espécies de bambu foi a melhor alternativa para o controle do processo erosivo em encostas, onde foi reduzido drasticamente o escoamento superficial da água, que é o responsável pelos processos erosivos mais significativos. Os mesmos autores ainda ressaltam a importância do bambu na bioengenharia, haja vista, que em termos da recuperação ambiental, os preceitos empregados estão sendo a melhor alternativa para estabilização de certos problemas ambientais.

3.5 FIXAÇÃO DE CARBONO PELOS BAMBUS

Segundo Casagrande e Umezawa (2004), a denominação de plantas C3 ou C4 refere-se ao primeiro produto oriundo do processo fotossintético, as plantas C3 são limitadas pelo CO₂, ou seja, há uma abundância de luz, mas a taxa de suprimento de CO₂ ao cloroplasto é muito lenta, as plantas C4 superam esta limitação de CO₂, sendo que elas utilizam o carbono disponível mais eficientemente, assim tem maiores taxas líquidas de fixação em altos níveis e luz que plantas C3.

O bambu é classificado como uma planta C4 onde a incorporação de CO₂ na biomassa é feita por uma via adicional que envolve moléculas de quatro carbonos. Estas plantas, também apresentam especificidades anatômicas, fisiológicas e bioquímicas, características que constituem o mecanismo C4 além de apresentarem uma alta taxa fotossintética com afinidade extraordinariamente alta por CO₂ sendo que a eficiência da fotossíntese é de 6,7% para plantas C4 comparada a de 3,3% das plantas C3 de um modo geral (TAIZ e ZEIGER, 2009).

O colmo individual tem uma duração limitada de 7-10 anos para a maioria das espécies sem manejo adequado. Posteriormente com o efeito natural e dos ciclos biológicos o carbono em sua biomassa vem a se deteriorar sendo emitido ou fixado em outros compartimentos, ou liberado CO₂ no solo e atmosfera. Além disso, a floração de algumas espécies gregárias, muitas vezes no mundo inteiro e seguido de sua morte, pode constituir uma grande produção de CO₂ (LIESE 2009).

Outro aspecto importante do bambu é sua biomassa, pois dependendo da espécie botânica, da qualidade do sítio e do clima, variam entre 50 e 100 t/ha, divididos geralmente entre 60 e 70% nos colmos, 10 e 15% para as raízes e 15 a 20% para folhagem (LIESE, 1985).

Segundo Liese (2009), a suposição de que o potencial de sequestro de carbono através do bambu é alto deriva principalmente do rápido crescimento do colmo individual durante sua fase de expansão. Entretanto, a biomassa impressionante do colmo jovem de algumas espécies não se origina de sua própria

fotossíntese, mas deriva da energia produzida por colmos mais velhos em anos anteriores e armazenados na forma de carboidratos no rizoma. No início da estação de crescimento esta energia será mobilizada e transportada para o crescimento dos novos colmos.

Existem estudos e levantamentos para verificar se o correto manejo das plantações de bambu contribui para a fixação de carbono, assim o estoque na vegetação (incluindo as espécies do sub-bosque e outras vegetações mistas) de bambu Mossô (*Phyllostachys pubescens* (Carrière) Lehaie), está dentro do intervalo de 27-77 t C/ha. A maioria do carbono parece estar estocada na camada arbórea acima do solo com valores 84% a 99% do estoque de carbono, o estrato arbustivo e herbáceo representaram contribuições muito pequenas, especialmente no manejo intensivo das florestas de bambu, ao olhar para todo o ecossistema, incluindo o solo. O bambu Mossô no ecossistema florestal tem capacidade de armazenamento de carbono entre 102 t C/ha e 289 t C/ha, dos quais 19% a 33% da biomassa estão armazenados no colmo e da camada vegetativa e entre 67% e 81% armazenados na camada do solo (rizomas, raízes e carbono do solo). Isso indica que o estoque de carbono do solo é aproximadamente de 2 a 4 vezes maior do que a camada vegetativa para esta espécie (INBAR, 2010a).

Ainda com relação à alocação de carbono, Nath *et al.*, (2009) encontraram para três espécies plantadas em pequenas propriedades na Índia (*Bambusa cacharensis*, *Bambusa vulgaris* e *Bambusa balcooa*), através de relações alométricas, valores de biomassa acima do solo de 121,51 t/ha, sendo que a parte do colmo representava cerca de 86% da biomassa total, 10% para os galhos e 4% para as folhas. Os valores de carbono foram de 61,5 t C/ha, sendo que 53,05 t C/ha estavam contidos no colmo; 5,81 t C/ha para os galhos e 2,19 t C/ha para o compartimento das folhas. Já para o carbono armazenado no solo a uma profundidade de até 30 cm, o valor estimado foi de 57,3 t C/ha. O potencial, segundo os autores do trabalho, é uma oportunidade para os pequenos donos de terra de criar sumidouros de carbono e contribuir com as metas das Nações Unidas para mitigar o Efeito Estufa.

Em outros ecossistemas que apresentam espécies de bambu, foram encontrados estoques de carbono com valores iguais ou ligeiramente menores (entre 102 t C/ha e 288 t C/ha), quando comparada com outros tipos de floresta entre 122 t C/ha e 337 t C/ha. O estoque total de carbono em florestas de bambu é, obviamente, afetado por fatores climáticos (Qi *et al.*, 2009).

Inbar (2010a) cita também que onde o clima é mais adequado para o crescimento e se as espécies se encontram sob um regime de manejo, o bambu superou o *Pinus elliottii* Engelm. no seu 19º ano e a espécie chinesa Fir (*Cunninghamia lanceolata* Lamb.) em seu 15º ano, e mostrou que o estoque de carbono é comparável às florestas tropicais de 230,4 t C/ha a 262,5 t C/ha.

Isagi *et al.*, (1997), estudando as relações da biomassa e da fixação de carbono na espécie *Phyllostachys pubescens* (Carrière) Lehaie, introduzida no Japão desde o século 18, chegaram a determinar o incremento anual de carbono por compartimento da porção aérea, obtendo valores para o incremento líquido de cerca de 8,5 t C/ha.ano⁻¹. No estudo as folhas contribuíram com 2,55 t C/ha.ano⁻¹, os galhos com 0,79 t C/ha.ano⁻¹ e os colmos chegaram a 4,66 t C/ha.ano⁻¹. Juntamente com valores alocados no solo (rizoma, raízes, raízes finas e solo) o incremento líquido de carbono foi de 32,8 t C/ha.ano⁻¹.

Na Índia um estudo semelhante foi efetuado, mas baseou-se nas espécies nativas e de pequenas propriedades que dificilmente chegavam a um hectare, Nath e Das (2011) encontraram valores que variaram de 6,51 no ano de 2004, para 8,95 t C/ha no ano de 2007 somente para o carbono estocado acima do solo. Sendo que 87%, 9% e 4% do carbono total estavam armazenados no colmo, nos galhos e folhas, respectivamente. A taxa de sequestro de carbono foi de 1,20-1,46 t C/ha.ano, com uma média de 1,32 t C/ha.ano. Ainda segundo os autores, essa é uma boa solução para as pequenas comunidades pois essas não possuem grandes áreas que ficariam imobilizadas para projetos de longo duração, permitindo a fixação de carbono e o aproveitamento de pequenas áreas.

Embora o sequestro de carbono proveniente de espécies de bambu não é susceptível de influenciar a mitigação do aquecimento global, a importância destas espécies e do seu correto manejo refletem em um ambiente ecologicamente correto

e sustentável, tanto para produção de alimentos, fibras, energia e serviços ambientais, incluindo a estabilidade do solo e a continuidade das águas, importantes fatores para a adaptação às alterações climáticas (LIESE, 2009).

3.5.1 Projetos de créditos de carbono

O reflorestamento ou o florestamento é apenas uma das formas de minimizar o problema do aquecimento global e do aumento das concentrações de carbono na atmosfera, já que seria necessário serem plantados anualmente uma área de 60 milhões de hectares e este processo teria que ser repetido por aproximadamente 10 anos para absorver o incremento líquido anual de CO₂ de todas as fontes emissoras (EMBRAPA, 2000).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é reconhecido como a maior autoridade mundial em questões climáticas. Estabelecido em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (RENNER, 2004), mas mais especificamente os projetos devem se enquadrar dentro das propostas e das metas do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. E para que os projetos submetidos sejam aceitos existem alguns parâmetros para que o carbono fixado pelos vegetais seja reconhecido pelos padrões internacionais e possa gerar e ser transformado em crédito para serem comercializados, de tal forma, para se credenciar na obtenção de recursos há um processo de encaminhamento de projetos, análise para validação, monitoramento, verificação e registro de aprovação junto ao governo do país hospedeiro do projeto além do registro junto à ONU para depois emitir os certificados.

Segundo Uderman (2010), uma das tentativas de encontrar soluções eficazes para problemas de ordem ambiental é a institucionalização dos mecanismos previstos no Protocolo de Quioto, que levaram à formação do chamado mercado de créditos de carbono. Esse mercado compõe-se de uma série de segmentos que negociam acordos com regras específicas, tendo em comum o fato

de adotarem mecanismos baseados em créditos de carbono associados a reduções de emissão de GEE.

Uderman (2010) cita ainda que para as atividades de projeto de redução de emissões de GEE sejam elegíveis para o MDL, é necessário que atendam aos seguintes requisitos:

- a) participação voluntária e aprovação de cada país envolvido;
- b) benefícios mensuráveis e de longo prazo relacionados à mitigação da mudança climática;
- c) reduções de emissões de GEE adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade.

Renner (2004) e Rezende (2008) esclarecem que a proposta do MDL em termos gerais consiste em que cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para redução das emissões globais, estando atrelada aos procedimentos internacionais do Protocolo de Quioto. Assim o mercado de carbono compõe-se de uma série de segmentos que negociam de acordo com regras específicas, tendo em comum o fato de adotarem mecanismos baseados em créditos de carbono associados a reduções de emissão de gases do efeito estufa, baseados em projetos ou em permissões de emissão (UDERMAN, 2010).

Dos projetos aprovados para a comercialização de créditos de carbono em âmbito nacional que utilizam espécies de Bambu, destaque para empresa Penha Papéis e Celulose e o Banco Alemão KfW, o projeto para garantir as emissões certificadas concerne na substituição da matriz energética que provinha da queima

do óleo combustível pela biomassa de bambu para a produção de papel¹. Dentre os mais recentes projetos aprovados com emissões certificadas, esta um reflorestamento com bambu em 59 mil hectares da província de Yunnan, na China, em que o preço médio da tonelada de carbono é de US\$ 9,14².

3.5.2 Definição de floresta de bambu para projetos de carbono

A definição de floresta proposta no Acordo de Marrakesh é aceita como sendo a mais abrangente, informa o que é uma floresta e de que é constituída:

"Floresta é uma área de no mínimo 0,05-1,0 ha com cobertura de copa (ou densidade equivalente) de mais de 10-30%, com árvores com o potencial de atingir a altura mínima de 2-5 metros na maturidade in situ. Uma floresta pode consistir tanto de formações florestais fechadas (densas), onde árvores de vários estratos e suprimidas cobrem uma alta proporção do solo, quanto de florestas abertas. Povoamentos naturais jovens e todas as plantações que ainda atingirão densidade de 10-30% e uma altura entre 2 e 5 metros são incluídos como floresta, assim como áreas que normalmente fazem parte da área florestal e que estão temporariamente desflorestadas como resultado da intervenção humana, como a colheita ou causas naturais, mas cuja reversão da floresta é esperada." (UNFCCC, 2001).

É preciso acrescentar que esta definição é específica para projetos submetidos ao IPCC, sendo que ainda falta abranger as complexidades de diversas formações florestais e peculiaridades como o cerrado e a caatinga. No Brasil essa é uma grande indefinição pois ainda não existe um conceito concreto sobre a nomenclatura, sendo que o mais próximo que podemos encontrar é o que se encontra definido sobre o aspecto da lei 9.985 (18/07/2000) que regulamentou o

¹ Primeiro contrato de venda de crédito carbono pós Kyoto é assinado no Brasil, **Atitude Sustentável**, em 30 de agosto, 2007.

² Primeira transação de créditos sob Panda Standard é concluída na China, **Carbono Brasil**, em 31 de março de 2011.

artigo 225 da Constituição Federal e instituiu as Unidades de Conservação, adjetivou o substantivo floresta e formulou um conceito impreciso dizendo que “floresta nacional” é “uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas”. Só esqueceu de mencionar os serviços ambientais que a floresta presta à humanidade e seu valor intrínseco, direcionando sua definição para o valor de uso (FONSECA, 2010).

Um dos principais problemas para a formulação e reconhecimento de projetos ligados a ‘reflorestamentos’ usando espécies de bambu para criação de sumidouros de carbono esta ligada as definições de floresta e árvore, segundo Neff *et al.* (2006) e Lobovikov e Lou (2009), Nem o Painel Internacional Das Nações Unidas Para a Mudança Climática (UNFCCC), nem o Protocolo de Quioto definem uma "árvore" e se os Bambus devem ser considerados como uma “árvore”, apesar de botanicamente serem gramíneas, mas com potencial de fixar carbono como árvores. Lobovikov e Lou (2009) destacam ser uma questão crucial a definição e o acerto das questões básicas de nomenclatura para o MDL e REDD, pois projetos de pequena escala com grandes potenciais de redução de emissões de CO₂ estão sendo Negligenciados assim como citado por Nath *et al.*, (2009) e Nath e Das (2011).

Um problema encontrado é a comparação entre espécies de bambu e de madeiras que concerne na durabilidade dos produtos, uma preocupação fundamental nos projetos, pois de acordo com a longevidade e durabilidade do produto as emissões de carbono que foram fixadas na biomassa do bambu podem rapidamente voltar à atmosfera reduzindo a efetividade dos projetos. Assim produtos de bambu podem ser divididos em produtos de curto prazo, médio e em produtos de longo prazo. A longevidade e durabilidade destes produtos podem determinar o desempenho do armazenamento de carbono e o sucesso do projeto em que este é utilizado (INBAR 2010b).

3.6 QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO

A quantificação do carbono orgânico é um importante instrumento, pois durante o ciclo de uma floresta ou qualquer ciclo dos materiais vegetais, são imobilizadas quantidades de carbono que estão presentes na atmosfera e esta imobilização ocorre principalmente nos tecidos vegetais (CALDEIRA *et al.* 2003), de tal forma que a importância do conhecimento acerca do potencial armazenador de carbono através de sumidouros naturais é inegavelmente relevante, pois a partir destas informações serão elaborados novos projetos de florestamento ou reflorestamento, procedimentos visados para a mitigação das mudanças climáticas (WEBER *et al.* 2006).

O carbono assimilado não perdido pela respiração pode ser usado para crescimento e estabelecimento de reservas, sendo que a magnitude da taxa de assimilação líquida depende da constituição fisis-morfológica das espécies vegetais, tais como capacidade fotossintética, área foliar e proporção de tecidos fotossintetizantes na folha (LARCHER, 2000). Além disso, fatores ambientais que agem gerando efeitos sobre o balanço de carbono tais como água e nutrientes podem afetar a produção de matéria seca. Dentre estes fatores, uma maior radiação luminosa (intensidade e/ou exposição) é capaz de promover aumentos no incremento de biomassa já que espécies com elevadas taxas de crescimento relativo precisam de mais luz para alcançar seus respectivos ótimos metabólicos (TAIZ e ZEIGER, 2009).

No que diz respeito à radiação fotossinteticamente ativa, a quantidade de matéria seca formada pela vegetação está positivamente relacionada (LARCHER, 2000):

- a. à taxa de assimilação de carbono das espécies que compõem a comunidade;
- b. à absorção de luz em termos de índice de área foliar; e
- c. ao período em que as plantas mantêm o balanço positivo de trocas gasosas.

A literatura demonstra que existem muitas variações em termos de estoques de biomassa, em diferentes plantios sujeitos a diferentes condições de desenvolvimento. Porém, os teores de carbono, apesar de apresentarem algumas variações, são bem mais estáveis, oscilando entre 39 a 51%, com média em torno de 45% da biomassa seca (WATZLAWICK *et al.*, 2003).

3.6.1 Métodos para a quantificação de carbono

O carbono está presente na biomassa em diferentes componentes, sua apresentação perante os compostos químicos pode ser verificada na celulose, hemicelulose, ácidos orgânicos e em diversos componentes orgânicos, em resumo os métodos laboratoriais para determinar a quantidade de carbono, baseiam-se na porcentagem de carbono em relação à biomassa, dessa forma os teores correspondem a uma relação entre a quantidade de carbono que pode ser encontrada na biomassa ou na amostra a ser analisada.

Os métodos utilizados para a determinação de carbono orgânico podem ser classificados basicamente em quatro tipos, seja pela diferença entre carbono total e inorgânico, ou pela determinação do carbono total após remoção do carbono inorgânico, ou pela oxidação do dicromato sem uma fonte externa de aquecimento, ou pela oxidação por dicromato juntamente com uma fonte externa de aquecimento (NELSON e SOMMERS, 1982).

No Brasil, o procedimento analítico de determinação de carbono mais comum é baseado na oxidação da matéria orgânica a CO_2 por íons dicromato, em meio fortemente ácido. É também denominado de determinação por via úmida ou determinação por dicromato. Neste método, utiliza-se um oxidante bastante forte, no caso o dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) numa solução ácida para a oxidação quantitativa de carbono. Esta reação pode ser conduzida com aquecimento por 5 minutos ou por 30 minutos ou sem aquecimento. A determinação da quantidade de íons Cr (III) reduzidos pode ser feita indiretamente pela titulação dos íons dicromato

em excesso com íons Fe^{2+} , ou pela determinação direta da quantidade de íons Cr (III) por colorimetria. (EMBRAPA, 2003)

Os métodos colorimétricos apresentam como vantagem principal a economia de reagentes, a reprodutividade dada pela análise de variância, mas são pouco precisos. A oxidação por via úmida, embora simples e de baixo custo, apresenta problemas quanto à acurácia, devido à necessidade de fatores de correção para compensar a oxidação parcial, quanto à lentidão e ao espaço considerável que ocupa nos laboratórios, ou quanto aos impactos no meio ambiente pela produção de rejeitos de laboratório como as soluções ácidas contendo cromo (RHEINHEIMER *et al.*, 2008).

No método da combustão seca, a amostra de material sólido é levada à combustão total, sendo observadas as faixas de temperaturas em que a amostra está sendo submetida bem como a faixa que o carbono orgânico e inorgânico são carbonizados, a quantificação desta fase é feita pela diferença de peso entre a amostra antes da combustão e após a combustão, dessa forma a quantidade de carbono na amostra é relacionada a sua quantidade inicial na amostra.

Um dos aspectos mais relevantes quando se trata da fixação de carbono em florestas ou em materiais vegetais é a variável biomassa, a qual precisa ser determinada e estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais (SANQUETTA, 2002), dessa forma, a quantificação de biomassa florestal divide-se em métodos diretos, ou seja, que consistem na derrubada e pesagem de todas as árvores que ocorrem em parcelas fixas, e métodos indiretos onde são feitas estimativas utilizando dados de sensoriamento remoto e de inventário florestal que se baseiam na derivação do volume em biomassa e carbono, Os métodos indiretos são muito indicados por serem uma boa opção para se obter com baixo custo informações sobre estoque de biomassa e carbono (SILVEIRA, 2008), pois conhecendo-se o volume, a densidade básica, a proporção de biomassa e a concentração de carbono, é possível estimar fatores de expansão e conseqüentemente estoques de biomassa e carbono. Estas últimas podem ser realizadas por meio de relações empíricas entre

a biomassa e outras variáveis e por meio da derivação do volume comercial (SILVEIRA, 2008).

A aplicação de modelos para determinação de biomassa também deve respeitar os mesmos preceitos, pois das estimativas de biomassa são gerados os estoques de carbono, um exemplo dessa importância foi o estudo realizado para verificar as fontes de erros nas estimativas das quantidades de carbono (Koehler *et al.*, 2002), neste trabalho os autores reforçam as afirmações feitas por Higuchi e Carvalho Júnior (1994), ajustando equações de regressão para gerar estimativas utilizando dados de biomassa originados de amostragem de campo em Floresta Ombrófila Mista, no Estado do Paraná. Na comparação destes dados com as estimativas, os autores observaram que os valores gerados pela equação proposta por Higuchi e Carvalho Júnior (1994) subestimam em 12,88% a quantidade de biomassa real e conseqüentemente influenciaram nas estimativas de estoque de carbono. Na estimativa de biomassa real utilizando a equação ajustada por Brown *et al.*, (1989) verificaram uma superestimativa de 27,06%.

Nos métodos indiretos a metodologia também se baseia na utilização de um teor médio, que é largamente difundida na pesquisa florestal (FEARNSIDE, 1996; LIMA *et al.*, 2003), esse fato gera alguns problemas, pois como citado acima, cada espécie responde a uma condição fisiológica e ecológica diferenciadamente, assim assumir que teores de carbono devem ser aplicados indistintamente, pode ser considerado um erro (SANQUETTA, 2002; DALLAGNOL *et al.*, 2010).

3.7 ESPÉCIES UTILIZADAS NESTE TRABALHO

As espécies avaliadas nesse trabalho são nativas da América do Sul e da Ásia, introduzidas e cultivadas pelos mais diferentes motivos. As descrições de cada espécie se encontram a seguir e procuram situar as origens e como é o seu comportamento vegetativo.

3.7.1 *Guadua angustifolia* Kunth

Nativo da Colômbia, Venezuela e Equador e Brasil, segundo o Relatório dos Recursos e Utilização do Bambu no Brasil (2008), ocorrendo tanto em regiões tropicais como subtropicais, em solos ricos a médios e ao longo de colinas ou rios. *Guadua angustifolia* destaca-se dentro do gênero *Guadua* pelas suas propriedades físico-mecânicas, sendo aplicado na construção civil e na fabricação de aglomerados e laminados (BARROS, 2007). É um bambu lenhoso que apresenta colmos robustos, com espinhos nas gemas (PEREIRA e BERALDO, 2007), com faixas brancas na região dos nós e folhas caulinares de formato triangular. Seus colmos podem atingir 30 m de altura e 25 cm de diâmetro. Apresenta alto potencial como regenerador ambiental (PEREIRA e BERALDO, 2007).

3.7.2 *Guadua chacoensis* (Rojas) Londoño e Peterson

Bambu simpodial nativo da América do Sul. Seus colmos, que são retos e inclinam-se no ápice, podem atingir 20 m de altura e ter diâmetro de 10 a 12 cm. As folhas medem 10 a 13 cm de comprimento por 5 a 8 cm de largura (LINDHOLM e PALM, 2007). Os internós apresentam distância de 20 a 40 cm, são ocos e possuem paredes grossas. Distribuem-se ao norte da Argentina, sudeste da Bolívia e região sul do Paraguai e Brasil, ocorrendo ao longo de rios (LONDOÑO, 2008). É utilizado em construções rurais e artesanato e mostra-se importante no controle de erosão e proteção de matas ciliares.

3.7.3 *Merostachys skvortzovii* Sendulski

Constitui de uma representante entre as 55 espécies deste gênero presentes nas Américas Central e do Sul, porém nativa do sul do Brasil (RODRIGUEZ, 2005). É uma espécie que domina o sub-bosque de florestas plantadas e nativas do Meio-

Oeste do Estado do Paraná, sendo que a *Merostachys skvortzovii* possui um ciclo (período entre uma floração e outra) de aproximadamente 30 anos. Após sua floração e produção de sementes, a taquara seca, torna-se um substrato altamente inflamável, que em caso de combustão é capaz de gerar incêndios horizontais e verticais de grandes proporções (SANTOS, 2008).

Bambu de colmos lenhosos, com rizomas do tipo paquimorfo, caracterizando o tipo de desenvolvimento simpodial. Seus colmos são retos, com leve curvatura no ápice e atingem altura máxima entre 4 e 6 m. Os nós são salientes e apresentam leve pubescência esbranquiçada (SCHWARZBACH, 2008).

3.7.4 *Dendrocalamus giganteus* Munro

Nativo do Sri Lanka, Bangladesh e China. Simpodial, com colmos que apresentam altura de 24 a 40 m de altura e diâmetro que pode variar de 10 a 20 cm (PEREIRA e BERALDO, 1997). Desenvolve-se em regiões tropicais úmidas e em regiões subtropicais, preferindo solos ricos (PEREIRA e BERALDO, 2007). Usado em construções e fabricação de polpa e papel, bem como na alimentação. Apresenta médio potencial como regenerador ambiental.

3.7.5 *Bambusa oldhamii* Munro

Nativo do sul da China. É um bambu simpodial e apresenta colmos lenhosos de cor verde-amarelada que podem chegar a 17 m de altura e 10 cm de diâmetro (BAMBU BRASILEIRO, 2008). Desenvolve-se em ambiente tropical, sendo muito resistente a solos secos e à exposição ao sol. É usado na fabricação de polpa e seus brotos são comestíveis.

3.7.6 *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl.

Originário, provavelmente, da Ásia tropical (LONDOÑO, 2008). Simpodial, de colmos retos, que medem de 15 a 25 m de altura e apresentam diâmetro de 7 a 15 cm (PEREIRA e BERALDO, 2007). As folhas são glabras e medem de 6 a 30 cm de comprimento por 1 a 4 cm de largura. As paredes do colmo, de cor verde brilhante, de 7 a 15 mm de espessura. Os internós distam de 20 a 45 cm; os nós são ligeiramente protuberantes e desenvolvem vários ramos, sendo um deles dominante. As folhas caulinares são decíduas. É o bambu mais utilizado do mundo, sobretudo em móveis e na indústria de papel. Apresenta potencial para reabilitação de solos degradados e adapta-se a áreas semi-úmidas (PEREIRA e BERALDO, 2007).

3.8 ESPECTROSCOPIA ÓPTICA

A espectroscopia de infravermelho (Espectroscopia IV) é um tipo de espectroscopia de absorção a qual usa a região do infravermelho do espectro eletromagnético. Como as demais técnicas espectroscópicas, pode ser usada para identificar um composto ou investigar a composição de uma amostra. Baseia-se no fato de que as ligações químicas das substâncias possuem frequências de vibração específicas, as quais correspondem a níveis de energia da molécula, chamados nesse caso de níveis vibracionais.

A radiação eletromagnética que uma amostra absorve pode revelar algumas de suas características (CUSTÓDIO *et al.*, 2000), e os efeitos resultantes da interação dessas radiações eletromagnéticas com a matéria proporcionam evidências do comportamento microscópico. Estas observações levam-nos a sugerir modelos que permitam compreender ou prever as propriedades do material estudado (BASSI, 2010).

Espectro eletromagnético é o intervalo completo da radiação eletromagnética, que contém desde as ondas de rádio, as micro-ondas, o

infravermelho, a luz visível, os raios ultravioleta, os raios X, até a radiação gama (Figura 4). Uma carga em repouso cria à sua volta um campo que se estende até ao infinito. Se esta carga for acelerada haverá uma variação do campo elétrico no tempo, que irá induzir um campo magnético também variável no tempo (estes dois campos são perpendiculares entre si). Estes campos em conjunto constituem uma onda eletromagnética (a direção de propagação da onda é perpendicular às direções de vibração dos campos que a constituem).

Uma onda eletromagnética propaga-se mesmo no vácuo. Maxwell concluiu que a luz visível é constituída por onda eletromagnética, em tudo análoga às restantes, com a única diferença na frequência e comprimento de onda. De acordo com a frequência e comprimento de onda das ondas eletromagnéticas pode-se definir um espectro com várias zonas (CUSTÓDIO *et al.*, 2000).

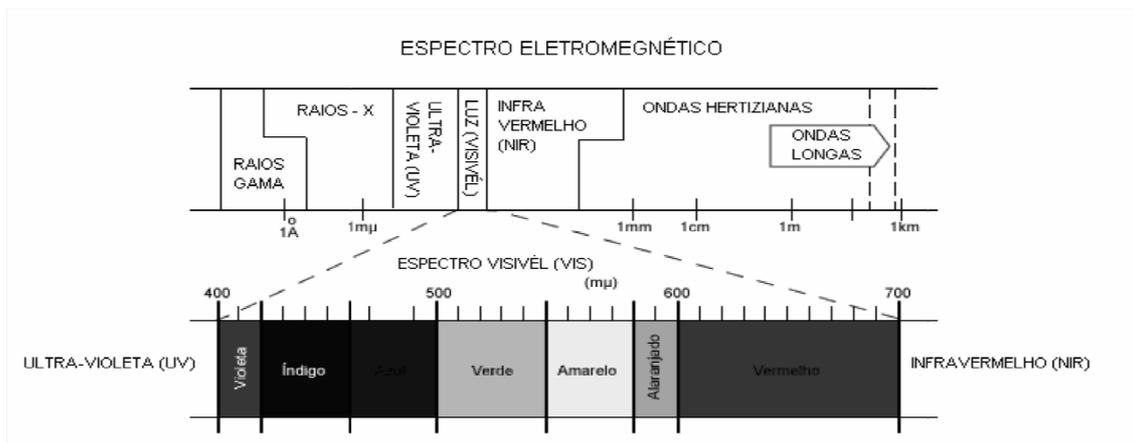


Figura 4 Espectro eletromagnético e suas faixas (Fonte: TENG, 2008. Citado por CARNEIRO 2008).

3.8.1 Nir (*Near infrared*) – Infravermelho próximo

A metodologia NIR é muito utilizada na qualificação de amostras, por exemplo, no agrupamento de características semelhantes e consequentemente na determinação de exemplares anômalos. Esta técnica é também muito utilizada na determinação quantitativa dos constituintes de determinado conjunto de elementos,

contudo por apresentar maior complexidade ainda se encontra em expansão (ALMEIDA, 2009).

O Infravermelho Próximo (NIR, do inglês, *Near Infrared*) é a denominação dada à região do espectro eletromagnético logo após a região visível. De uma forma geral, as ocorrências espectrais na região NIR provêm de ligações das moléculas em que participam o hidrogênio, o que torna a técnica útil para a determinação de compostos orgânicos contendo ligações C-H, N-H, e O-H (SCAFI, 2005). Quando a radiação no infravermelho próximo é refletida por uma molécula, faz seus átomos vibrarem com maior amplitude, de maneira similar a um oscilador diatômico. Os espectros NIR contêm informações relacionadas com a diferença entre as forças de ligações químicas, espécies químicas presentes, eletronegatividade e a ligação de hidrogênio. A radiação no infravermelho próximo absorvida por uma molécula, faz seus átomos vibrarem com maior amplitude, de maneira similar a um oscilador diatômico. A luz pode interagir com a amostra por meio de reflexão, refração, absorção, espalhamento, difração e transmissão. A perda no sinal pode ocorrer por refletância difusa especular, espalhamento interno e uma completa absorção (CARNEIRO, 2008).

3.8.1.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

Basicamente a Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-NIR) é uma técnica de análise para colher o espectro infravermelho mais rapidamente. Em vez de se coletar os dados variando-se a frequência da luz infravermelha monocromática, a luz infravermelha (com todos os comprimentos de onda da faixa usada) é guiada através de um interferômetro. Depois de passar pela amostra o sinal medido é o interferograma. Realizando-se uma transformada de Fourier no sinal resulta um espectro idêntico ao da espectroscopia infravermelha convencional (dispersiva). Os espectrofotômetros FT-NIR são mais baratos do que os convencionais porque é mais simples construir um interferômetro do que um monocromador. Em adição, a medida de um único espectro é bem mais rápida

nessa técnica porque as informações de todas as frequências são colhidas simultaneamente (BARCELOS, 2007). Isso permite que se façam múltiplas leituras de uma mesma amostra e se tire a média delas, aumentando assim a sensibilidade da análise. Devido às suas várias vantagens, virtualmente todos os espectrofotômetros de infravermelho modernos são de FT-NIR. Um exemplo de funcionamento de um espectrofotômetro pode ser visto na Figura 5.

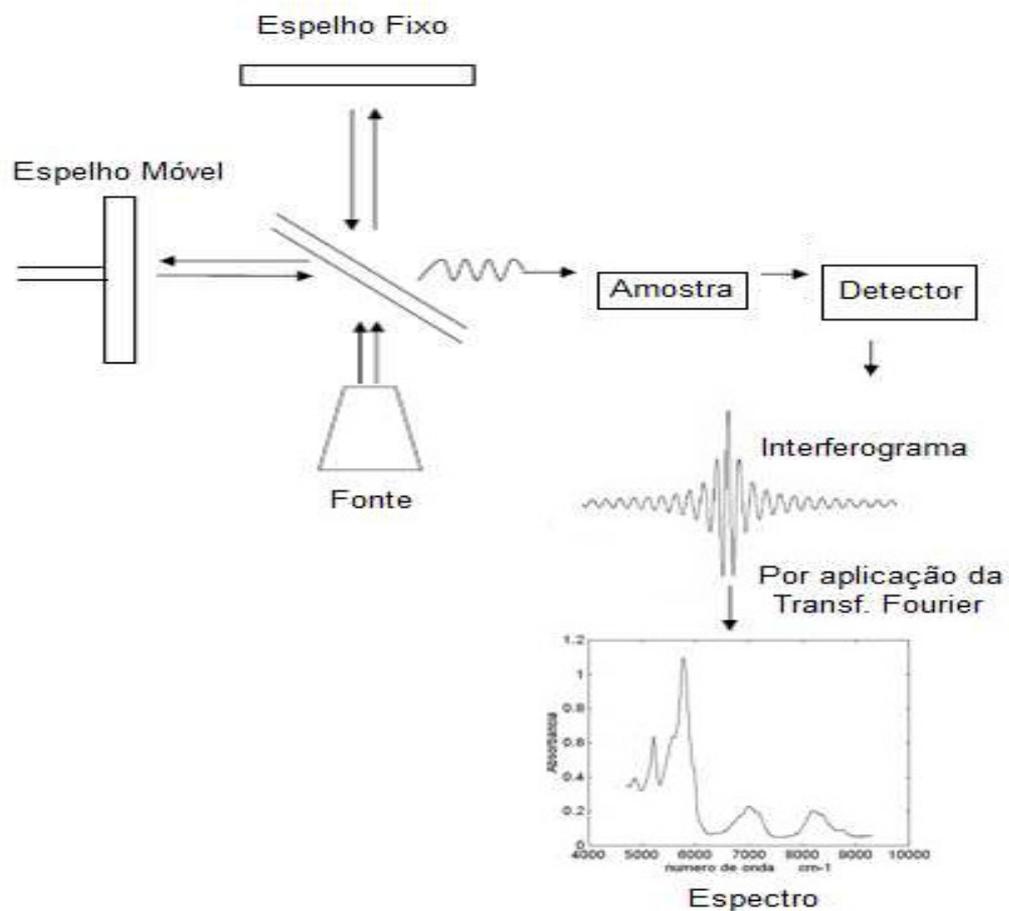


Figura 5 Esquema de um Espectrofotômetro

Fonte: *Costa*, 2000 (modificado)

3.8.2 Análise dos dados provenientes do NIR

Devido à quantidade e a complexidade dos dados e informações contidas em um único espectro, são necessárias análises por ferramentas novas e mais sofisticadas para tratar e extrair as informações relevantes desse grande conjunto de dados. Da necessidade de analisar e interpretar as informações que esses dados fornecem, surgiu então a Quimiometria, que é uma área especificamente destinada à análise de dados químicos de origem multivariada (FERREIRA *et al.*, 1999 apud LOPES, 2008).

A quimiometria divide-se em algumas áreas principais, muito pesquisadas e aplicadas atualmente como: processamento de sinais analíticos, planejamento e otimização de experimentos, reconhecimento e classificação de padrões, calibração multivariada, monitoramento e modelagem de processos multivariados e métodos de inteligência artificial (OTTO, 1999 apud CARNEIRO, 2008).

Assim devido ao fato da quantidade e complexidade dos dados, a análise é feita através de procedimentos multivariados, dessa forma a calibração multivariada consiste em encontrar um algoritmo matemático que estabeleça uma relação entre os dados de referência do analito e a resposta instrumental (SAMISTRARO 2008). A calibração multivariada compreende as etapas de modelagem e de validação (FERREIRA *et al.*, 1999 apud SAMISTRARO 2008). O modelo matemático desenvolvido na etapa de calibração determina um vetor de coeficientes de regressão que estabelece uma relação entre o sinal medido e a propriedade que se deseja quantificar na amostra.

Apenas a coleta de dados no infravermelho não garante a uniformidade das informações, pois medidas em diferentes unidades e variáveis com diferentes variâncias podem afetar a distribuição e uniformidade dos dados espectrais. Este fato pode ocasionar dificuldade na análise dos dados, interferindo na extração de informações relevantes, bem como na sua interpretação. Dessa forma uma fase que envolve o processo de análise de dados oriundos do infravermelho e que em alguns casos facilita a análise e a obtenção de respostas é o chamado pré-tratamento de dados ou escalonamento, esse método pode ter uma influência significativa (positiva

ou negativa) na modelagem, e também relacionar os dados químicos ou físicos, facilitando a análise (BRERETON, 2007). Os pré-tratamentos dos dados tem como objetivo minimizar ruídos, eliminar amostras anômalas e informações sobrepostas da propriedade de interesse, bem como de interferentes. São aplicados antes da análise por componentes principais (PCA) ou das análises de regressão *partial least squares*, *principal component regression*, *multi linear regression* (PLS, PCR, MLR), conforme a necessidade do analista (LOPES, 2008).

3.8.3 Análise de componentes principais

A análise por componentes principais (PCA) é uma das técnicas multivariadas mais comuns empregadas em espectroscopia de infravermelho. O objetivo deste método é decompor a matriz de dados e concentrar a fonte de variabilidade dentro das primeiras componentes principais. Em síntese, a PCA é um método que tem por finalidade básica, a redução da dimensionalidade dos dados a partir de combinação linear das variáveis originais (FERREIRA,1999 citado por LOPES 2008). É um modo de identificar padrões nos dados e expressá-los de maneira que suas similaridades e diferenças sejam evidenciadas. A análise PCA decompõe a matriz de dados em duas matrizes menores, uma denominada *scores* (T) e outra denominada *loadings* (P) (BRERETON, 2000 citado por LOPES 2008)

3.8.4 Calibração multivariada

A complexidade das informações registradas em um único espectro demandou a criação de ferramentas sofisticadas para extrair informações do conjunto de dados, tendo em vista que um único espectro pode conter mais de mil informações, dessa forma a análise multivariada das informações de cada espectro são analisadas utilizando métodos multivariados.

A calibração tanto multivariada como univariada segundo Cordeiro (2006), consiste em explorar toda a informação fornecida pela técnica instrumental utilizada,

condição que favorece a previsão de uma resposta de interesse com erro ou variação mínima, mesmo em condições de severa interferência. Para Parreira (2003) a calibração multivariada tem como principais vantagens o fato de permitir determinações simultâneas de mais de um analito de interesse, permitir determinações mesmo na presença de interferentes e, apresentar uma diminuição do erro estimado no modelo devido ao fato de ser um método que utiliza múltiplas variáveis. O processo de calibração multivariada é constituído basicamente de três fases: a calibração, a validação e a previsão. Na fase de calibração são construídos os modelos matemáticos que na fase de validação são avaliados usando ferramentas estatísticas de diagnóstico, geralmente softwares estatísticos para que na fase de previsão, os modelos matemáticos validados possam ser aplicados para prever as concentrações ou as propriedades de amostras.

A etapa de validação pode ser do tipo interna ou externa. O tipo interna é aquela em que são usadas as mesmas amostras do conjunto de calibração (validação Cruzada ou *cross validation*) e do tipo externa quando é usado um conjunto de amostras não utilizados na calibração para avaliar a capacidade de predição (SAMISTRARO, 2008).

3.8.5 Espectroscopia no infravermelho próximo na área florestal.

Nas últimas décadas a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) tornou-se um método importante na análise de produtos. Assim com a evolução e diminuição dos custos de equipamentos, um número maior de amostras pode ser analisada bem como diversos parâmetros podem ser determinados, uma vez estabelecidas curvas de calibração a partir de um conjunto de amostras de controle. (MADARI e REEVES, 2006).

A aplicação inicial do NIR em estudos florestais objetivou análises de nutrição e qualidade dos materiais vegetais, demonstrando altas correlações para os teores de nitrogênio ($r=0,95$), celulose e lignina ($r= 0,90$) (NEWMAN *et al.*, 1994; HIUKKA, 1998). Muitos outros trabalhos demonstraram a importância do

infravermelho próximo para determinar a composição química da madeira, e em serrapilheira de Eucalipto e Pinus (SCHIMLECK *et al.*, 1997; HIUKKA, 1998, KELLEY *et al.*, 2004). De acordo com So *et al.* (2004) apud Lopes (2008) a rápida avaliação das propriedades da madeira usando os espectros do NIR é um campo crescente que tem implicações relacionadas com a qualidade e, ultimamente, com o melhoramento genético.

O uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) se tornou um método rápido para previsão das propriedades da madeira (SCHIMLECK *et al.*, 2007). Assim muitos trabalhos na área florestal se baseiam na técnica aplicada para prever as propriedades físicas ou mecânicas da madeira, bem como as propriedades químicas de seus derivados, dentre os trabalhos, Sefara *et al.* (2000) ressaltou os avanços na área da rápida predição das propriedades químicas e físicas de eucaliptos no processo de polpação para a produção e na economia de reagentes químicos envolvidos no processo de produção de papel, Bailleres *et al.* (2002), na mesma linha de pesquisa que Sefara *et al.* (2002), abordaram a utilização do NIR para a estimativa das características de eucaliptos dentro da otimização do processo de melhoramento genético da madeira. Abrahão (2005) também trabalhando com eucaliptos utilizou-se da ferramenta NIR para a avaliação das propriedades mecânicas, Nisgoski (2005) trabalhando com *Pinus taeda* L. avaliou as propriedades físicas e mecânicas da madeira e do papel produzido também obtendo bons estimadores, Schimleck *et al.* (2007) trabalhou com a estimativa de componentes químicos em duas espécies de eucaliptos e assim podendo distingui-las somente utilizando a caracterização pela ferramenta do infravermelho, Carneiro (2008) criou um sistema para a classificação das melhores laminas de madeira de *Pinus ssp.* afim de se obter os melhores índices de qualidades para a indústria de painéis madeira laminada. De forma geral os trabalhos consultados apontam ótimas correlações e baixos erros ligados a previsão das variáveis estudadas quando o método de Infravermelho é usado baseados nas calibrações feitas com a metodologia usual.

As principais vantagens de espectroscopia são apresentadas por Madari e Reeves (2006), Barcellos (2007), Samistraro (2008) e Lopes (2008):

- a) análises não destrutivas;
- b) não se utilizam produtos químicos;
- c) os equipamentos são compactos e fáceis de serem transportados e manejados;
- d) apresentam a possibilidade de múltiplas análises;
- e) rapidez nos resultados;
- f) possibilidade de transferência de calibrações entre diversos equipamentos;
- g) cuidados básicos com relação a estatística e computação, assim como qualquer método analítico;
- h) ausência de preparação de amostra ou mínima;
- i) técnica que não utiliza resíduos;
- j) tecnologia em contínua evolução.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE COLETA DE DADOS

As amostras retiradas das espécies provêm de três localidades diferentes. As espécies *Dendrocalamus giganteus*, *Guadua angustifolia*, *Bambusa oldhamii* e *Bambusa vulgaris* provêm de área pertencente à UNESP / FUNDEB – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (Campus Bauru) / Fundação para o Desenvolvimento de Bauru, onde foi realizada a quantificação de biomassa vegetal das referidas espécies. O clima de Bauru é o tropical de altitude, com verão quente e chuvoso e inverno seco e em geral ameno, mas que pode atingir temperaturas baixas, inclusive com geadas. A temperatura média anual fica em torno dos 22°C com índice pluviométrico de aproximadamente 1500 mm.

As amostras analisadas de *Merostachys skvortzovii* proveem de propriedades pertencentes às Indústrias Pedro N. Pizzatto, localizada no município de General Carneiro no estado do Paraná, possuindo latitude 26°25'39" sul e a uma longitude 51°18'56" oeste, sendo o município mais meridional do Paraná, estando a uma altitude de aproximadamente 980 metros. O município de General Carneiro está localizado na região mais fria do Paraná, durante o inverno registram-se temperaturas abaixo de zero, com geadas frequentes.

A última localidade que contribuiu com amostras foi o Parque Nacional do Iguaçu, onde foi feita a quantificação da biomassa vegetal da espécie *Guadua chacoensis*. O Parque está localizado na região extremo oeste paranaense, a 17 km do centro da cidade de Foz do Iguaçu. Na Figura 6 é possível observar os locais onde as amostras foram retiradas.

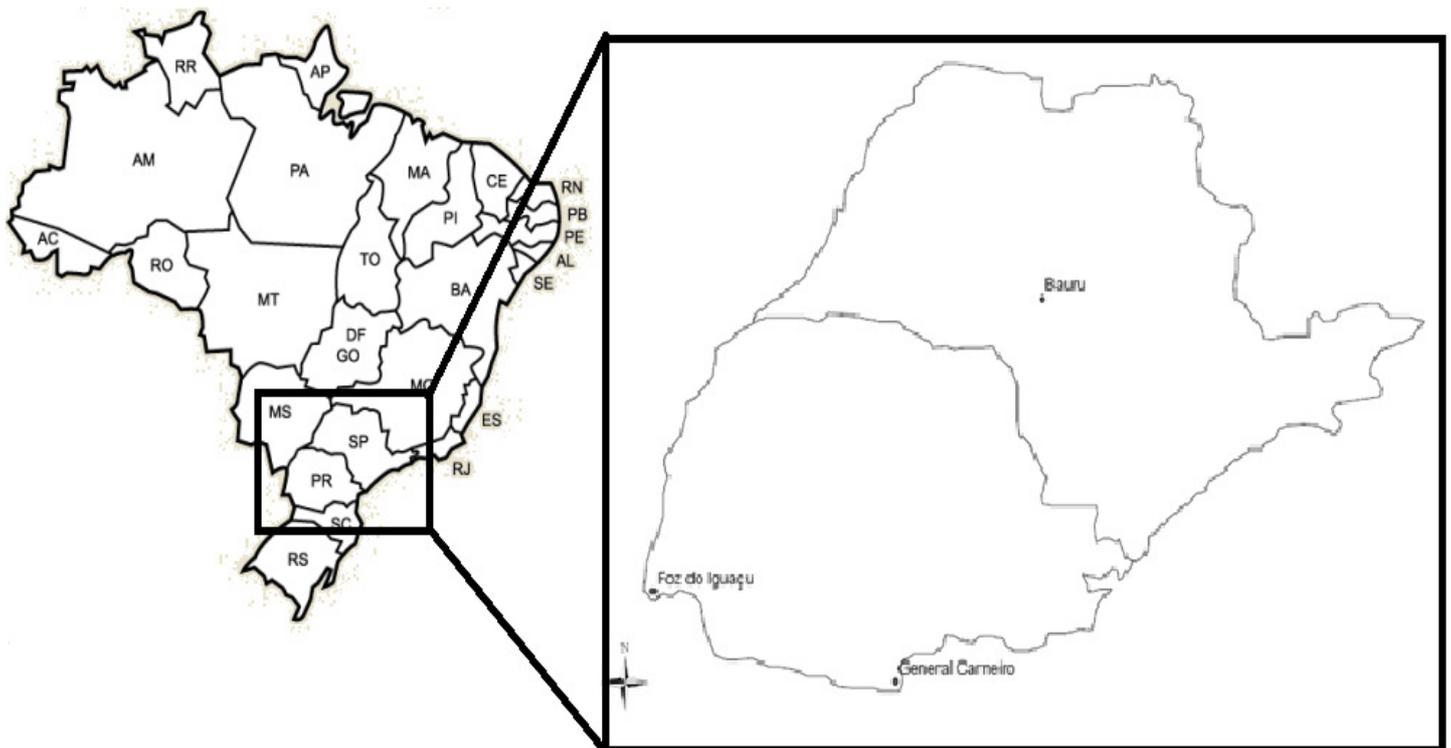


Figura 6: Locais onde as amostras foram retiradas.

Fonte: O autor (2012).

4.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E DAS ESPÉCIES DE BAMBU

Apesar de ser adotada a mesma metodologia para as seis espécies estudadas, houve certas diferenças em alguns procedimentos metodológicos, devido às características peculiares de cada espécie e de suas formações. Desta forma, a seguir serão descritos os procedimentos de seleção dos exemplares para a coleta de amostras para determinação de carbono, alvo dos objetivos desse trabalho.

4.2.1 *Guadua chacoensis*

As formações nativas da espécie *Guadua chacoensis* foram localizadas e identificadas no Parque Nacional do Iguaçu, em Foz do Iguaçu – PR. Após esta etapa foi observada a disponibilidade de utilizar 20 (vinte) exemplares, contemplando exemplares com diferentes diâmetros, bem como, exemplares jovens, adultos e senis, cuja classificação dos exemplares foi realizada com base em características morfológicas, devido às moitas desta espécie estarem estabelecidas em formações nativas e desta forma, não contendo um monitoramento das idades dos exemplares. A caracterização morfológica dos exemplares da espécie foi baseada em critérios apresentados em estudos similares, como os de Torezan e Silveira (2000), Taylor e Zischeng (1987), Embaye *et al.* (2005), Veblen *et al.* (1980), os quais descrevem características morfológicas de algumas espécies de bambu, porém oferece apenas um indicativo da maturidade dos exemplares, não garantindo informações sobre a idade e nem mesmo sobre a própria maturidade dos exemplares.

Com relação às moitas havia apenas a informação sobre o ciclo da espécie na área estudada. Na ocasião da quantificação de biomassa, as moitas constituíam-se em remanescentes do último ciclo da espécie, ou seja, formações que ainda não haviam secado com o processo do fim do ciclo encontravam-se em processo de floração, provendo sementes para germinação de novas moitas. Devido a este motivo, 14 dos 20 exemplares não continham folhas e apresentavam frutos, e foram tratados como se fossem partes foliares.

4.2.2 *Guadua angustifolia*

Os procedimentos metodológicos para esta espécie iniciaram com a identificação das moitas, que foram plantadas no Campus da UNESP, em Bauru - SP, e que são monitoradas e estudadas há aproximadamente 15 anos. Após a localização das moitas plantadas, foi observada a disponibilidade de utilizar 20 (vinte) exemplares, contemplando diferentes diâmetros e diferentes idades.

A classificação da espécie em várias idades foi feita como base no estudo de monitoramento do crescimento dos exemplares nas moitas, desenvolvido pela UNESP. Desta forma, foram selecionadas cinco moitas e dentre estas foram coletados exemplares com idades entre 3 e 7 anos, contemplando diferentes diâmetros do colmo.

4.2.3 *Bambusa oldhamii*

Os procedimentos metodológicos para esta espécie iniciaram com a identificação das moitas presentes no Campus da UNESP, Bauru - SP.

Após a localização das moitas da espécie, foi observada a disponibilidade de utilizar 20 (vinte) exemplares, com diferentes diâmetros, bem como, jovens, adultos e velhos, cuja a classificação dos exemplares em jovens, adultos e velhos, foi realizada com base em características morfológicas, uma vez que as moitas desta espécie não possuíam um estudo de monitoramento das idades dos exemplares. A caracterização morfológica da espécie foi baseada em critérios apresentados em estudos similares, como Torezan e Silveira (2000), Taylor e Zischeng (1987), Embaye *et al.* (2005), Veblen *et al.* (1980), os quais descrevem algumas espécies de bambu.

Com já citado previamente, a classificação morfológica oferece apenas um indicativo da maturidade dos exemplares, não garantindo informações sobre a idade e nem mesmo sobre a própria maturidade dos exemplares.

Desta forma, foram selecionadas duas moitas com idade aproximada de 15 anos e foram coletados 6 exemplares da primeira e 14 da segunda.

4.2.4 *Bambusa vulgaris*

Os procedimentos metodológicos para esta espécie foram os mesmos aplicados para a espécie *Bambusa oldhamii*, no que diz respeito à localização das

moitas presentes no Campus da UNESP, em Bauru – SP e identificação dos 20 (vinte) exemplares. A classificação dos exemplares em jovens, adultos e velhos, também foi realizada com base em características morfológicas, cujos critérios de seleção foram baseados em estudos similares, como Torezan e Silveira (2000), Taylor e Zischeng (1987), Embaye *et al.* (2005), Veblen *et al.* (1980), os quais descrevem características morfológicas de algumas espécies de bambu. Desta forma, foram selecionadas duas moitas, a primeira com idade aproximada de 10 anos e a segunda com idade aproximada de três anos. Estas eram as únicas informações a respeito de idade das moitas. Na primeira moita foram coletados 17 exemplares e na segunda três exemplares.

4.2.5 *Dendrocalamus giganteus*

Os procedimentos metodológicos para esta espécie iniciaram com a identificação das moitas, que foram plantadas no Campus da UNESP, em Bauru – SP, e que são monitoradas e estudadas há aproximadamente 15 anos. Após a localização das moitas, foi observada a disponibilidade de utilizar 20 (vinte) exemplares, contemplando diferentes diâmetros, bem como, diferentes idades. A classificação da espécie em varias idades foi feita como base no estudo de monitoramento do crescimento dos exemplares nas moitas, desenvolvido pela UNESP, selecionando-se sete moitas e dentre estas foram coletados exemplares com idades entre 1 e 7 anos, para determinação de biomassa vegetal.

4.2.6 *Merostachys skvortzovii*

Os procedimentos metodológicos iniciaram com a identificação em campo dos indivíduos da espécie. Assim como a espécie *Guadua chacoensis*, as formações nativas desta espécie foram localizadas e identificadas e constituíam-se em remanescentes do último ciclo da espécie, ou seja, formações que ainda não haviam secado com o processo do fim do ciclo desta espécie, entre 2006 e 2008. Após a

localização das formações nativas da espécie, foi observada a disponibilidade de utilizar 20 (vinte) exemplares, sendo selecionados diferentes diâmetros, em cinco diferentes áreas definidas em campo.

4.3 PROCEDIMENTO DE COLETA DAS AMOSTRAS

Para quantificação da biomassa vegetal, utilizou-se a metodologia sugerida por SANQUETTA e BALBINOT (2004), desenvolvida para determinação de biomassa florestal, e baseou-se em estudos similares realizados com espécies de bambu, como TOREZAN e SILVEIRA (2000), ISAGI *et al.* (1997), KIYONO *et al.* (2007), SINGH e SINGH (1999) onde existe o particionamento do objeto de estudo, no caso o Bambu, em compartimentos que foram possíveis de identificar, ou em porções relativas.

A metodologia adotada para quantificação da biomassa em campo foi o método direto, apresentado por SANQUETTA e BALBINOT (2004). Antes de iniciar a retiradas das amostras para a quantificação de carbono e a quantificação de biomassa dos exemplares, as moitas eram identificadas e selecionadas (Figura 7), bem como eram coletadas as coordenadas UTM das moitas, com auxílio de um GPS de navegação (Figura 8).



Figura 7: Identificação das moitas



Figura 8: Coleta as coordenadas UTM com GPS de navegação.

Os 20 exemplares de cada espécie foram derrubados e fracionados nos seguintes compartimentos: colmo superior e colmo inferior; galhos verdes, folhas e rizoma e duas profundidades de solo até 20 cm de profundidade e de 20 a 40 cm de profundidade. Estes compartimentos foram pesados em sua totalidade com o uso de uma balança mecânica de 25 kg. Quando os compartimentos na sua totalidade apresentavam peso inferior a 600 g o peso era obtido com auxílio de um dinamômetro.

A seguir estão detalhados os procedimentos de pesagem de cada compartimento.

4.3.1 Galhos vivos e folhas

As folhas representam toda a folhagem que se encontra nos galhos de cada exemplar, dessa forma, os galhos vivos com folhas foram separados de cada um dos exemplares com auxílio de um facão e depositados sobre uma lona plástica (Figura 9), com a finalidade de evitar que o material de pesquisa se perdesse ou fosse contaminado por outros materiais vegetais. Depois de separadas as folhas de cada exemplar, os mesmos foram pesados em sua totalidade (Figura 10).



Figura 9: Amostra composta de galhos com folhas.



Figura 10: Pesagem da amostra composta de galhos sem folhas.

Para obtenção de amostras deste compartimento, foi constituída uma amostra composta dos galhos verdes com folhas, representativa do exemplar, contemplando porções de toda a extensão do colmo, ou seja, da parte inferior, média e superior. Em seguida, foram separadas todas as folhas desta amostra, que foi novamente pesada.

4.3.2 Colmo

O colmo, no presente estudo, representa a estrutura aérea da planta, livre dos galhos e folhas. O colmo foi dividido em duas partes, para que seja possível identificar se existem diferenças entre as partes inferior e superior do colmo. Desta forma, retornando ao exemplar totalmente sem galhos, o colmo foi dividido pela metade com auxílio de motosserra ou serrote, conforme a espécie. A pesagem deste compartimento foi realizada após a das folhas e galhos. A parte inferior pode ser caracterizada por estar ao nível do solo e tem o comprimento definido até a metade da altura total do colmo já o colmo superior é representado pela metade superior da altura até o ápice de cada espécie. Nas Figura 11 a 14 é possível visualizar o procedimento de corte, pesagem e separação do colmo inferior e superior.



Figura 11: Corte do Colmo



Figura 12: Medição do comprimento total



Figura 13: Pesagem da parte inferior



Figura 14: Pesagem da parte superior

4.3.3 Rizoma

O rizoma representa toda a parte subterrânea da planta. Cada exemplar foi retirado do solo com a utilização de ferramentas cortantes, abrindo um buraco de aproximadamente 25 cm de raio, partindo da base do exemplar, dessa forma foi retirado e pesado em sua totalidade.

Todos os compartimentos da biomassa foram coletados e pesados na sua forma verde ou fresca, ou seja, com umidade, da qual foram retiradas amostras de até 500 g (Figura 15) para fins de determinação da biomassa seca e análise de carbono. As amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas, previamente identificadas. Posteriormente todas as amostras e coletas foram pesadas em balança analítica de precisão de 0,1 gramas e encaminhadas ao Laboratório de

Inventário Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), para processamento e análise do teor de carbono.



Figura 15: Preparo e acondicionamento das amostras de cada compartimento. A- Galhos Verdes; B- Colmo Inferior; C- Colmo Superior; D- Rizoma; E- Folhas.

4.4 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA AS ANÁLISES

O material coletado e separado em campo na atividade de quantificação de biomassa fresca foi levado ao Laboratório de Inventário Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), para secagem, pesagem e moagem.

No laboratório, as amostras de biomassa foram transferidas para embalagens de papel previamente identificadas, a fim de que fosse extraída toda a umidade existente. Posteriormente, foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçada, a uma temperatura de 70°C, até atingirem peso constante, o que indicou que as amostras estavam satisfatoriamente secas. Depois de atingido o peso constante, os materiais foram pesados em balança de precisão de 0,01 g, para determinação da quantidade de matéria seca existente (Figura 16).

Finalmente, as amostras secas e pesadas foram moídas em um moinho de facas com peneira e embaladas em frascos plásticos e etiquetadas. Na moagem tomou-se o cuidado de sempre limpar o moinho com compressor de ar entre uma amostra e outra para não ocorrer risco de contaminação. Em síntese, o processamento em laboratório foi efetuado de tal modo que no final do processo fossem obtidas amostras secas e moídas, na quantidade de aproximadamente 10 gramas para as análises dos teores de carbono e para as avaliações no equipamento de infravermelho.

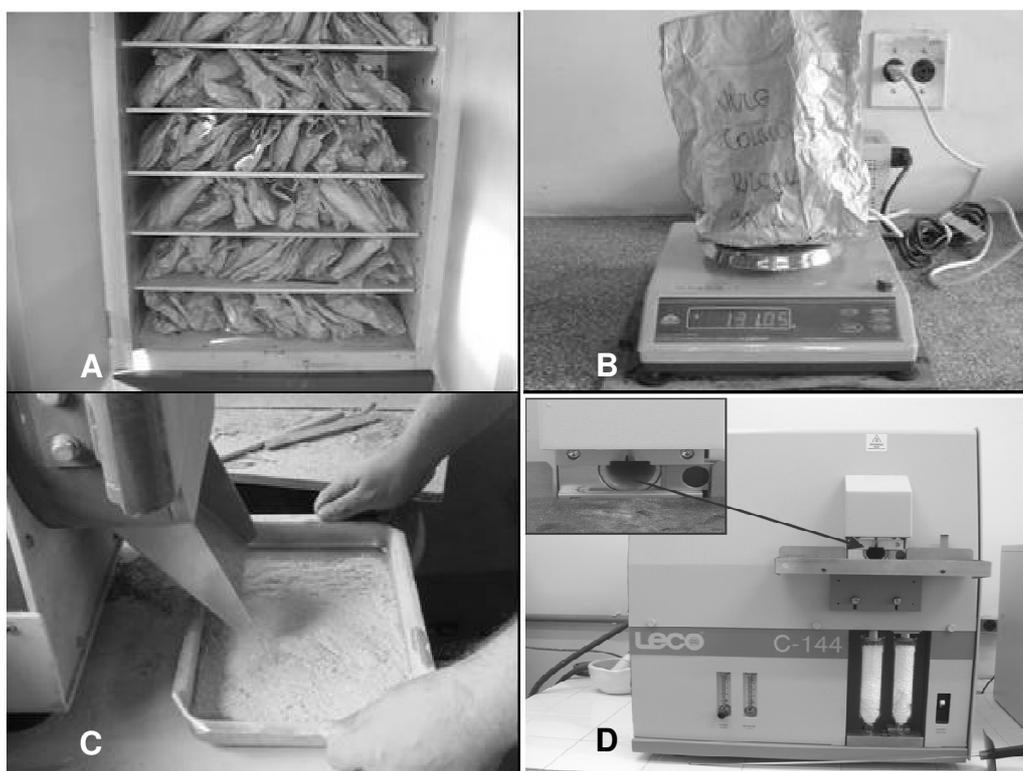


Figura 16: Preparo das amostras de cada compartimento para a análise de carbono.

A- secagem em estufa; B- verificação do peso; C- amostra particularizada; D- Equipamento usado para determinação de carbono.

4.5 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CARBONO

O método de referência para a comparação com o método do infravermelho foi a combustão total. Para determinação do teor de carbono total das amostras foi utilizado um equipamento especializado para esta análise, o analisador de carbono LECO, modelo C-144, o qual possui um software para registro digital dos resultados.

O equipamento realiza a combustão das amostras, pesando cerca de 100 mg, submetida à temperatura de 1.000°C por cerca de 60 segundos. Neste método, o material sólido é levado à combustão total e um sensor detecta a quantidade de dióxido carbono (CO₂) gerado pela combustão, relacionando automaticamente com a quantidade de carbono orgânico existente na amostra através de ajustes com uma substância padrão de Carbonato de Cálcio. Ao todo foram analisadas 600 amostras

pertencentes às seis espécies de bambu, cada uma destas possui cinco compartimentos e em cada um dos compartimento foram realizadas 20 amostras.

4.6 ANÁLISE DOS DADOS PROVENIENTES DA ANÁLISE DE CARBONO

Com os dados em mãos, estes foram organizados em planilhas eletrônicas para sua devida conferencia e comparação entre as possíveis diferenças que pudessem apresentar, sendo que a organização esta feita em função de espécie e compartimento para todos os dados, dessa forma a identificação de amostras anômalas pode ser facilmente feita e corrigida caso seja necessário. As amostras particularizadas encontram-se armazenadas no Laboratório de Inventário Florestal e acondicionadas como mencionado no item 4.4.

Para a identificação das possíveis variações entre as espécies e os compartimentos foram realizadas análises de variância entre os compartimentos, primeiramente nos que apresentam quantidade de biomassa mais significativa, ou seja entre o colmo inferior e superior, após esse procedimento foram realizados entre todos os compartimentos para identificação das diferenças encontradas entre as espécies e entre compartimentos.

4.7 ANÁLISE DAS AMOSTRAS NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR)

As amostras que foram moídas e separadas em frascos plásticos e que não entraram no processo de combustão no analisador de carbono foram submetidas a analise no equipamento de infravermelho da marca BRUKER da série TENSOR 37 FT-IR, por ser um equipamento com ampla capacidade espectral no infravermelho, trabalha inclusive na zona do infravermelho próximo, este equipamento pertence ao Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal do Paraná.

Os espectros coletados nesse equipamento referem-se à intensidade de radiação, absorvida ou refletida em função do comprimento de onda ou frequência. Neste trabalho as amostras foram coletadas levando em consideração a

Absorbância, ou seja, o quanto cada amostra absorve do feixe infravermelho emitido pelo equipamento nos diferentes comprimentos de onda. O comprimento de onda usado para captar os estes espectros encontra-se entre 10.000 cm^{-1} e 4.000 cm^{-1} , ou seja, na escala do infravermelho próximo.

Foram obtidos espectros de cada amostra proveniente dos compartimentos da biomassa dos exemplares de bambu, estas amostras foram analisada em três partes distintas do frasco em que estava contida afim de avaliar a variabilidade que poderia ser encontrada com relação as características do sinal no infravermelho.

Na Figura 17 encontra-se uma representação das zonas onde cada espectro foi retirado, ao todo foram realizados 1800 espectros, ou seja, em cada uma das 600 amostras foram feitos três espectros: na base do frasco, na porção intermediária e na porção superior. Todos os espectros foram obtidos nas partículas o que possibilitou a obtenção de um espectro médio que captou as oscilações de cada amostra analisada e este espectro médio representa de forma homogênea cada amostra em cada compartimento.

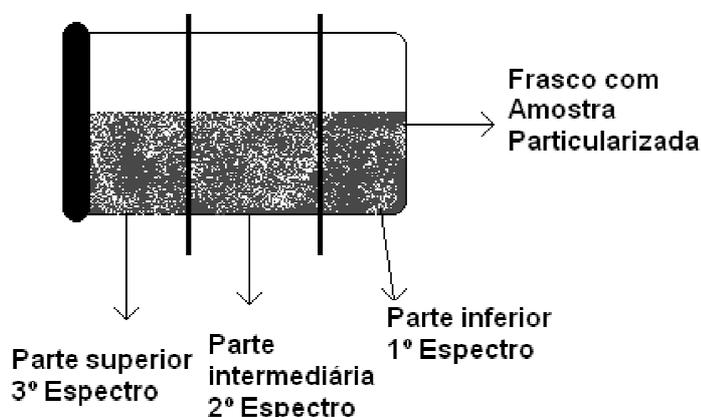


Figura 17: Esquema das zonas em que os espectros foram feitos por Amostra

4.8 ANÁLISE DE DADOS PROVENIENTES DO NIR

O software utilizado para a análise dos dados provenientes do equipamento de infravermelho foi o Unscrambler® v9.7 da CAMO Process A.S., no software foram

inseridos os espectros de cada espécie de Bambu assim como seus respectivos compartimentos. A partir desse ponto foram inseridos também os dados dos teores de carbono encontrados através da análise de carbono pela combustão total, de forma, a se obter uma matriz de dados em que estavam correlacionados respectivamente os teores de carbono e os espectros de cada amostra. A Tabela 3 ilustra como os dados foram inseridos no Unscrambler® v9.7.

Tabela 3: Organização dos dados no Software Unscrambler® v9.7

Espécie	Teor de carbono	Espectro 1	...
Compartimento 1	xx,xx%	xxxx cm ⁻¹	
Compartimento 1	xx,xx%	xxxx cm ⁻¹	
⋮	⋮	⋮	⋮
Compartimento 2	xx,xx%	xxxx cm ⁻¹	
Compartimento 2	xx,xx%	xxxx cm ⁻¹	
⋮	⋮	⋮	⋮

O primeiro passo foi verificar a distinção dos teores de carbono entre os compartimentos de cada espécie, assim os dados de bambu foram analisados separadamente. O segundo passo foi a comparação entre os compartimentos anteriormente descritos de cada espécie de bambu, para evidenciar as diferenças encontradas e apontar quais os melhores métodos de análise no infravermelho, comparados com a metodologia da combustão a seco no equipamento Leco.

4.8.1.1 Espectros originais

Cada espectro representa um vetor de dados (1 X 1556), referente a quantidade de informações que estão entre as bandas de absorção selecionadas. Foram coletadas 1.800 espectros, sendo que de cada amostra foram feitos 3 espectros afim de se captar a variação existente. No momento das análises houve uma redução na quantidade de espectros, sendo que os dados de cada amostra

geraram um “espectro médio”, dessa forma, assim como citado na secção anterior, foram analisadas 600 amostras entre os compartimentos. Para construir esse espectro médio de um amostra, foram separados os três espectros referentes de cada uma das amostras e foram feitas as médias. Nas Figura 18 e Figura 19 é possível observar essa transformação. Na Figura 18 os espectros referentes as três faixas definidas na coleta de dados no infravermelho estão plotadas, e após o cálculo da média dos espectros na Figura 19 é possível observar o espectro médio dessa amostra.

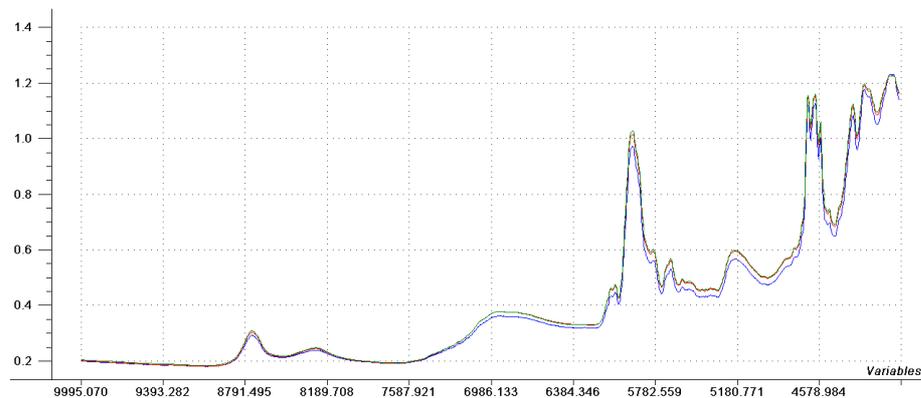


Figura 18: Exemplo da transformação da coleta de três espectros de uma amostra

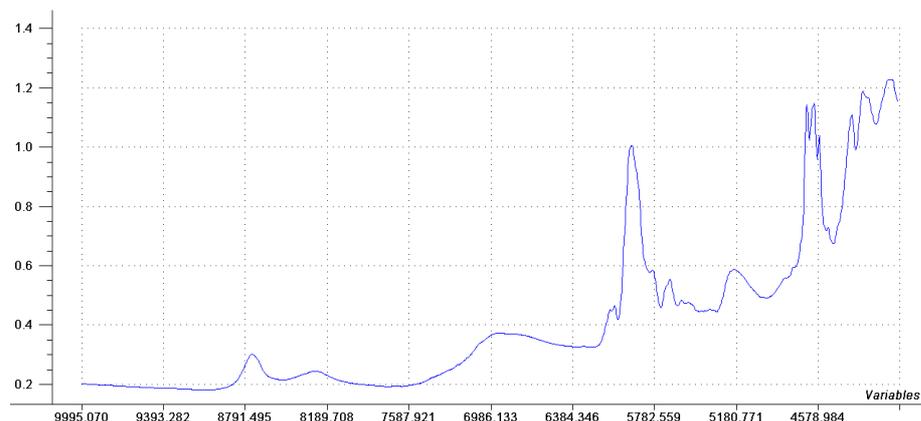


Figura 19: Espectro médio das Amostras utilizadas nesse exemplo

4.8.2 Análise de componentes principais

O Análise de Componentes Principais PCA é uma técnica estatística utilizada para reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados onde existe um grande número de variáveis que estão relacionadas entre si, essa redução de dimensionalidade visa obter-se um novo conjunto de dados, chamados de componentes principais que mantêm a variância dos dados originais, esses componentes são ordenados de forma que eles guardam

O PCA foi empregado para identificar entre os espectros das amostras os grupos que poderiam se destacar e diferenciar-se pela criação de sepações entre as variáveis que possuem mais semelhanças estatísticas, no caso a semelhança entre as variáveis são os sinais captados pelo espectro no infravermelho, de modo que o PCA foi feito entre os compartimentos para identificar as variações somente entre as variações entre os sinais captados no infravermelho, o software utilizado para tal procedimento foi o Unscrambler® v9.7 pertencente a empresa Camo.

4.8.3 Pré-processamento dos dados

Antes de se iniciar a etapa de construção dos modelos, frequentemente é necessário realizar uma etapa chamada de pré-processamento ou pré-tratamentos dos espectros provindo do NIR. Esta prática visa remover qualquer informação que não esteja relacionada ao problema que é alvo do estudo, esses problemas podem ocorrer devido a vários fatores, tais como a instabilidade do espectrômetro NIR ao longo da faixa espectral medida, variabilidade das propriedades físicas das amostras, ou ainda relacionados a problemas de espalhamento da radiação durante as medidas, também são utilizadas para minimizar ruídos, eliminar amostras anômalas e informações sobrepostas das propriedades de interesse. São aplicados antes da análise por componentes principais ou das análises de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS), este fato reforça a necessidade de se obter os espectros em ambientes cujas condições estão controladas.

Um dos pré-processamentos mais utilizados é a derivação. A primeira derivada remove deslocamentos sistemáticos da linha de base (“*offsets*”); com a segunda derivada, é possível eliminar uma variação linear da linha de base, normalmente devida a efeitos de espalhamento. Como o cálculo das derivadas é feito a partir de diferenças entre valores de pontos adjacentes, a relação sinal/ruído torna-se pior com esse tipo de pré-processamento. Por isto, após diferenciação é comum aplicar-se aos dados algum tipo de suavização. O algoritmo mais utilizado para este fim é o de Norris-Gap (HONORATO *et al.* 2007). Outro pré-processamento muito utilizado é a correção de sinal multiplicativa (NAES *et al.*, 2002), (MSC – “Multiplicative Signal Correction”), onde se faz uma regressão de cada espectro contra um espectro de referência, que normalmente é o espectro médio do conjunto de calibração. Os espectros são então corrigidos subtraindo-se dos valores originais os coeficientes lineares das respectivas retas de regressão e dividindo-se o resultado pelos coeficientes angulares dessas mesmas retas. Para uma dada calibração, a MSC produz dois efeitos importantes: simplifica o modelo, por reduzir o número de componentes, e melhora a sua linearidade.

4.8.4 Regressão por mínimos quadrados parciais

A regressão por mínimos quadrados parciais ou *Partial Least Squares* (PLS), É uma técnica de análise de dados multivariados utilizada para relacionar uma ou mais variáveis resposta (matriz Y) com diversas variáveis independentes (matriz X), correlacionando-as de modo a obter uma relação linear, baseada no uso de fatores (componentes principais). Este é um modelo que determina correlações quantitativas, servindo por isso para a construção de reta de calibração multivariada. A diferença entre este método e o método de análise de componentes principais (*Principal Component Analysis* - PCA), está na forma como as novas variáveis são encontradas, uma vez que o PCA não tem em conta os dados das concentrações (matriz Y). Para o desenvolvimento deste método é necessário um grande número de amostras analisadas, na medida em que é necessário estabelecer correlações e reorganizações entre a informação espectral e as concentrações obtidas experimentalmente. Dependendo do objeto de estudo e de quais as quantificações

que se pretende realizar, o número de amostras necessárias ao desenvolvimento PLS pode variar entre 20 e 200 amostras (CONZEN, 2006).

No processamento matemático são determinadas as duas matrizes que traduzem as variações espectrais e os valores de referência, sendo gerados os seus vetores. A estes vetores chamam-se fatores ou Componentes principais, e podem ser utilizados na previsão da concentração uma vez que os espectros NIR originais contenham todas as informações relevantes para o sistema em estudo.

Esta decomposição em fatores apresenta como vantagem o fato da informação importante ficar comprimida e poder ser utilizada na calibração. O primeiro fator caracteriza-se pelas principais alterações observadas no espectro NIR, quando este fator não pode explicar todas as alterações, gera-se um segundo fator perpendicular ou ortogonal ao primeiro. Assim, com o aumento do número de fatores são caracterizadas alterações na estrutura cada vez menores. Após a modelagem, teoricamente a matriz dos quadrados dos resíduos deverá conter apenas as alterações não explicadas associadas ao ruído. Um baixo número de fatores caracteriza principalmente as alterações na estrutura espectral, enquanto um elevado número de fatores representa principalmente distúrbios causados pelo ruído. A importância da ortogonalidade dos vetores próprios dá-se pelo fato de que somente desta forma, se pode garantir que a nova base formada resulta numa combinação de vetores linearmente independentes e por isso constitui um novo espaço vetorial. Como o ruído dos dados espectrais é independente do ruído dos dados de concentração, a relação linear não é perfeitamente possível, sendo necessário utilizar o conceito dos mínimos quadrados. Assim, as matrizes originais X e Y são decompostas nos seus vetores *scores* t e u , nos vetores *loading* p e q e nas suas matrizes residuais F e G , respectivamente, tal como é apresentado pela Equação 1 para os dados espectrais e a Equação 2 para os dados das concentrações. Tem se ainda, R que representa o rank, isto é, o número de fatores e T que indica a referência ao vetor transposto (CONZEN, 2006).

$$X = t_1 p_1^T + t_2 p_2^T + t_3 p_3^T + \dots + t_R p_R^T + F \quad \text{Equação 1.}$$

$$X = u_1 q_1^T + u_2 q_2^T + u_3 q_3^T + \dots + u_R q_R^T + G \quad \text{Equação 2.}$$

Quando se pretende prever uma só variável dependente, tem-se o modelo PLS1 e y é um vetor, se várias variáveis dependentes forem previstas simultaneamente no mesmo modelo então aí Y é uma matriz e o método é denominado PLS2 (Naes *et al.*, 2002). A correlação linear entre as duas matrizes X e Y decompostas é simplesmente uma relação linear obtida pelo coeficiente de regressão linear obtida pela Equação 3 onde R é a matriz resposta, c um vetor com a concentração das respostas, b o vetor contendo os parâmetros do modelo e " e " o vetor dos erros.

$$c = Rb + e$$

Equação 3.

O vetor b é definido por $b=W (P^t W)^{-1} q$ onde os vetores da matriz W são tais que o produto entre a variância em X com a correlação XW com Y seja maximizada (MORGANO e MORIYA, 2002).

A especial importância da regressão PLS na análise química surge do fato da simultaneidade e mútua dependência da fatorização dos dados presentes na matriz X e Y , conseguindo, quando ocorre uma alteração nos dados espectrais, fazer corresponder essa alteração à concentração analítica. Este tratamento pode conduzir a vetores *scores* diferentes, se for feito por análise puramente matemática, uma vez que irá ter em conta amostras com erros na sua preparação e nos métodos de referência, bem como falhas instrumentais e ruído espectral, sendo por isso necessário um tratamento inicial que elimine estes fatores não ocorrendo somente o processamento pelo software.

Avaliação dos modelos de calibração multivariada é feita para calcular o erro dos modelos de calibração, dessa forma foi empregado o RMSE (*Root Mean Square Error*), conforme equação 4, onde n é o número de espectros, y_i e \hat{y}_i são os valores determinados pelo método padrão do Equipamento LECO e o valor predito pelo modelo do PLS, respectivamente, utilizando as amostras do conjunto de calibração para validação cruzada (RMSECV) ou de predição externa (RMSEP).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

Equação 4.

Após ser selecionado o melhor pré-tratamento são retiradas do grupo de calibração amostras *outliers*, que são determinadas em função do erro RMSE de Calibração ou distância Mahalanobis que apresentam, de modo a diminuir o erro RMSE de Calibração ou número de fatores PLS utilizados. A distância Mahalanobis refere-se à distância entre cada espectro e um espectro médio determinado pelo software, e quando esta distância é superior à unidade a amostra referente a esse espectro é considerada *outlier*. Uma análise qualitativa dos espectros também ajuda na determinação de amostras *outliers*, uma vez que o agrupamento de amostras permite a identificação de amostras que são diferentes das restantes, pelas mais variadas razões. Por fim, o conjunto de amostras foi dividido em diferentes espécies, correspondentes às amostras usadas na calibração e ao grupo das amostras usadas na validação. Este passo torna o modelo mais robusto, capaz de responder a alterações do sistema.

4.8.5 Variáveis latentes

Para a regressão por PLS usa-se o termo: variáveis latentes para designar componentes principais, devido se utilizar informações do vetor das variáveis dependentes na construção das componentes principais. Definem-se quantas variáveis latentes utilizar na validação cruzada (SAMISTRARO, 2008).

A escolha do número de variáveis latentes é um dos parâmetros mais importantes no desenvolvimento do modelo. A validação cruzada foi utilizada como ferramenta no auxílio da seleção do número de variáveis latentes. Se o número for muito baixo, informações importantes podem não ser modeladas e se for alto, embora melhore o ajuste do modelo de calibração, incluirá ruído no modelo. Se o número de variáveis latentes não for adequado prejudicará o modelo (*overfitting*). O parâmetro envolvido na seleção das variáveis latentes para cada modelo desenvolvido foi o que proporcionasse o menor erro médio quadrático de previsão

(RMSEP) na validação cruzada. Os valores previstos pelo modelo e os valores referência são então comparados. Para cada modelo desenvolvido apresentado nos resultados está especificado o número de variáveis latentes utilizado.

A seleção de variáveis latentes nos modelos foi feita de modo que os resultados obtivessem baixos erros de predição de valores e possuísem altos valores de correlação, para que essa condição pudesse ser atendida considerou-se os modelos em que as variáveis latentes trouxessem ganhos significativos através dos processos iterativos de ajuste, para que se obtivessem os quesitos para a eleição dos melhores modelos

4.8.6 Metodologia para o ajuste no Infravermelho dos teores de carbono

Para tornar os modelos mais condizentes com as variações entre as espécies e para corresponder com a análise de variância que apontou diferenças significativas entre as espécies e seus compartimentos o modelo ajustado um modelo genérico, ou seja, um modelo onde foram ajustados todos os dados de infravermelho e carbono para apontar as correlações e os resultados de uma forma genérica sem levar em consideração as espécies e compartimentos, após esta etapa, o modelo genérico foi subdividido em modelos para cada espécie, dessa forma, foram construídos modelos individuais que avaliassem os teores de carbono por espécie com uma tentativa de diminuição dos erros e elevação das correlações entre as variáveis.

Para a construção do modelo genérico das espécies foram feitas calibrações e validações, todas as calibrações utilizaram 50% de todos os dados e para a validação externa 50% dos dados não utilizados para a calibração.

Foram realizadas quatro tipos de pré-tratamentos nos espectros, dessa forma foram ajustados os modelos PLS para os dados sem tratamento algum, para os dados transformados por MSC, pela aplicação da segunda derivada utilizando o método de Norris-Gap, e pela combinação dos dois métodos.

Para a construção de cada modelo individual foram feitas calibrações e validações para cada espécie, todas as calibrações utilizaram 75% dos dados de cada espécie e para a validação externa 25% dos dados não utilizados para a calibração. Procedeu-se da mesma forma para a exclusão de amostras anômalas ou *Outliers* na análise de todas as espécies.

A forma de análise baseou-se na mesma metodologia adotada para a análise do modelo genérico, dessa forma foram realizadas quatro tipos de tratamentos dos espectros para que pudessem ser ajustados pelo método PLS. Os quatro tratamentos para os dados são: sem tratamento algum, ou seja, os dados não sofreram nenhuma modificação, transformação por MSC, transformação pela aplicação da segunda derivada utilizando o método de Norris-Gap, e pela combinação dos dois métodos.

5 RESULTADOS

5.1 TEORES DE CARBONO DETERMINADOS POR COMBUSTÃO SECA

Após a análise de combustão para se obter os valores de carbono os dados foram tabulados e organizados em tabelas para as análises estatísticas. dessa forma para se ter uma idéia da dispersão e da variação dos dados de teores de carbono provenientes das seis espécies de bambu que foram coletados no equipamento Leco C-114, estão apresentadas na Tabela 4 os valores de limite inferior (LI), média, limite superior (LS), e coeficiente de variação em porcentagem (CV%), que informa a variação dos teores em função da média apresentada para cada compartimento. No anexo 1 estão todos os valores dos teores de carbono utilizados nesse trabalho.

Tabela 4: teores de carbono em seus compartimentos determinados pela combustão seca

Espécie	Variação	Compartimentos				
		Colmo Inferior	Colmo Superior	Folhas	Galhos Vivos	Rizoma
<i>Guadua angustifolia</i>	LI	41,959	41,770	37,341	41,210	36,370
	Média	43,040	42,696	39,776	42,415	39,699
	Ls	44,029	43,408	41,421	44,383	41,382
	CV(%)	0,77%	0,49%	2,44%	1,07%	3,87%
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	LI	41,332	42,112	36,247	41,134	33,728
	Média	43,039	43,446	40,297	43,131	41,561
	Ls	43,985	44,155	41,629	44,240	43,698
	CV(%)	0,97%	0,53%	3,51%	0,94%	12,12%
<i>Guadua chacoensis</i>	LI	38,257	37,856	32,894	38,951	16,221
	Média	40,164	39,563	37,251	39,751	33,473
	Ls	41,739	40,889	40,011	40,999	40,397
	CV(%)	2,18%	2,67%	12,71%	0,81%	97,10%
<i>Merostachys skvortzovii</i>	LI	39,077	40,752	36,544	40,126	35,870
	Média	43,045	43,379	40,874	42,091	42,420
	Ls	44,533	44,721	43,274	43,489	45,578
	CV(%)	3,84%	2,00%	4,76%	1,76%	17,51%
<i>Bambusa oldhamii</i>	LI	42,799	43,146	33,194	41,104	25,069
	Média	43,380	44,214	38,644	42,334	37,086
	Ls	44,625	44,783	40,472	43,470	41,150
	CV(%)	0,54%	0,41%	10,70%	0,92%	62,96%
<i>Bambusa vulgaris</i>	LI	41,762	42,267	38,214	41,653	31,564
	Média	42,658	43,413	39,992	42,929	41,180
	Ls	43,691	44,777	41,009	43,609	43,896
	CV(%)	0,59%	0,76%	1,21%	0,60%	22,85%

O coeficiente de variação para o compartimento colmo inferior é maior para a espécie *Merostachys skvortzovii*, que apresentou um coeficiente de variação de 3,84% com uma média de teor de carbono de 43,045%, mas a espécie que apresentou em média os maiores teores para esse compartimento foi a espécie *Bambusa oldhamii* com 43,380%. Os valores para o colmo superior apresentam um coeficiente da variação de 2,67% para a espécie *Guadua chacoensis* com uma média de 39,563% mas ainda a espécie *Bambusa oldhamii* também apresenta os maiores valores com média de 44,214%.

Para o compartimento folhas a maior variação observada é na espécie *Guadua chacoensis* com 12,71% e o maior valor observado é na espécie *Merostachys skvortzovii* com um valor médio para o teor de carbono de 40,874%. Com relação aos galhos vivos a maior variação se encontra na espécie *Merostachys skvortzovii* com um coeficiente de variação de 1,76% e o maior valor médio foi encontrado na espécie *Dendrocalamus giganteus* com um teor de carbono de 43,131%.

No compartimento rizoma, o coeficiente de variação foi superior aos coeficientes observados nos outros compartimentos, isso pode ser associado ao fato de que devido às diferenças entre os solos e do estabelecimento de cada espécie em cada local e também da própria dificuldade de separar qual rizoma esta associado a seu respectivo colmo bem como a extensão do rizoma que se encontra abaixo do solo. Dessa forma na espécie *Guadua chacoensis* foi observada um coeficiente de variação de 97,1% e o maior teor médio de carbono foi observado na espécie *Merostachys skvortzovii* com 42,42%.

Diversos autores destacam e descrevem os teores de carbono em diferentes compartimentos da madeira, divididos usualmente em caule, tronco ou fuste, galhos, folhas, casca e raízes, esses compartimentos podem ser subdivididos ainda, um exemplo é o compartimento de galhos, podendo ser galhos grossos, médios e finos. dessa forma comparando os teores encontrados na literatura é possível observar que Higuchi e Carvalho Jr. (1994) analisaram diversas espécies da Floresta Tropical Úmida Densa de Terra Firme, na região de Manaus e observaram um teor médio de carbono para o tronco e galhos que foi de 48% e nas folhas foi de 39%. Já Balbinot *et al.* (2003) encontraram, para *Pinus taeda* com 5 anos de idade, teores médios para acícula, galhos, casca, madeira e raízes de 47,3%, 43%, 40%, 45,7% e 42,8% respectivamente.

Weber *et al.* (2003) analisaram os teores de carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze., em diferentes idades, encontrando os teores médios para fuste, folhagem, galho morto, galho vivo, raiz e casca de: 44,1%, 44,0%, 42,9%, 41,7%, 40,5%, 40,1%, respectivamente. Sette Junior *et al.* (2005), comparando estatisticamente diferentes idades de *Pinus taeda* com relação aos teores médios de carbono, encontraram teores bem elevados em

relação a outros trabalhos, para espécie foi encontrado um teor médio de 55,3%. Uma das justificativas encontradas pelos autores para um teor elevado foram as condições de sítio, o material genético e tipo e manejo que contribuíram para teores elevados.

Weber *et al.* (2006), analisando seis espécies naturais do ecossistema da Floresta Ombrófila Mista encontraram valores para casca, folha, fuste, galho morto, galho vivo e serrapilheira que em termos gerais teve valores médios entre 39,9% e 42,2% sendo que nas seis espécies os teores de carbono no compartimento das folhas apresentou valores entre 41,4% e 46,1%.

Saidelles *et al.* (2009), estudando os teores de *Acacia mearnsii* De Wild., com 4 anos de idade, encontraram teores para os compartimentos folha, galho vivo, galho morto, casca, madeira e raiz de 45,8%, 41,39%, 40,87%, 40,68%, 42,13% e 41,92% respectivamente. Os resultados de Almeida *et al.* (2010) indicam valores de 32,7% e 44,7% para a serrapilheira de um povoamento de *Tectona grandis* L.F.

Os teores encontrados nesse trabalho, comparativamente com os outros trabalhos citados, confirmam que dificilmente existem teores que ultrapassam valores de 50% e que assim como as espécies florestais plantadas e de madeiras nativas os teores de carbono encontrados nas espécies de bambu encontram-se próximos as espécies arbóreas.

5.2 DIFERENÇAS ENTRE COLMO SUPERIOR E INFERIOR

Apesar dos dois compartimentos se referirem ao colmo do bambu em toda a sua extensão a divisão em colmo superior e inferior é justificada pelas diferenças significativas encontradas entre os dois compartimentos. Para que se possa observar as diferenças entre os dois compartimentos a análise ANOVA foi realizada. O resultado se encontra na Tabela 5.

Tabela 5: Resultado da ANOVA entre colmo inferior e superior

Tabela da ANOVA	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Espécie	5	397,688	79,538	129,481	0,000
Compartimento	1	3,198	3,198	5,206	0,023
Resíduos	233	143,127	0,614		

Após a análise de variância foi possível observar que existe diferença significativa entre as seis espécies e entre os dois compartimentos analisados, dessa forma os valores dos dois compartimentos devem ser analisados separadamente, e as comparações entre as espécies também serão mais efetivas, devido ao fato existir mais uma fonte de variação. Na Figura 20 é possível observar também as variações e os teores médio por espécie nos dois compartimentos em todas as espécies de bambu.

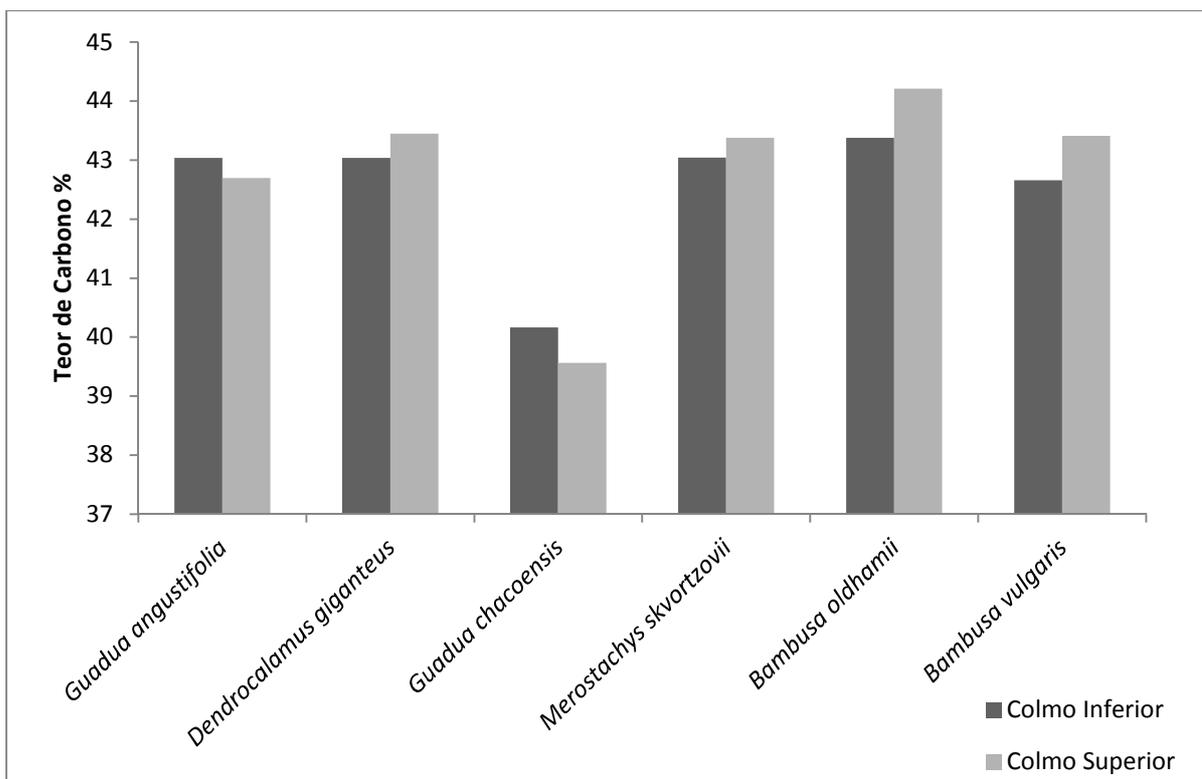


Figura 20: Variação dos teores de carbono no colmo superior e inferior

5.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE AS ESPÉCIES E COMPARTIMENTOS

Tendo como base a variação de cada espécie e as variações entre os teores de carbono e dos compartimentos apresentados na Tabela 4, foi analisado se haveriam diferenças significativas entre esses dois fatores, dessa forma motivado pelos valores encontradas no colmo superior e inferior, a análise de variância foi estendida para todos os dados, e podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6: Análise de variância entre as espécies e seus compartimentos

Tabela da ANOVA	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Espécie	5	1333,306	266,661	78,314	0
Compartimento	4	1440,828	360,207	105,786	0
Espécie:compartimento	20	549,824	27,491	8,073	0
Resíduos	570	1940,863	3,405		

É possível observar que em ambos os fatores analisados, espécie e compartimento, apresentaram diferenças significativas para os teores de carbono. Essas diferenças podem ser explicadas pela localização de cada espécie e da sua adaptação as condições edafoclimáticas, as diferentes condições podem favorecer o crescimento, o desenvolvimento e a incorporação de carbono nos tecidos vegetais. Um dos fatores que também influencia de forma direta são as características intrínsecas de cada espécie, pois as espécies provenientes do município de Bauru no estado de São Paulo apresentaram diferenças entre si, mesmo estando em uma região cujas características de solo e clima são muito semelhantes.

As diferenças entre as espécies e entre os compartimentos podem ser observados na Figura 21 que aponta as diferenças entre todos os compartimentos de cada espécie, na Figura 22 que aponta as diferenças entre as espécies e na Figura 23 entre os compartimentos que evidenciam as diferenças pelo resultado proveniente da análise da ANOVA e pelo teste de Tukey.

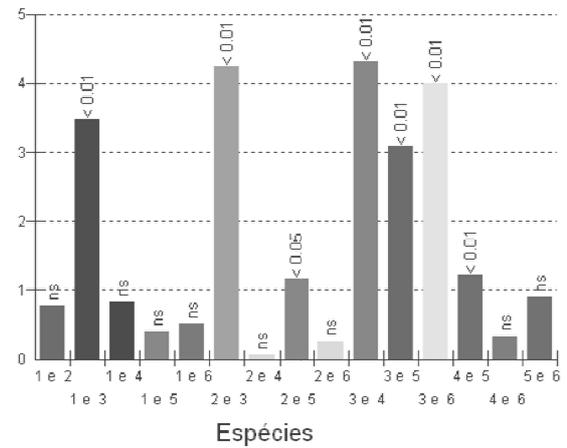
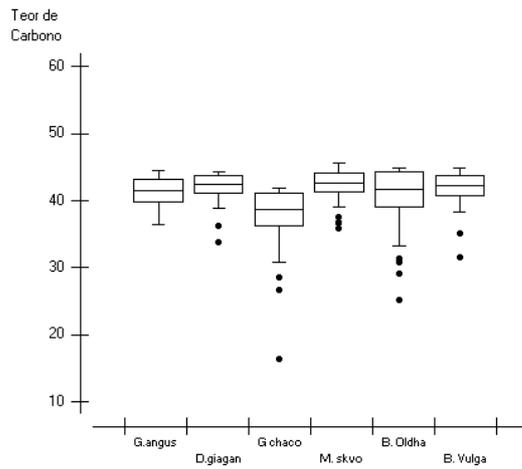


Figura 22 Variações das médias entre as espécies e Resultados do teste de Tukey realizados nos entre as seis espécies de bambu.

1- *Guadua angustifolia* 2- *Dendrocalamus giganteus* 3 – *Guadua chacoensis* 4 – *Merostachys skvortzovii* 5- *Bambusa oldhamii* 6 - *Bambusa vulgaris*

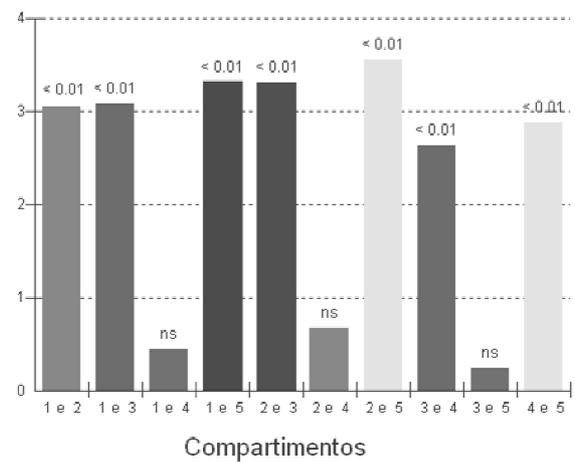
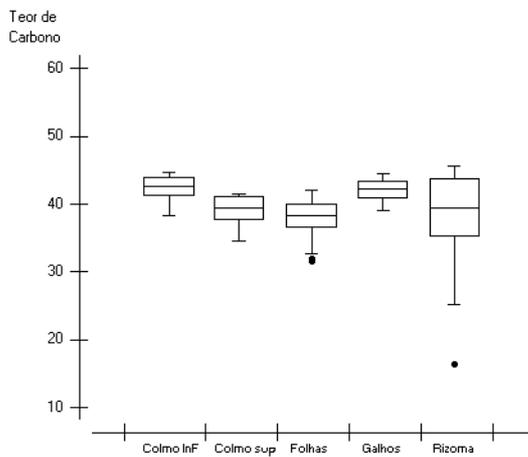


Figura 23 Variações das médias entre os compartimentos e o resultados do teste de Tukey realizados nos cinco compartimentos de biomassa de bambu.

1- Colmo Inferior 2- Colmo Superior 3 – Folhas 4 – Galhos 5- Rizoma

5.4 ANÁLISE NO INFRAVERMELHO

A fração de amostras que não foi submetida à combustão no analisador de carbono Leco-C114, foi analisada no espectrofotômetro da marca Bruker série Tensor. As 600 amostras foram avaliadas no espectrofotômetro no intervalo que corresponde ao do sinal infravermelho próximo no comprimento de 10000 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} ou de 1000 nm a 2500 nm , os dados dos espectros podem ser observados na Figura 24.

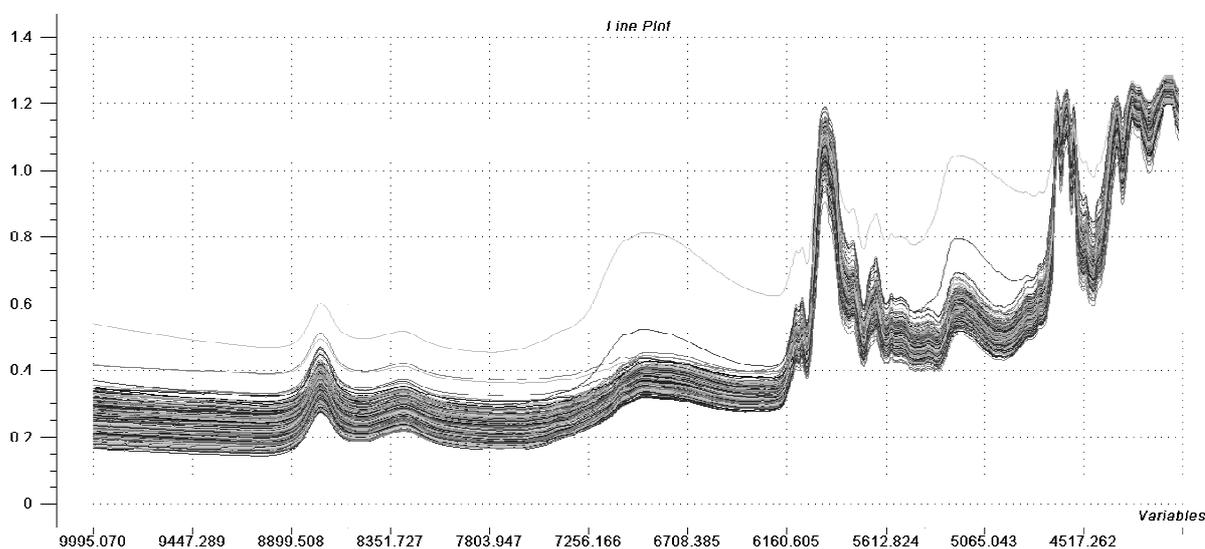


Figura 24: Espectros obtidos no infravermelho

É válido destacar que das 600 amostras analisadas no espectrofotômetro, somente três apresentavam características distintas, uma delas continha um fungo que havia se desenvolvido após a análise de carbono desenvolvida no equipamento Leco-C114 e outras duas continham um teor de umidade muito diferente das demais, fatos esses que foram identificados pelo equipamento e pela Figura 24, que demonstra os três únicos espectros que não seguem a tendência normal.

5.4.1 Análise de componentes principais

No conjunto global das amostras estudadas existem grupos de amostras que se sabe de início e pela análise de variância que possuem diferenças significativas entre si. Uma das principais diferenças reside nas diferentes espécies de bambu e pelo fato dos teores de carbono estarem em diferentes compartimentos e assumirem diferentes valores, assim também como diferenças na cor das amostras provocam alterações em nível espectral, este grupo de amostras estará por isso diferenciado das restantes. Conhecendo as características das amostras, foi realizada uma análise qualitativa com todos os espectros NIR obtidos, ou seja uma análise por componentes principais que permitisse concluir quais os agrupamentos existentes, podendo prosseguir para a construção de modelos PLS com cada grupo de amostras obtido de modo a construir modelos mais precisos para a previsão de resultados.

Avaliando a análise PCA de todas as amostras são visíveis grupos distintos em cada espécie, tal como apresentado nas Figura 25 a Figura 30.

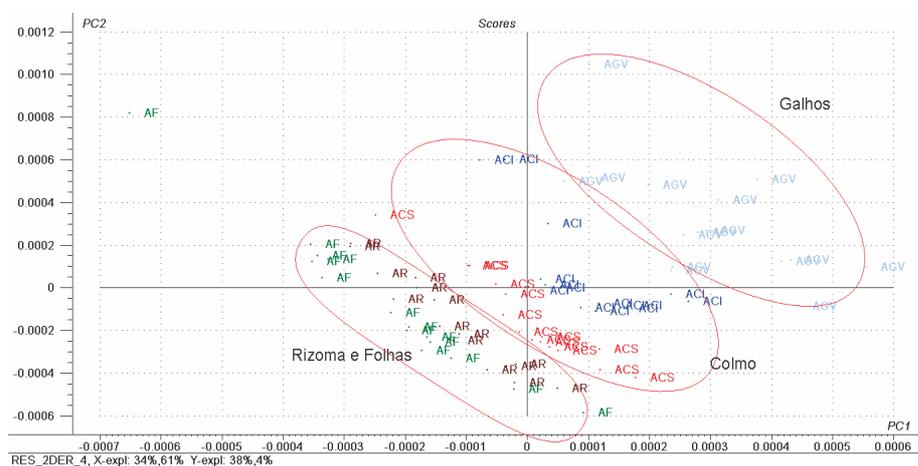


Figura 25: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie *Guadua angustifolia*

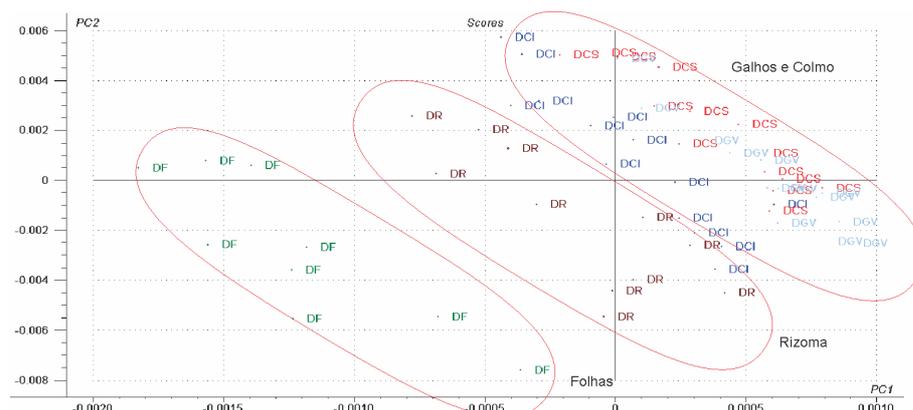


Figura 26: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie *Dendrocalamus giganteus*

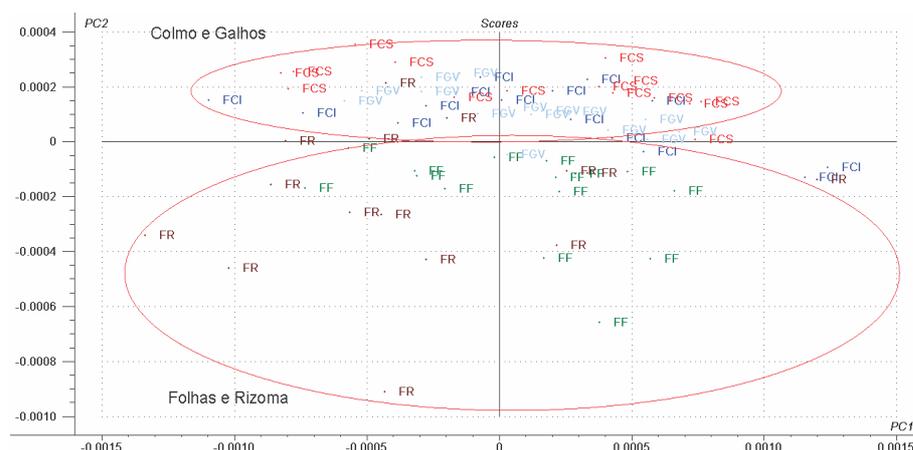


Figura 27: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie *Guadua chacoensis*

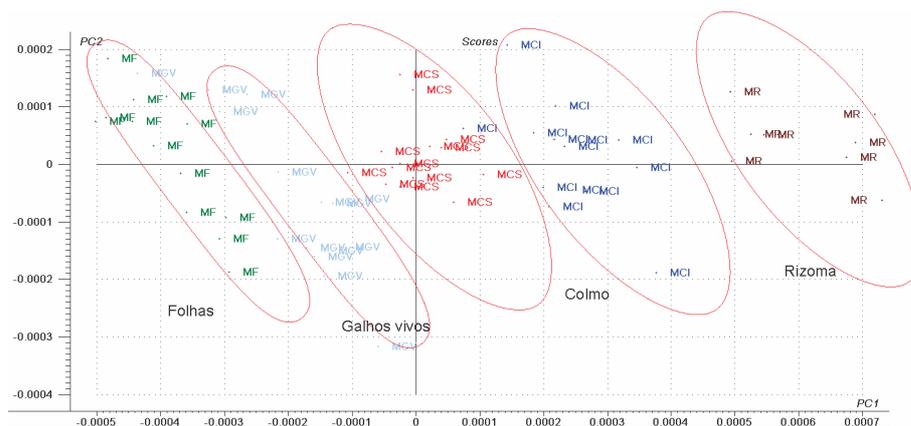


Figura 28: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie *Merostachys skvortzovii*

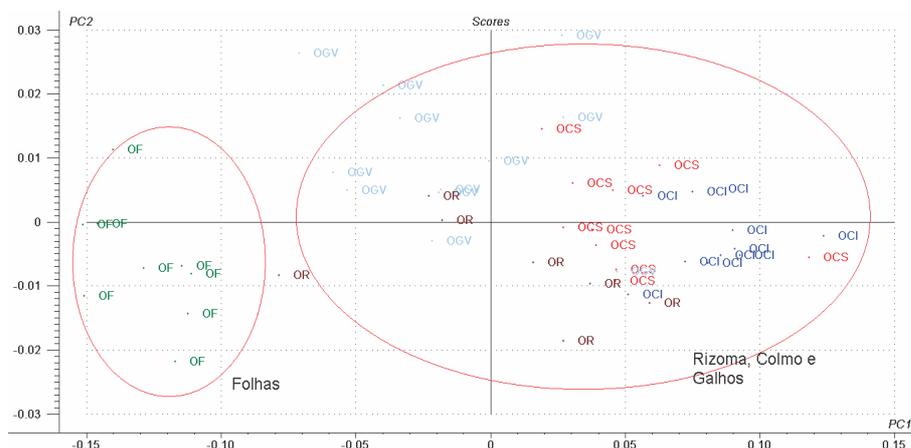


Figura 29: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie *Bambusa oldhamii*

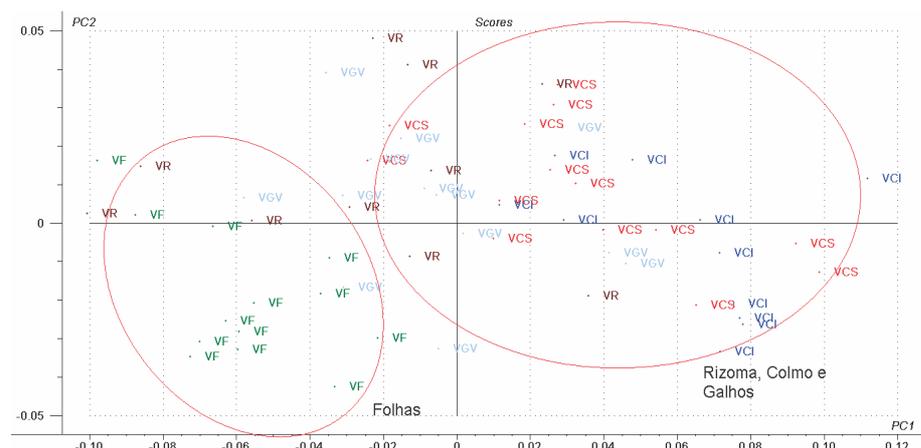


Figura 30: Diagrama dos compartimentos e a sua distinção no infravermelho para a espécie *Bambusa vulgaris*

Apesar de ser uma divisão feita somente para destacar as principais diferenças apontadas pelos componentes principais, nos modelos de predição foi possível realizar a previsão do teor de carbono levando em consideração todos os compartimentos e apresentando um baixo erro de validação.

Após a verificação dos componentes principais e a construção de um modelo global para a previsão dos teores de carbono, procedeu-se à separação dos grupos de espécies mencionados com características diferentes, sendo possível concluir as vantagens e desvantagens desta separação.

5.4.2 Análise de todo o conjunto de dados

Da análise de todos os espectros coletados na região do infravermelho próximo, resultaram diferentes modelos. A primeira etapa foi a avaliação de todos os dados e da possibilidade de construção de um modelo genérico em que pudessem ser avaliados os teores sem levar em consideração a espécie ou o compartimento que foi amostrado.

Foram realizadas quatro tipos de tratamentos nos espectros, dessa forma foram ajustados os modelos PLS para os dados sem tratamento algum, para os dados transformados por MSC, pela aplicação da segunda derivada utilizando o método de Norris-Gap, e pela combinação dos dois métodos.

Na Tabela 7 encontram-se os valores para os melhores quatro ajustes dos dados, levando em conta a quantidade de variáveis latentes, o erro de calibração (RMSEC) e de validação (RMSEP), juntamente com os coeficientes de correlação de erro e calibração.

Tabela 7: Resultado dos melhores ajustes para todo o conjunto de dados

TIPO	Var, Latentes	RMSEC	RMSEP	R ² cal,	R ² Val,
SEM PRÉ TRATAMENTO 4	12	0,9887	1,0778	0,7312	0,6836
SEM PRÉ TRATAMENTO 3	13	1,1682	1,2732	0,7531	0,7088
SEM PRÉ TRATAMENTO 2	13	1,1737	1,3120	0,751	0,6908
SEM PRÉ TRATAMENTO 1	18	1,4719	1,7800	0,7621	0,6545
MSC+2ª Derivada 4	8	0,8538	0,9356	0,8580	0,8307
MSC+2ª Derivada 3	7	1,4832	1,6267	0,7585	0,7114
MSC+2ª Derivada 2	9	1,4408	1,6094	0,7721	0,7175
MSC+2ª Derivada 1	9	1,3927	1,8722	0,7871	0,6178
MSC 4	12	0,9995	1,0802	0,7476	0,7074
MSC 3	15	0,9617	1,0916	0,7663	0,7012
MSC 2	16	1,5811	1,8294	0,7256	0,6350
MSC 1	17	1,4590	1,7474	0,7663	0,6670
2º DERIVADA 4*	9	0,8009	0,8877	0,8316	0,7945
2º DERIVADA 3	11	0,7689	0,9171	0,8447	0,7807
2º DERIVADA 2	8	1,4722	1,6488	0,762	0,7035
2º DERIVADA 1	10	1,3454	1,8862	0,8013	0,6120

*Melhor correlação.

O modelo que apresentou os melhores resultados foi o modelo tratado com o método da aplicação da segunda derivada baseada no método de Norris-Gap, sendo que o erro de validação interna foi de 0,8877 e o coeficiente de correlação de calibração foi de 0,8316.

Para todos os modelos ajustados foram eliminadas os valores considerados como *outliers* e reprocessados, a fim de se obter um modelo em que é possível que

se represente as variações de forma normais, para a construção desse modelos foram utilizados 300 valores escolhidos de forma sistemática e os valores que não foram utilizados no ajuste serviram para a validação externa do modelo. Na Figura 31 e Figura 32 é possível observar as correlações entre o modelo de calibração e na validação interna respectivamente.

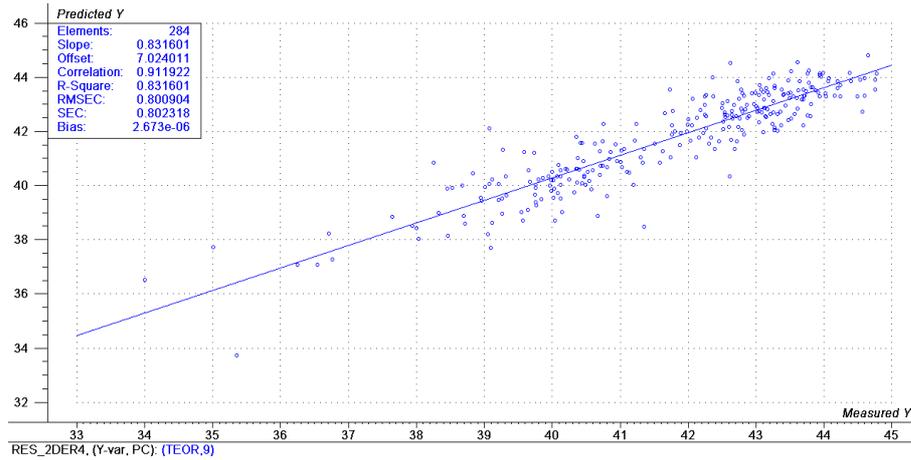


Figura 31: Resultados proveniente da calibração do melhor modelo

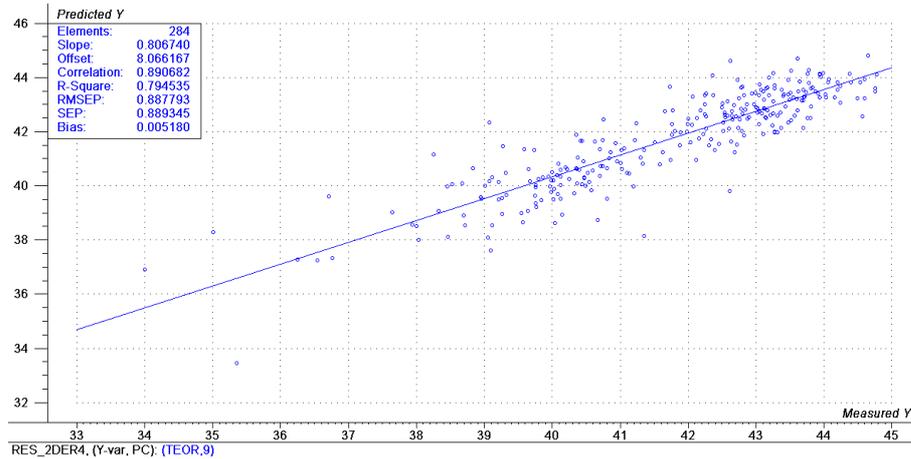


Figura 32: Resultados proveniente da validação externa do melhor modelo

Os resultados no momento da validação foram satisfatórios, pois com a validação externa obteve-se um erro padrão de validação de 1,2325 para uma média

geral de teores de carbono de 41,231 que em termos percentuais significa 2,99% de erro na predição dos teores de carbono. Na Figura 33 é possível visualizar a distribuição dos resíduos para a validação dos dados.

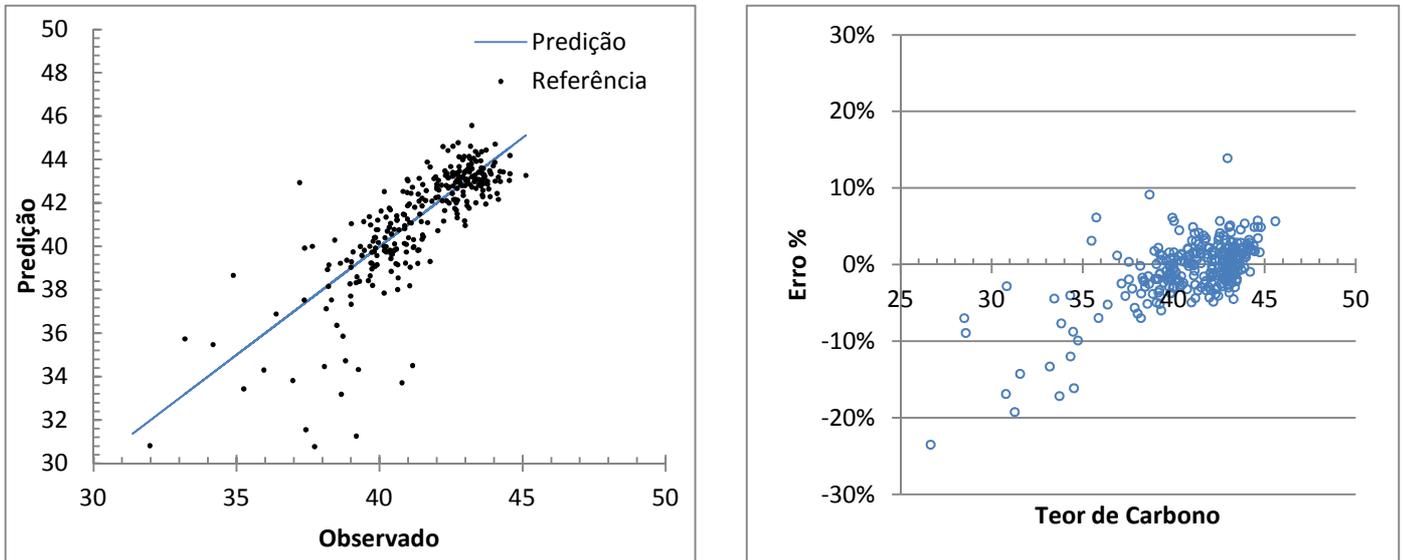


Figura 33: Validação e Dispersão do erro de estimativa na calibração externa.

5.4.3 Avaliação das espécies

Para tornar os modelos mais condizentes com as variações entre as espécies e para corresponder com a análise de variância que apontou diferenças significativas entre as espécies e seus compartimentos o modelo genérico foi subdividido em modelos para cada espécie, dessa forma, foram construídos modelos individuais que avaliassem os teores de carbono por espécie.

Para a construção de cada modelo foram feitas calibrações e validações, todas as calibrações utilizaram 75% dos dados de cada espécie e para a validação externa 25% dos dados não utilizados para a calibração. Procedeu-se da mesma forma para a exclusão de amostras anômalas ou *Outliers* na análise de todos as espécies.

A forma de análise baseou-se na mesma metodologia adotada para a análise do modelo genérico, dessa forma foram realizadas quatro tipos de

tratamentos dos espectros para que pudessem ser ajustados pelo método PLS. Os quatro tratamentos para os dados são: sem tratamento algum, ou seja, os dados não sofreram nenhuma modificação, transformação por MSC, transformação pela aplicação da segunda derivada utilizando o método de Norris-Gap, e pela combinação dos dois métodos.

5.4.3.1 *Guadua angustifolia*

As análises de todos os espectros coletados na região do infravermelho próximo para a espécie *Guadua angustifolia*, resultaram em diferentes modelos e resultados baseados nos tratamentos que foram aplicados aos dados, Na Tabela 8 encontram-se os valores para os melhores quatro ajustes dos dados, levando em conta a quantidade de variáveis latentes, o erro de calibração (RMSEC) e de validação (RMSEP), juntamente com os coeficientes de correlação de erro e calibração.

Tabela 8: Resultado dos melhores ajustes para a espécie *Guadua angustifolia*

Pré-tratamento empregado	VAR. Latentes	RMSEC	RMSEP	R²Cal.	R² Val.
SEM PRÉ TRATAMENTO 4	3	0,8420	0,9406	0,6855	0,6208
SEM PRÉ TRATAMENTO 3	5	0,7667	0,8977	0,7894	0,7223
SEM PRÉ TRATAMENTO 2	6	0,7621	0,8632	0,7919	0,7165
SEM PRÉ TRATAMENTO 1	9	0,7252	0,9524	0,8116	0,6807
MSC+2^a Derivada 4	6	0,7126	0,8502	0,787	0,7009
MSC+2^a Derivada 3	8	0,7253	0,9219	0,8116	0,7036
MSC+2^a Derivada 2	10	0,3311	0,6977	0,9607	0,8302
MSC+2^a Derivada 1	7	0,4873	1,0131	0,9179	0,6421
MSC 4	3	0,9408	1,0733	0,683	0,5983
MSC 3	4	0,7910	0,8822	0,7758	0,7266
MSC 2	5	0,7678	0,8865	0,7888	0,7266
MSC 1	7	0,7277	0,9118	0,8103	0,7100
2^o DERIVADA 4*	6	0,5842	0,6626	0,8777	0,8424
2^o DERIVADA 3	7	0,547	0,7513	0,8928	0,8064
2^o DERIVADA 2	9	0,3715	0,7858	0,9505	0,7838
2^o DERIVADA 1	6	0,8035	1,0751	0,7667	0,6011

*Melhor correlação.

O modelo que apresentou os melhores resultados foi o modelo tratado com o método da aplicação da segunda derivada baseada no método de Norris-Gap, sendo que o erro de validação interna foi de 0,6626 e o coeficiente de correlação de calibração foi de 0,8777.

Na Figura 34 e Figura 35 é possível observar as correlações entre o modelo de calibração e na validação interna respectivamente.

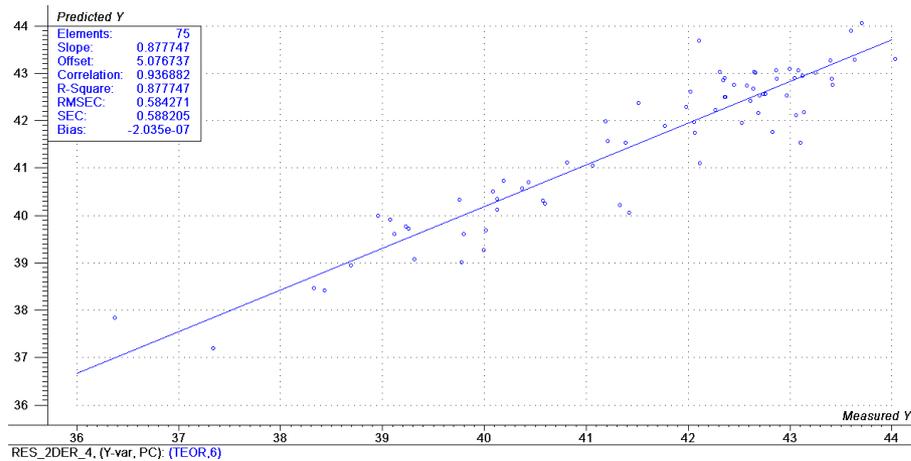


Figura 34: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie *Guadua angustifolia*

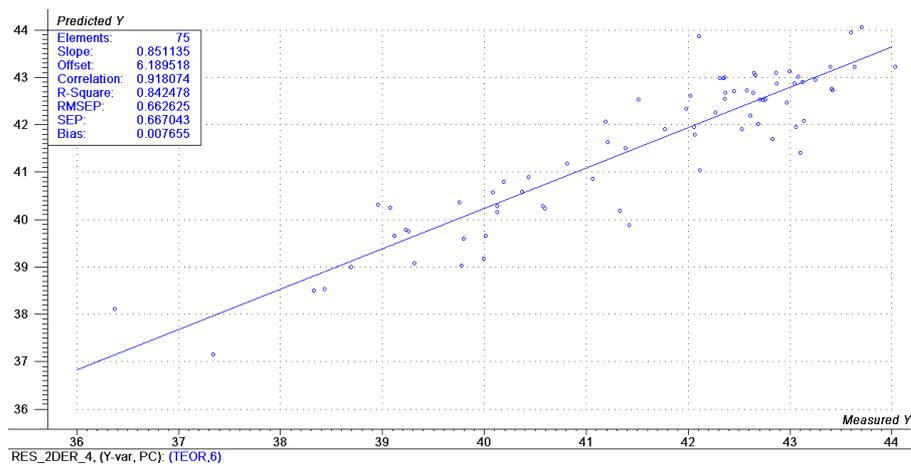


Figura 35: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie *Guadua angustifolia*

Os resultados comparados com modelo genérico no momento da validação foram superiores, pois com a validação externa obteve-se um erro padrão de validação de 0,9647 para uma média geral de teores de carbono da espécie *Guadua angustifolia* de 41,525 que em termos percentuais significa 2,32% de erro na predição dos teores de carbono. Na Figura 36 é possível observar a comparação entre os valores de predição para validação externa e também os valores de referência analisados em laboratório, e na Figura 37 a predição do melhor modelo e a distribuição dos resíduos para a validação dos dados, sendo possível notar que o modelo de predição captou as variações do sinal e na predição o erro percentual para a validação externa foi de no máximo de 6%.

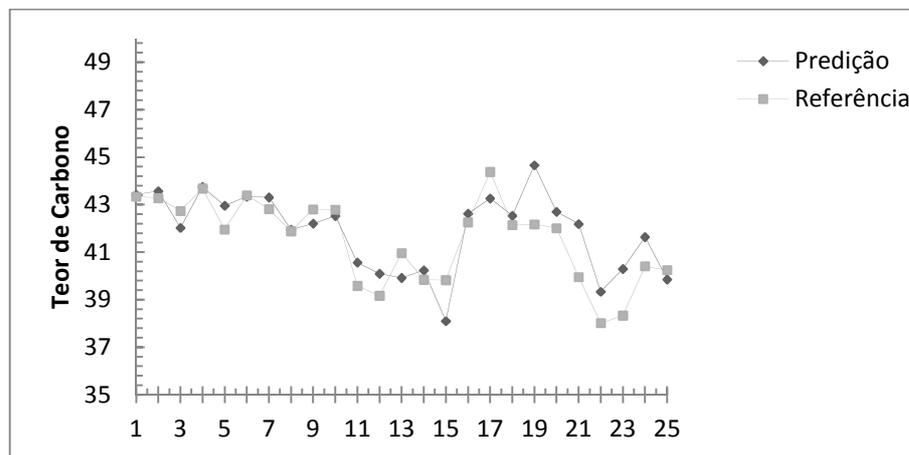


Figura 36: Comparação entre a predição e os valores de referência

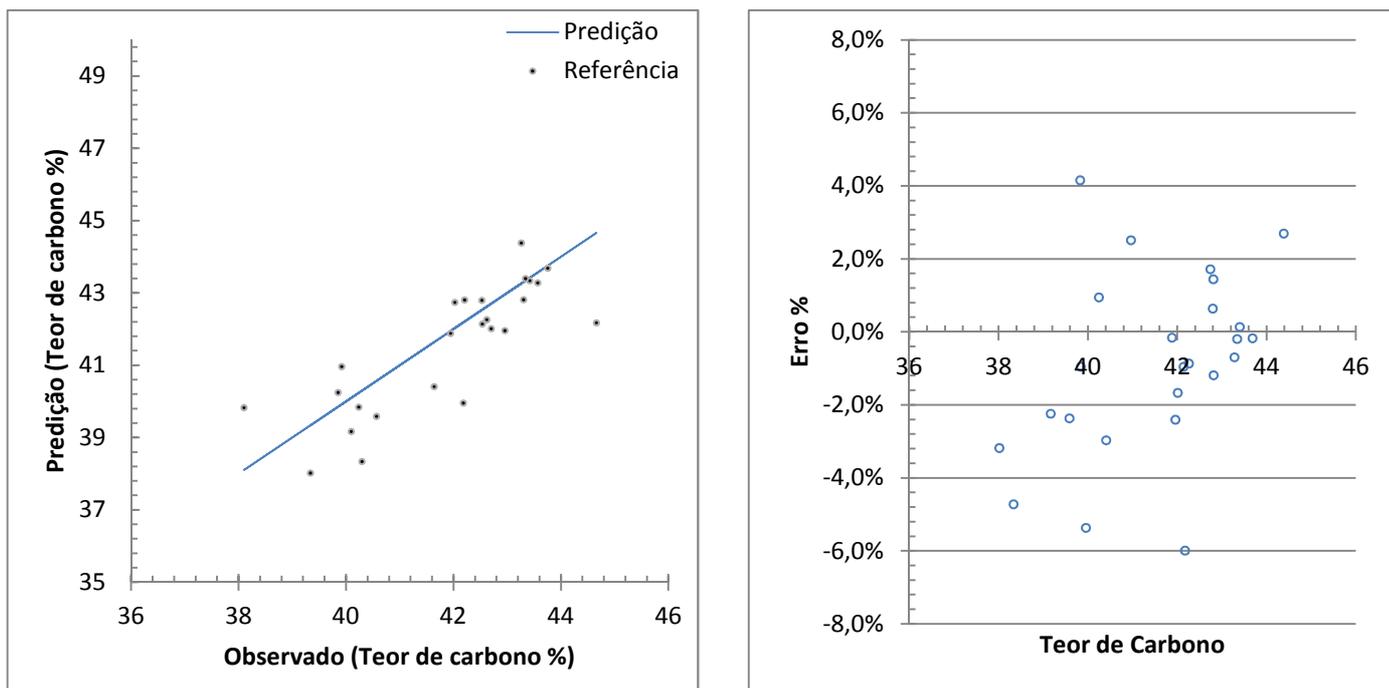


Figura 37: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie *Guadua angustifolia*

5.4.3.2 *Dendrocalamus giganteus*

A análise de todos os espectros coletados na região do infravermelho próximo para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, resultaram em diferentes modelos e resultados baseados nos diferentes tratamentos que foram aplicados aos dados, Na Tabela 9 encontram-se os valores para os melhores quatro ajustes dos dados, levando em conta a quantidade de variáveis latentes, o erro de calibração (RMSEC) e de validação (RMSEP), juntamente com os coeficientes de correlação de erro e calibração.

Tabela 9 Resultado dos melhores ajustes para a espécie *Dendrocalamus giganteus*

Pré-tratamento empregado	VAR. Latentes	RMSEC	RMSEP	R ² Cal.	R ² Val.
SEM PRÉ TRATAMENTO 4	4	0,6644	0,7299	0,7318	0,6855
SEM PRÉ TRATAMENTO 3	6	0,6178	0,7432	0,7681	0,6739
SEM PRÉ TRATAMENTO 2	6	1,0779	1,1277	0,6211	0,4821
SEM PRÉ TRATAMENTO 1	11	0,7579	1,1657	0,8126	0,5686
MSC+2^a Derivada 4*	5	0,487	0,6394	0,8311	0,7184
MSC+2^a Derivada 3	7	0,5772	0,7623	0,7124	0,6977
MSC+2^a Derivada 2	7	0,9456	1,1704	0,7084	0,5651
MSC+2^a Derivada 1	7	0,4040	1,2980	0,9467	0,4651
MSC 4	3	0,7226	0,7789	0,6701	0,6277
MSC 3	5	1,2054	1,3342	0,5262	0,4348
MSC 2	10	0,8516	1,1795	0,7635	0,5583
MSC 1	9	0,8659	1,2237	0,7551	0,5246
2^o Derivada 4	5	0,8256	1,0232	0,7799	0,6710
2^o Derivada 3	5	0,8928	1,0379	0,7426	0,6615
2^o Derivada 2	6	0,8094	1,0859	0,7863	0,6256
2^o Derivada 1	7	0,5579	1,3156	0,8984	0,4505

*Melhor correlação.

O método que apresentou os melhores resultados foi o modelo tratado com a aplicação do tratamento MSC e da segunda derivada baseada no método de Norris-Gap, sendo que o erro de validação interna foi de 0,6394 e o coeficiente de correlação de calibração foi de 0,8311.

Na Figura 38 e Figura 39 é possível observar as correlações entre o modelo de calibração e na validação interna respectivamente.

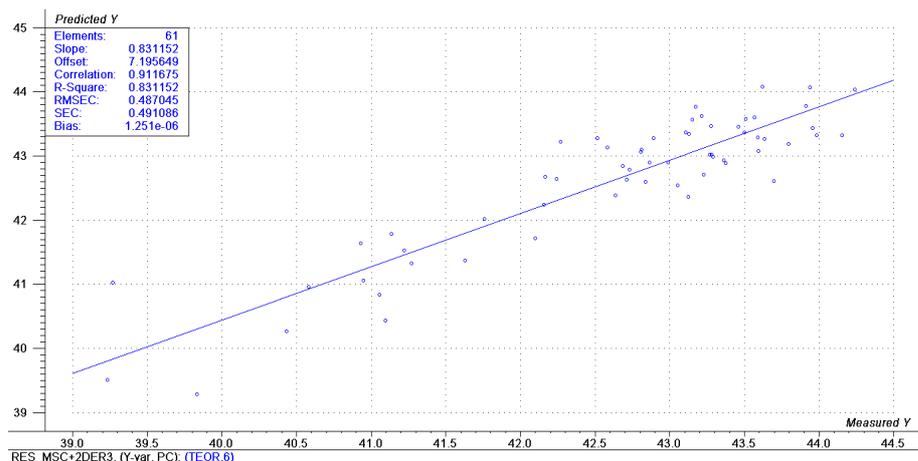


Figura 38: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie *Dendrocalamus giganteus*

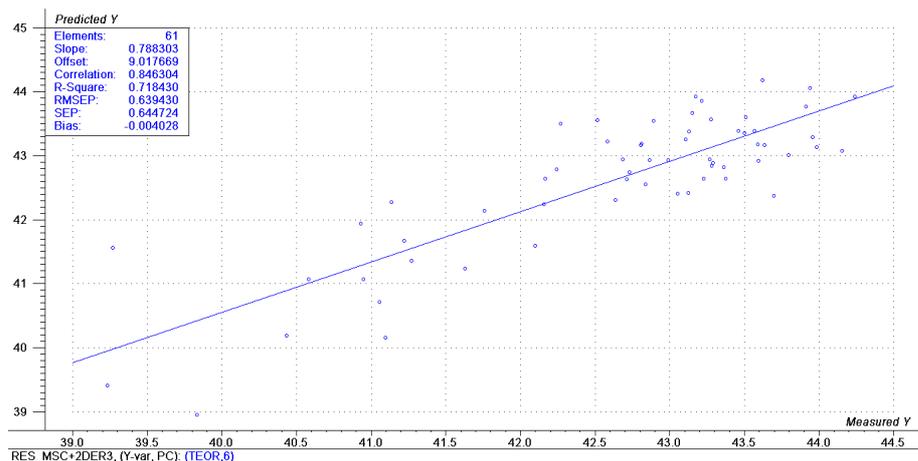


Figura 39: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie *Dendrocalamus giganteus*

Os resultados comparados com o modelo genérico no momento da validação foram superiores, pois com a validação externa obteve-se um erro padrão de validação de 0,6874 para uma média geral de teores de carbono da espécie *Dendrocalamus giganteus* de 42,2947 que em termos percentuais significa 1,63% de erro na predição dos teores de carbono. Na Figura 40 é possível observar a comparação entre os valores de predição para validação externa e também os valores de referência analisados em laboratório, e na Figura 41 a predição do melhor

modelo e a distribuição dos resíduos para a validação dos dados, sendo possível notar que o modelo de predição captou as variações do sinal e na predição o erro percentual para a validação externa foi de no máximo de 5,3%.

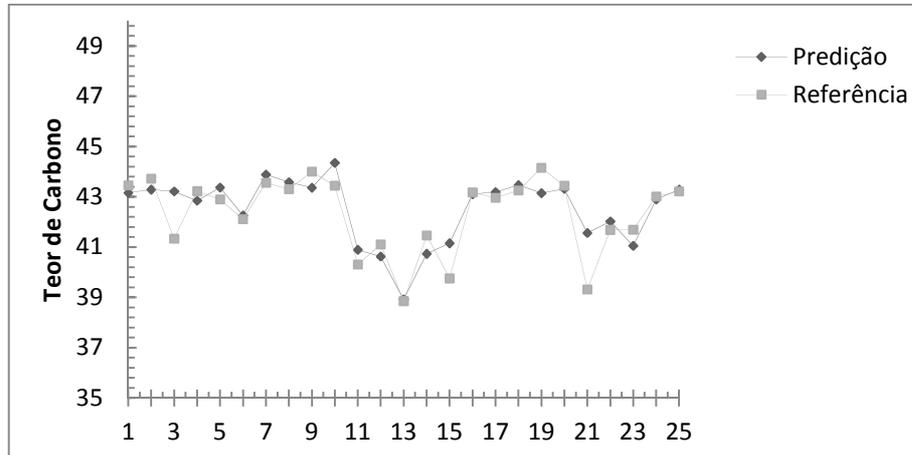


Figura 40: Comparação entre a predição e os valores de Referência

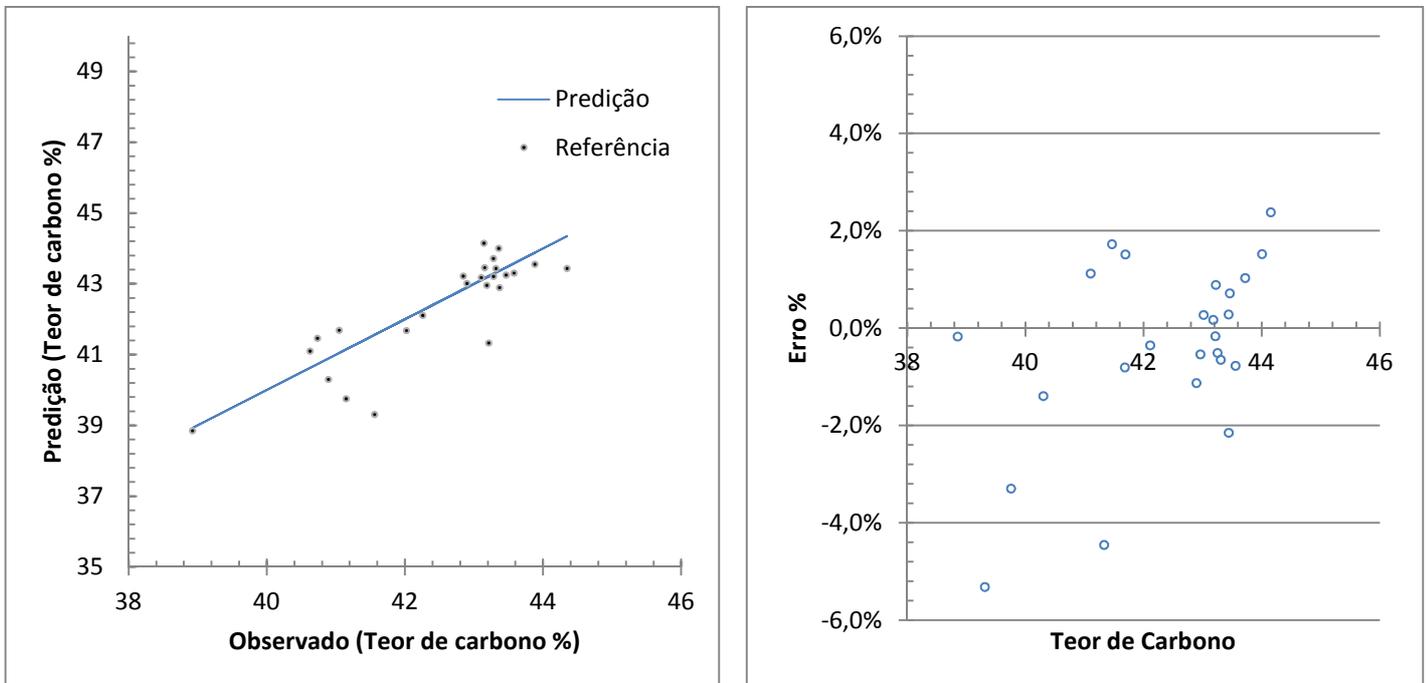


Figura 41: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie *Dendrocalamus giganteus*

5.4.3.3 *Guadua chacoensis*

As análises de todos os espectros coletados na região do infravermelho próximo para a espécie *Guadua chacoensis*, resultou em diferentes modelos e resultados baseados nos diferentes tratamentos que foram aplicados aos dados. Na Tabela 10 encontram-se os valores para os melhores quatro ajustes dos dados, levando em conta a quantidade de variáveis latentes, o erro de calibração (RMSEC) e de validação (RMSEP), juntamente com os coeficientes de correlação de erro e calibração.

Tabela 10: Resultado dos melhores ajustes para a espécie *Guadua chacoensis*

Pré-tratamento empregado	VAR. Latentes	RMSEC	RMSEP	R ² CAL.	R ² VAL.
SEM PRÉ TRATAMENTO 4	2	1,6018	1,7146	0,4727	0,4212
SEM PRÉ TRATAMENTO 3	3	1,5634	1,7127	0,4977	0,4225
SEM PRÉ TRATAMENTO 2	9	1,8540	2,5702	0,7573	0,5459
SEM PRÉ TRATAMENTO 1	12	1,4855	2,3746	0,8442	0,6124
MSC+2^a Derivada 4	6	2,170	2,6548	0,6653	0,5026
MSC+2^a Derivada 3	6	2,1729	2,6603	0,6666	0,5135
MSC+2^a Derivada 2	7	1,8005	2,4737	0,7711	0,5794
MSC+2^a Derivada 1	5	1,2364	2,7351	0,8920	0,4858
MSC 4	5	1,9366	2,4100	0,7352	0,6008
MSC 3	7	1,8706	2,4379	0,7529	0,5915
MSC 2	13	1,3387	2,1705	0,8734	0,6762
MSC 1	9	1,5081	2,2978	0,8394	0,6371
2^o Derivada 4 *	4	1,7503	2,1467	0,7837	0,6832
2^o Derivada 3	7	1,6156	2,1895	0,9047	0,6705
2^o Derivada 2	7	1,6670	2,2692	0,9038	0,6460
2^o Derivada 1	4	2,0468	2,6740	0,7042	0,5085

*Melhor correlação.

O modelo que apresentou os melhores resultados foi o modelo tratado com o a segunda derivada baseada no método de Norris-Gap, sendo que o erro de validação interna foi de 2,1467 e o coeficiente de correlação de calibração foi de 0,7852.

Na Figura 42 e Figura 43 é possível observar as correlações entre o modelo de calibração e na validação interna respectivamente.

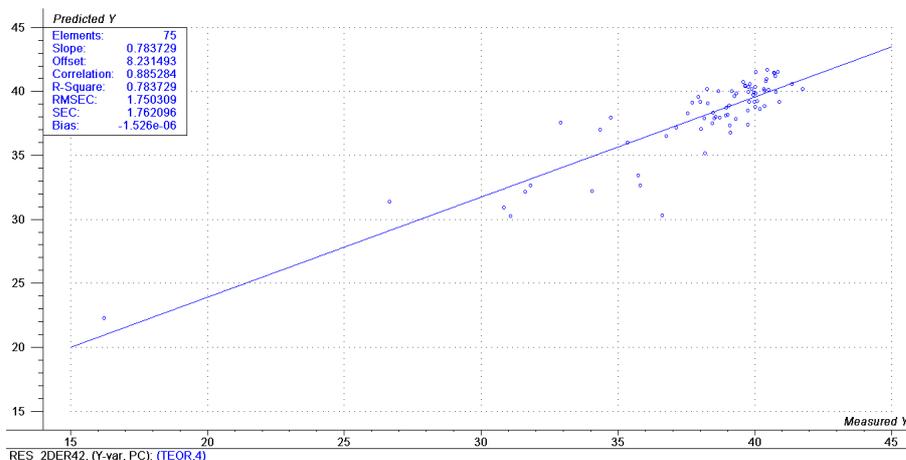


Figura 42: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie *Guadua chacoensis*

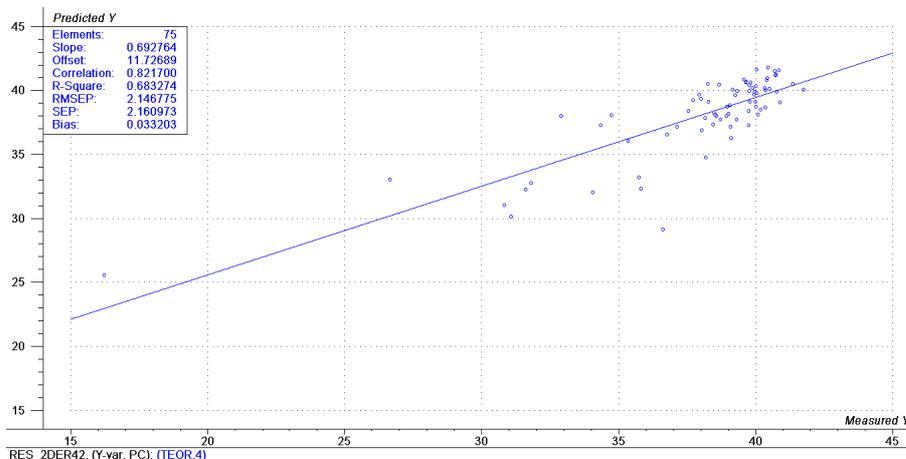


Figura 43: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie *Guadua chacoensis*

Os resultados comparados com modelo genérico no momento da validação foram superiores, pois com a validação externa obteve-se um erro padrão de validação de 0,9808 para uma média geral de teores de carbono da espécie *Guadua chacoensis* de 38,0401 que em termos percentuais significa 2,58% de erro na predição dos teores de carbono. Na Figura 44 é possível observar a comparação

entre os valores de predição para validação externa e também os valores de referência analisados em laboratório, e na Figura 45 a predição do melhor modelo e a distribuição dos resíduos para a validação dos dados, sendo possível notar que o modelo de predição captou as variações do sinal e na predição o erro percentual para a validação externa foi de no máximo de 5,7%.

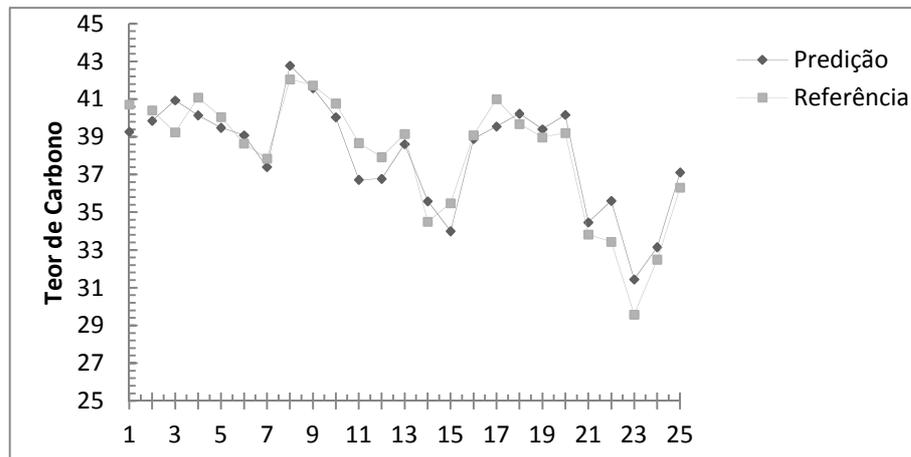


Figura 44: Comparação entre a predição e os valores de referência

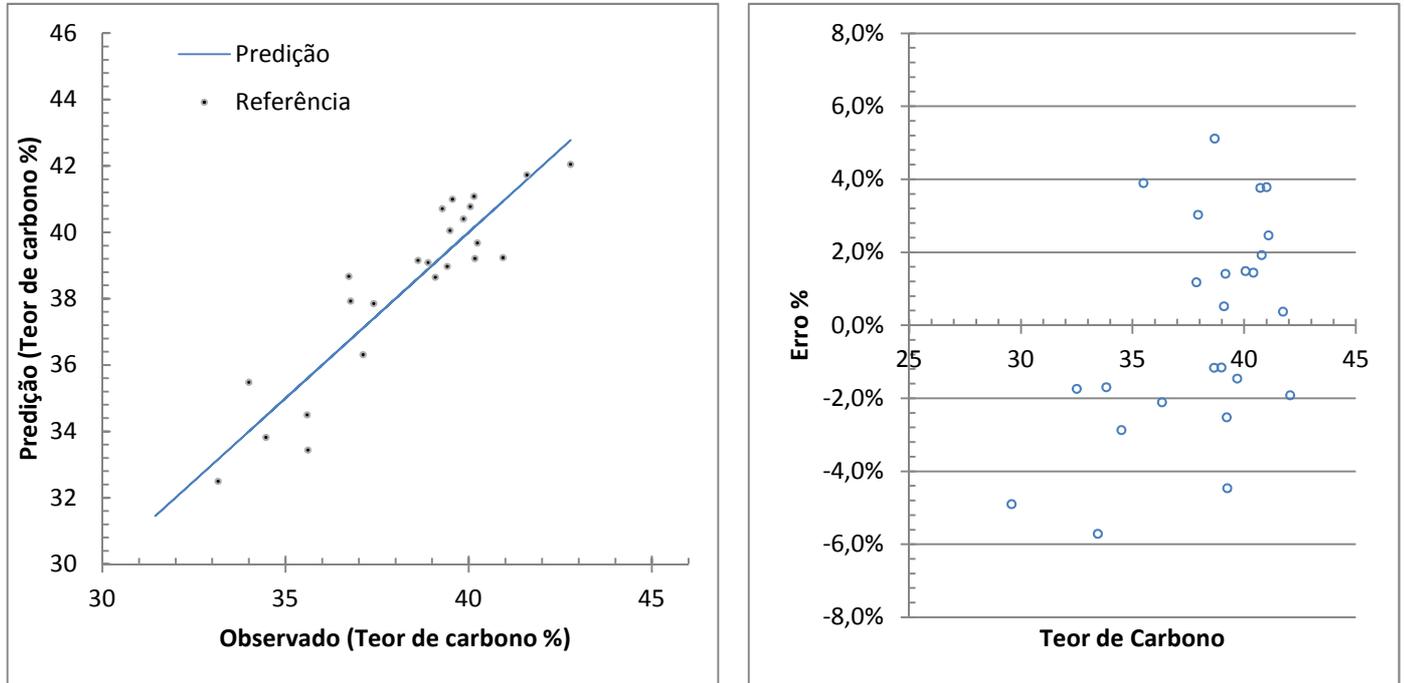


Figura 45: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie *Guadua chacoensis*.

5.4.3.4 *Merostachys skvortzovii*

A análise de todos os espectros coletados na região do infravermelho próximo para a espécie *Merostachys Skvortzovii* resultaram em diferentes modelos e resultados baseados nos diferentes tratamentos que foram aplicados aos dados, Na Tabela 11 encontram-se os valores para os melhores quatro ajustes dos dados, levando em conta a quantidade de variáveis latentes, o erro de calibração (RMSEC) e de validação (RMSEP), juntamente com os coeficientes de correlação de erro e calibração.

Tabela 11: Resultado dos melhores ajustes para a espécie *Merostachys Skvortzovii*

Pré-tratamento empregado	VAR. Latentes	RMSEC	RMSEP	R²Cal.	R² Val.
SEM PRÉ TRATAMENTO 4	6	0,7682	0,8901	0,6567	0,5537
SEM PRÉ TRATAMENTO 3	7	1,1198	1,343	0,6249	0,4754
SEM PRÉ TRATAMENTO 2	8	1,1115	1,3608	0,6304	0,4614
SEM PRÉ TRATAMENTO 1	13	0,8269	1,3914	0,7955	0,4369
MSC+2^a Derivada 4	5	0,7397	0,9129	0,7022	0,5603
MSC+2^a Derivada 3	4	0,8788	1,0796	0,7644	0,6541
MSC+2^a Derivada 2	7	0,6212	0,8991	0,8823	0,76
MSC+2^a Derivada 1	7	0,5018	1,3542	0,9231	0,4557
MSC 4	7	0,7255	0,8658	0,7250	0,6220
MSC 3	8	0,6758	0,8691	0,7614	0,6191
MSC 2	8	1,0826	1,338	0,6426	0,4687
MSC 1	11	0,8391	1,3465	0,7852	0,4619
2^o Derivada 4 *	9	0,6603	0,822	0,7654	0,6478
2^o Derivada 3	5	0,8571	1,0722	0,7759	0,6588
2^o Derivada 2	8	0,5555	0,8609	0,9059	0,7800
2^o Derivada 1	7	0,5448	1,3745	0,9094	0,4393

*Melhor correlação.

O modelo que apresentou os melhores resultados foi o tratado com a segunda derivada baseada no método de Norris-Gap, sendo que o erro de validação interna foi de 0,822 e o coeficiente de correlação de calibração foi de 0,7654.

Na Figura 46 e Figura 47 é possível observar as correlações entre o modelo de calibração e na validação interna respectivamente.

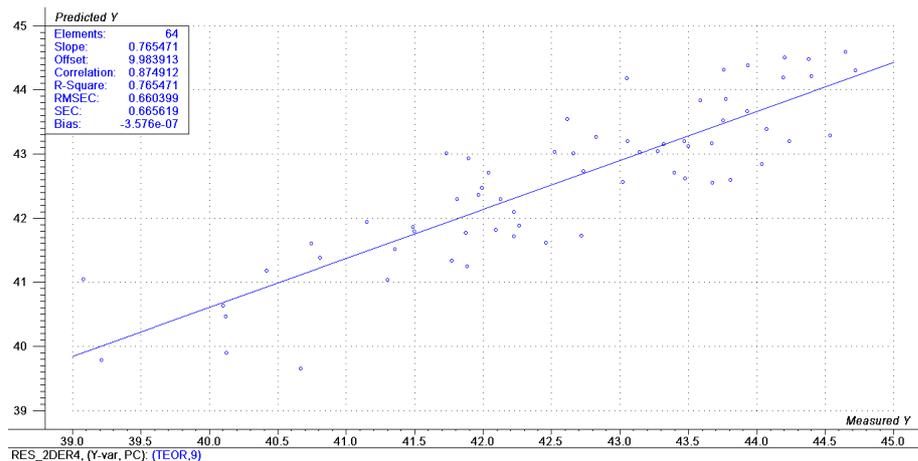


Figura 46: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie *Merostachys skvortzovii*

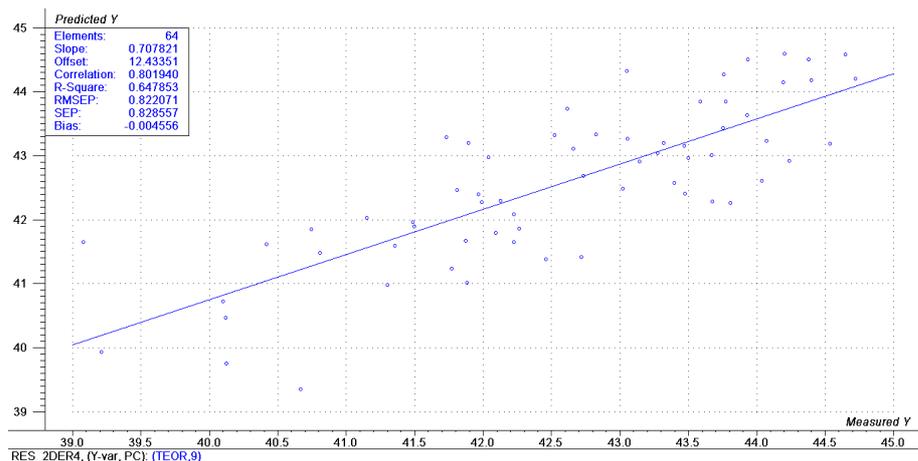


Figura 47: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie *Merostachys skvortzovii*

Os resultados comparados com modelo genérico no momento da validação foram superiores, pois com a validação externa obteve-se um erro padrão de validação de 0,9905 para uma média geral de teores de carbono da espécie *Merostachys Skvortzovii* de 42,3617 que em termos percentuais significa 2,34% de erro na predição dos teores de carbono. Na Figura 48 é possível observar a comparação entre os valores de predição para validação externa e também os valores de referência analisados em laboratório, e na Figura 49 a predição do melhor

modelo e a distribuição dos resíduos para a validação dos dados, sendo possível notar que o modelo de predição captou as variações do sinal e na predição o erro percentual para a validação externa foi de no máximo de 5,9%.

É válido destacar que a espécie *Merostachys skvortzovii* apresentou uma amostra na validação externa que continha a presença de um fungo que se desenvolveu após a análise de carbono, por esse motivo ela foi removida do conjunto de calibração externa. O fato desta amostra estar presente elevou consideravelmente o erro atribuído a validação externa, o que comprometia o melhor modelo com um erro de 3,2973 para uma média geral de teores de carbono da espécie *Merostachys skvortzovii* de 42,3617 que em termos percentuais significa 7,78% de erro na predição dos teores de carbono, por esse motivo o conjunto de validação externa contém apenas 24 elementos.

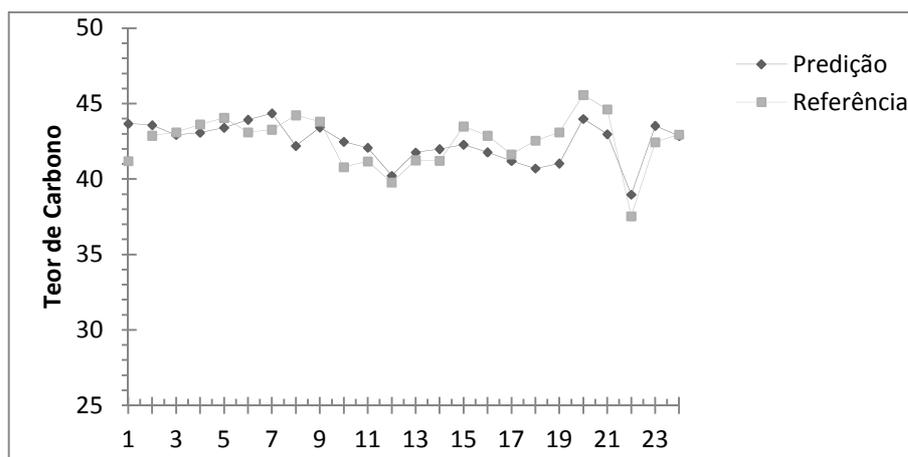


Figura 48: Comparação entre a predição e os valores de referência

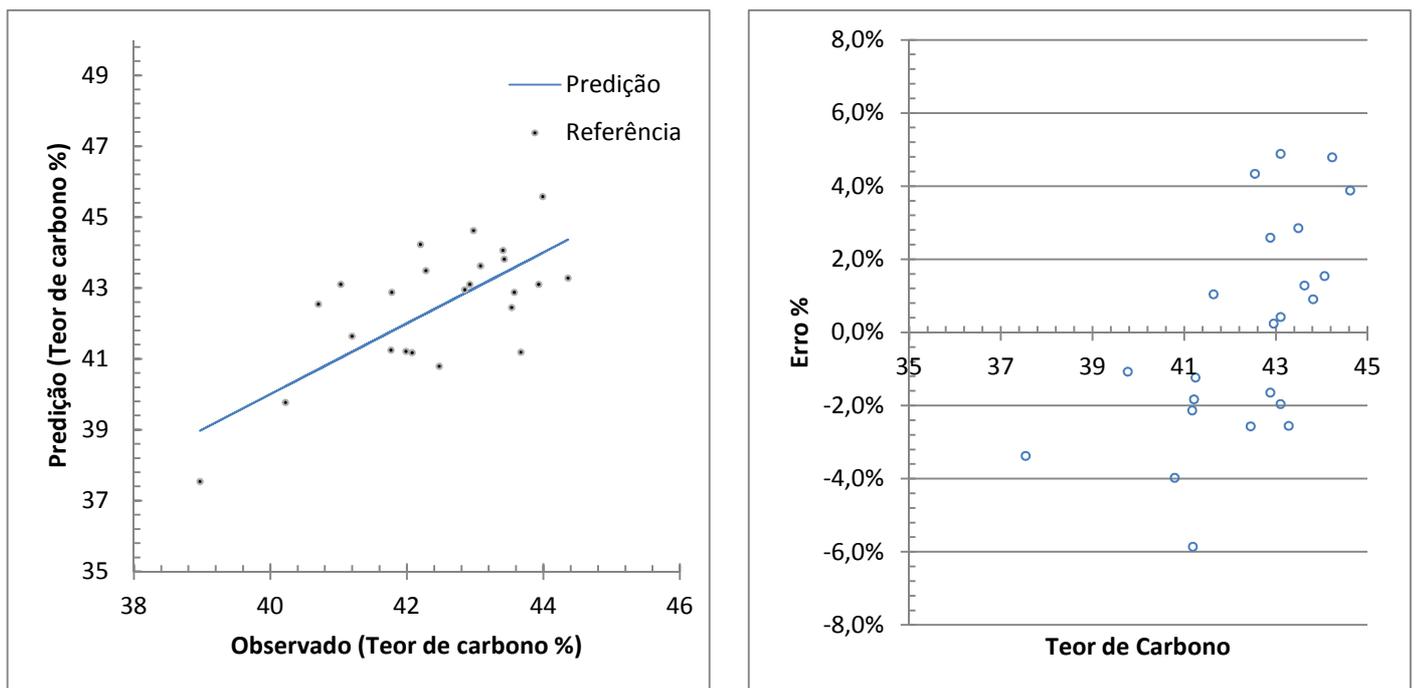


Figura 49: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie *Merostachys skvortzovii*.

5.4.3.5 *Bambusa oldhamii*

A análise de todos os espectros coletados na região do infravermelho próximo para a espécie *Bambusa oldhamii* resultaram em diferentes modelos e resultados baseados nos diferentes tratamentos que foram aplicados aos dados, Na Tabela 12 encontram-se os valores para os melhores quatro ajustes dos dados, levando em conta a quantidade de variáveis latentes, o erro de calibração (RMSEC) e de validação (RMSEP), juntamente com os coeficientes de correlação de erro e calibração.

Tabela 12: Resultado dos melhores ajustes para a espécie *Bambusa oldhamii*

Pré-tratamento empregado	VAR. Latentes	RMSEC	RMSEP	R²Cal.	R² Val.
SEM PRÉ TRATAMENTO 4	3	1,3925	1,5123	0,6565	0,6078
SEM PRÉ TRATAMENTO 3	7	1,1809	1,4358	0,7530	0,6465
SEM PRÉ TRATAMENTO 2	4	2,5983	2,8343	0,4681	0,3839
SEM PRÉ TRATAMENTO 1	5	2,517	2,8428	0,5008	0,3802
MSC+2^a Derivada 4	5	0,9739	1,1665	0,7855	0,7048
MSC+2^a Derivada 3	9	0,4765	1,1304	0,9486	0,7230
MSC+2^a Derivada 2	9	1,4661	2,3205	0,8306	0,5872
MSC+2^a Derivada 1	7	1,2794	2,9438	0,871	0,3353
MSC 4 *	8	0,8400	1,0872	0,8159	0,7041
MSC 3	6	1,2209	1,4630	0,7692	0,6800
MSC 2	3	2,6363	2,8488	0,4524	0,3775
MSC 1	4	2,5814	2,8726	0,4750	0,3671
2^o Derivada 4	5	1,0494	1,4331	0,8305	0,7028
2^o Derivada 3	8	0,5203	1,5050	0,9583	0,6722
2^o Derivada 2	7	2,0308	2,5981	0,6751	0,4823
2^o Derivada 1	6	1,9867	2,8914	0,6890	0,3588

*Melhor correlação.

O modelo que apresentou os melhores resultados foi o tratado com o método MSC, sendo que o erro de validação interna foi de 1,0872 e o coeficiente de correlação de calibração foi de 0,8159.

Na Figura 50 e Figura 51 é possível observar as correlações entre o modelo de calibração e na validação interna respectivamente.

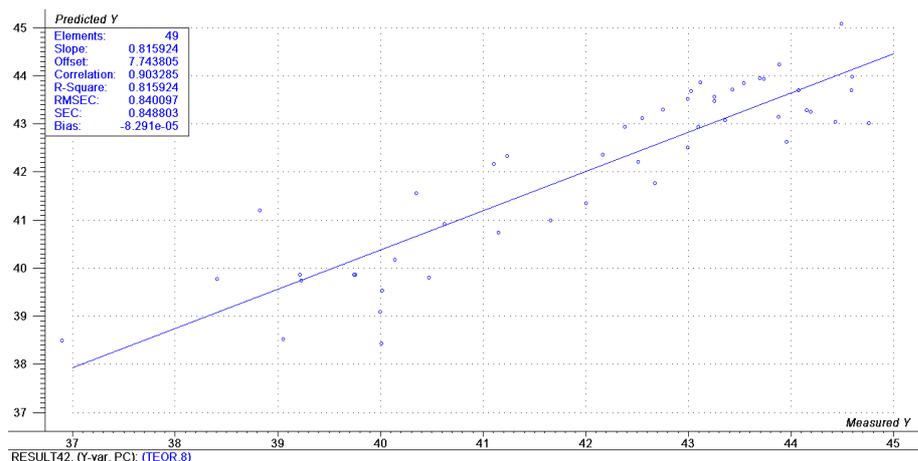


Figura 50: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie *Bambusa oldhamii*

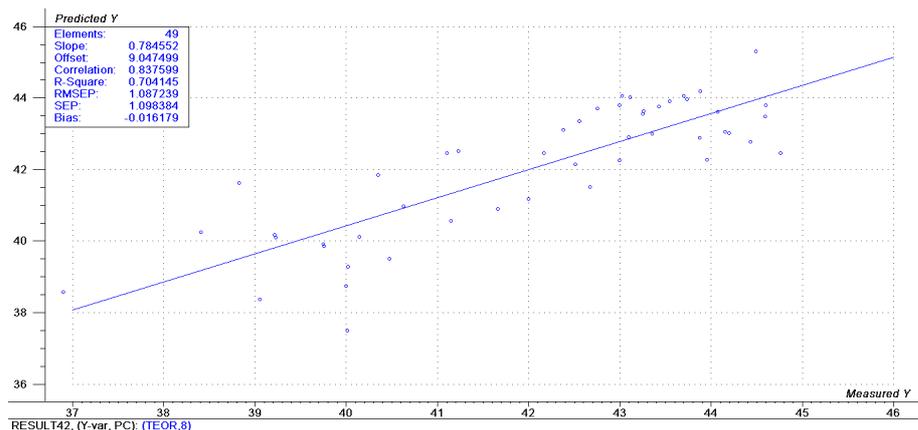


Figura 51: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie *Bambusa oldhamii*

Os resultados comparados com modelo genérico no momento da validação foram superiores, pois com a validação externa obteve-se um erro padrão de validação de 0,8909 para uma média geral de teores de carbono da espécie *Bambusa oldhamii* de 41,1316 que em termos percentuais significa 2,17% de erro na predição dos teores de carbono. Na Figura 52 é possível observar a comparação entre os valores de predição para validação externa e também os valores de referência analisados em laboratório, e na Figura 53 predição do melhor modelo e a

distribuição dos resíduos para a validação dos dados, sendo possível notar que o modelo de predição captou as variações do sinal e na predição o erro percentual para a validação externa foi de no máximo de 4,5%.

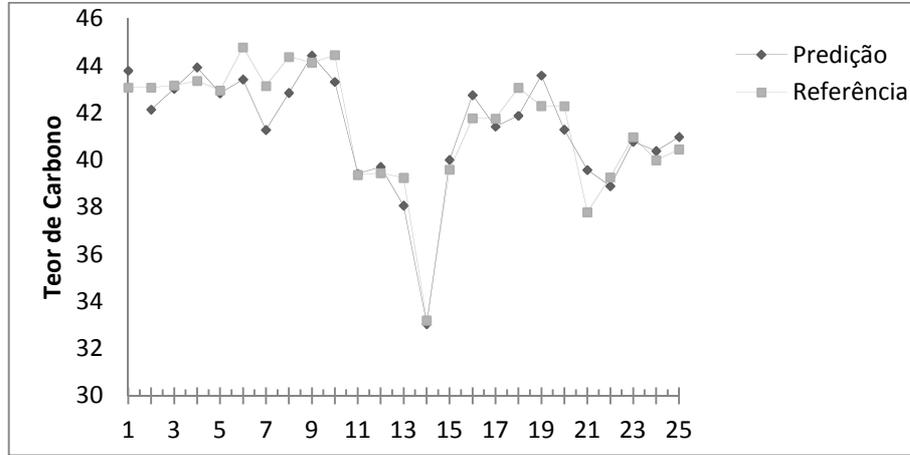


Figura 52: Comparação entre a predição e os valores de Referência

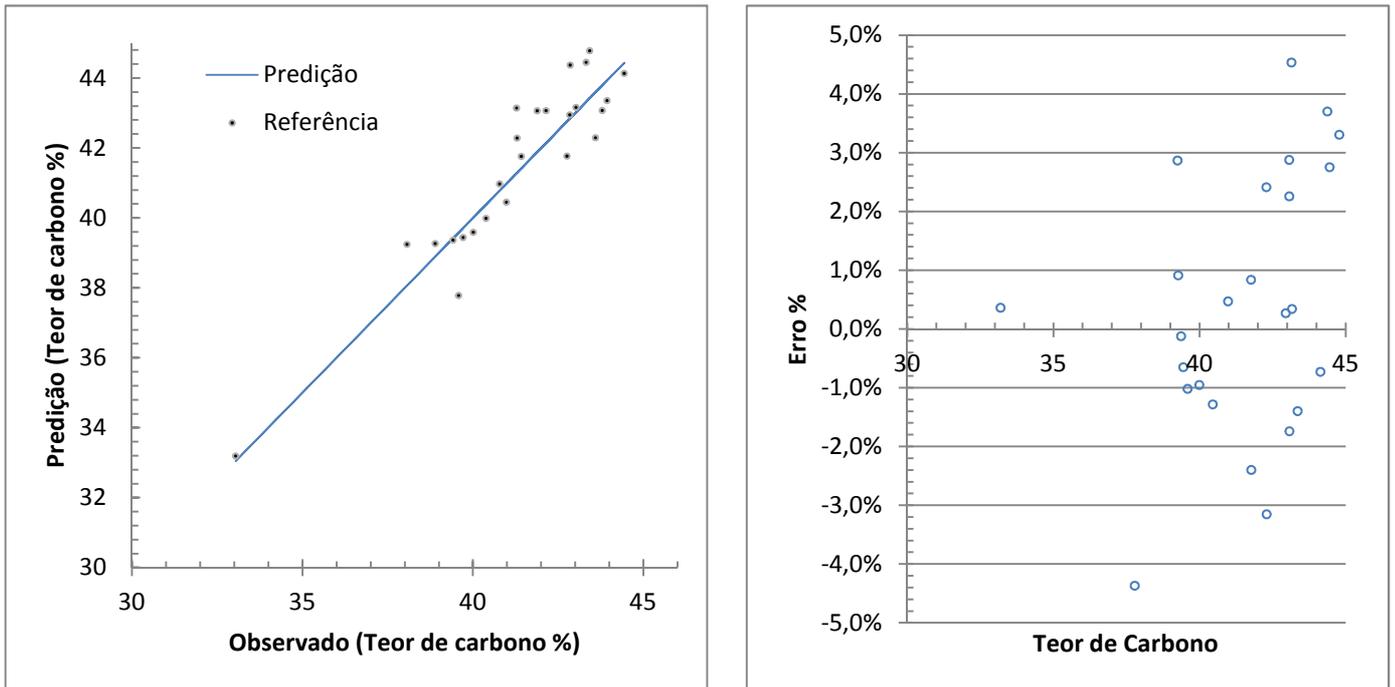


Figura 53: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie *Bambusa oldhamii*.

5.4.3.6 *Bambusa vulgaris*

A análise de todos os espectros coletados na região do infravermelho próximo para a espécie *Bambusa vulgaris* resultou em diferentes modelos e resultados baseados nos diferentes tratamentos que foram aplicados aos dados, Na Tabela 13 encontram-se os valores para os melhores quatro ajustes dos dados, levando em conta a quantidade de variáveis latentes, o erro de calibração (RMSEC) e de validação (RMSEP), juntamente com os coeficientes de correlação de erro e calibração.

Tabela 13: Resultado dos melhores ajustes para a espécie *Bambusa vulgaris*

Pré-tratamento empregado	VAR. Latentes	RMSEC	RMSEP	R²Cal.	R² Val.
SEM PRÉ TRATAMENTO 4	6	0,7068	0,8394	0,6992	0,5909
SEM PRÉ TRATAMENTO 3	6	0,6646	0,7818	0,7341	0,6451
SEM PRÉ TRATAMENTO 2	6	1,0865	1,2134	0,5762	0,4856
SEM PRÉ TRATAMENTO 1	6	1,1012	1,2778	0,5649	0,4294
MSC+2^a Derivada 4	4	0,7293	0,7899	0,6944	0,6515
MSC+2^a Derivada 3	5	0,6874	0,7966	0,7285	0,6455
MSC+2^a Derivada 2	3	1,1591	1,2257	0,5177	0,475
MSC+2^a Derivada 1	3	1,1524	1,2338	0,5233	0,4681
MSC 4	3	0,7001	0,7598	0,7361	0,6993
MSC 3*	5	0,6289	0,7282	0,7871	0,7239
MSC 2	5	1,0771	1,1935	0,5835	0,5023
MSC 1	11	0,7788	1,1884	0,7822	0,5065
2^o Derivada 4	4	0,6716	0,7513	0,7678	0,7173
2^o Derivada 3	6	0,5767	0,8129	0,8288	0,6691
2^o Derivada 2	3	0,8048	0,8703	0,6666	0,6207
2^o Derivada 1	3	1,1674	1,2432	0,5108	0,4600

*Melhor correlação.

O modelo que apresentou os melhores resultados foi o modelo tratado com o método MSC, sendo que o erro de validação interna foi de 0,7282 e o coeficiente de correlação de calibração foi de 0,7871.

Na Figura 54 e Figura 55 é possível observar as correlações entre o modelo de calibração e na validação interna respectivamente.

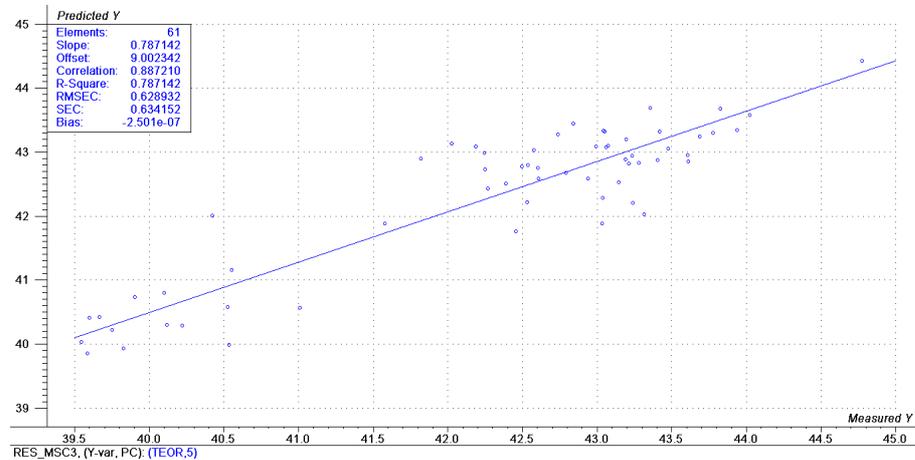


Figura 54: Resultado para a calibração do teor de carbono para a espécie *Bambusa vulgaris*

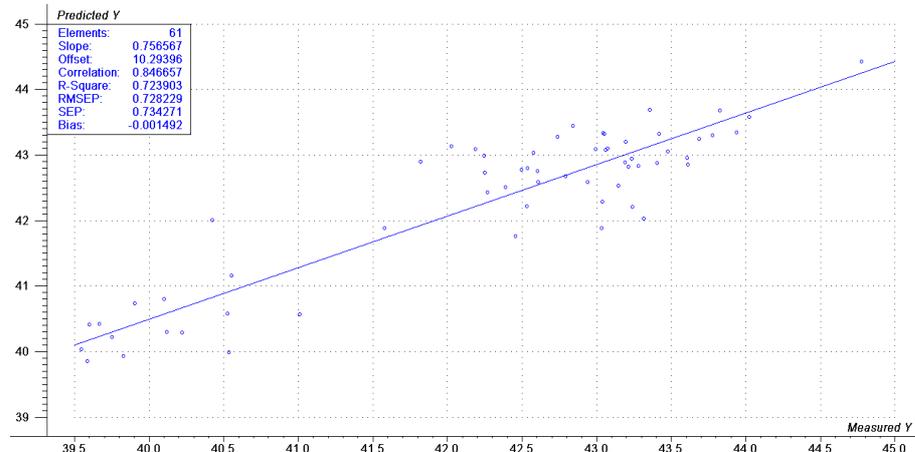


Figura 55: Resultado para a validação interna do teor de carbono para a espécie *Bambusa vulgaris*

Os resultados comparados com modelo genérico no momento da validação foram superiores, pois com a validação externa obteve-se um erro padrão de validação de 0,4229 para uma média geral de teores de carbono da espécie *Bambusa vulgaris* de 42,034 que em termos percentuais significa 1,01% de erro na predição dos teores de carbono. Na Figura 56 é possível observar a comparação

entre os valores de predição para validação externa e também os valores de referência analisados em laboratório, e na Figura 57 a predição do melhor modelo e a distribuição dos resíduos para a validação dos dados, sendo possível notar que o modelo de predição captou as variações do sinal e na predição o erro percentual para a validação externa foi de no máximo de 4,5%.

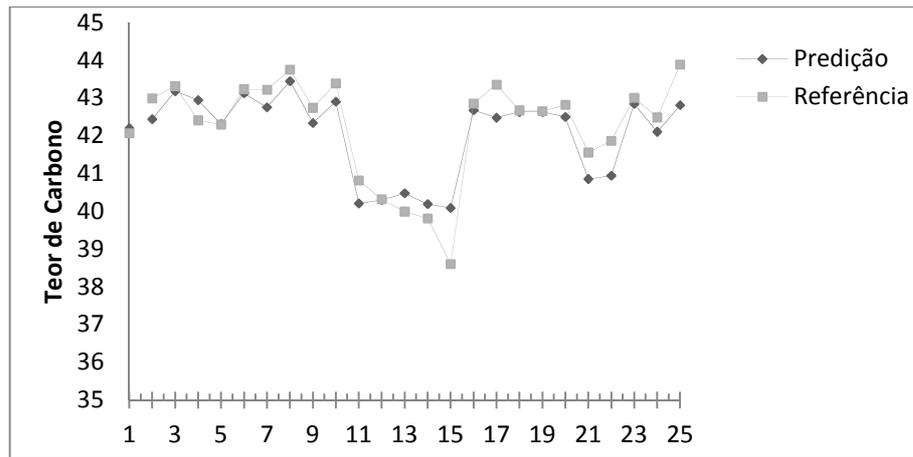


Figura 56: Comparação entre a predição e os valores de Referência

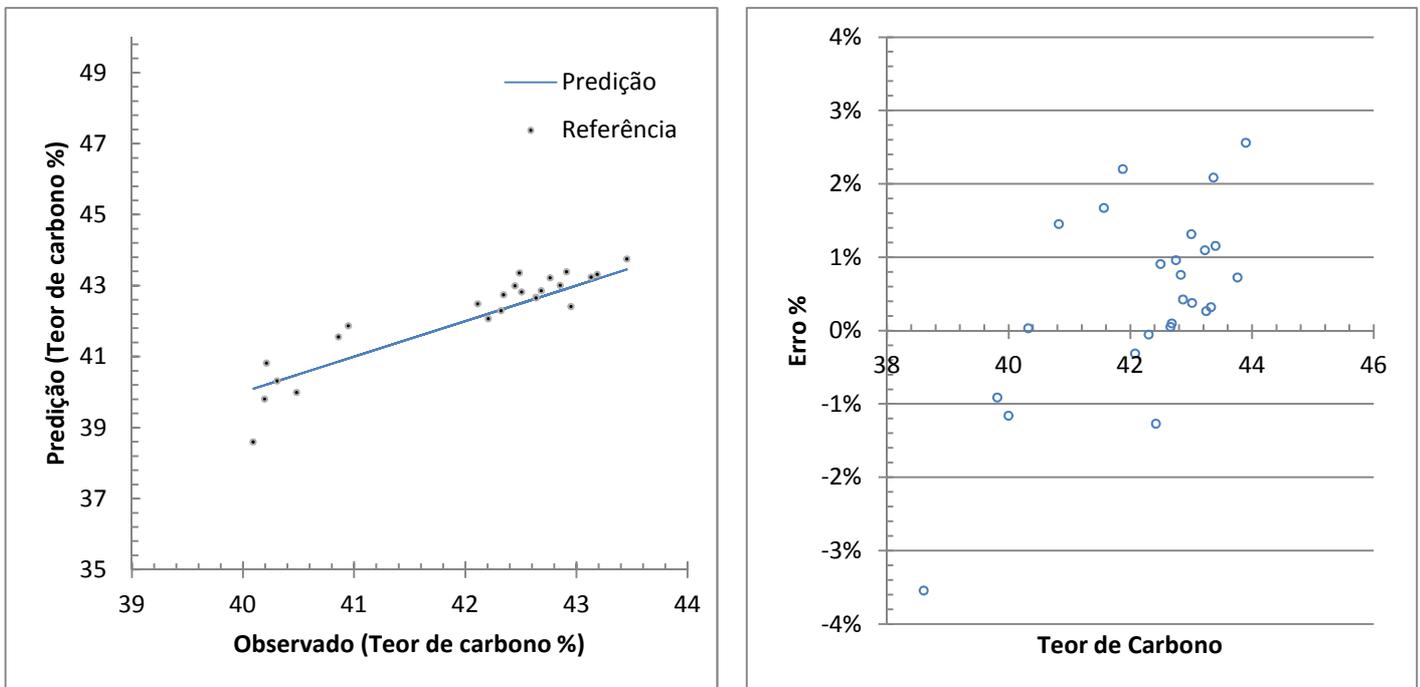


Figura 57: Predição e Erro em porcentagem na predição dos teores de carbono para a espécie *Bambusa vulgaris*

5.4.4 Resumo das análises realizadas no NIR

Na Tabela 14 encontra-se o resumo dos melhores modelos ajustados para os dados de teores de carbono das seis espécies estudadas nesse trabalho e também dos dados provenientes de todas as espécies. Vale destacar que as melhores características escolhidas para o melhor modelo foi o erro médio de validação, o coeficiente de correlação de calibração, o erro de calibração, o coeficiente de correlação da validação e número de variáveis latentes.

Tabela 14: Resumo dos melhores modelos ajustados

Espécie	Melhor pré-tratamento empregado	Var. Latentes	RMSEC	RMSEP	R²Cal.	R² Val.
<i>Guadua angustifolia</i>	2º Derivada 4	6	0,5842	0,6626	0,8777	0,8424
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	MSC+2º Derivada 3	5	0,487	0,6394	0,8311	0,7184
<i>Guadua chacoensis</i>	2º Derivada 4	4	1,7503	2,1467	0,7837	0,6832
<i>Merostachys skvortzovii</i>	2º Derivada 4	9	0,6603	0,8220	0,7654	0,6478
<i>Bambusa oldhamii</i>	MSC 4	8	0,8400	1,0872	0,8159	0,7041
<i>Bambusa Vulgaris</i>	MSC 3	5	0,6289	0,7282	0,7871	0,7239
Todas	2º Derivada 4	9	0,8009	0,8877	0,8316	0,7945

Considerando as variações e o alto nível de correlação entre as variáveis, os modelos podem ser considerados significantes, quando comparado a valores encontrados na literatura em que espécies de bambu foram avaliadas pelo método do infravermelho. Um exemplo é o trabalho realizado por Jiang *et al.* (2007), realizaram um estudo sobre a determinação do teor de holocelulose de Bambu (*Phyllostachys heterocycla* (Carr.) Mitford cv.pubescens), por espectroscopia de infravermelho próximo por reflectância ajustando 54 amostras, após as transformações através da segunda derivada foi obtido um coeficiente de correlação de 0,95 e um erro de validação de 0,76%. Gy *et al.* (2007a) determinaram o conteúdo de lignina klason, utilizando 54 amostras sem tratamento prévio dos espectros foi obtido um coeficiente de correlação de calibração e de validação de 0,99 e 0,97 respectivamente com um erro de calibração e validação de 0,36% e

0,59% respectivamente. Em outro trabalho Gy *et al.* (2007b) avaliaram o modelo para prever a holocelulose e a lignina em um espécie de bambu usando o método de regressão por quadrados parciais. O coeficiente de correlação do modelo de predição para teor de holocelulose e teor de lignina foi de 0,92 e 0,93, respectivamente. O erro padrão de previsão para teor de holocelulose e teor de lignina foi de 1,04% e 0,913% respectivamente. Os resultados da previsão foram semelhantes aos dos modelos de previsão desenvolvidos pelos métodos tradicionais.

6 CONCLUSÕES

Em termos gerais os teores apresentados pelas espécies estudadas, valendo destacar que a espécie *Merostachys skvortzovii* foi a que apresentou os maiores teores de carbono, sendo assim essas espécies possuem valores próximos as espécies florestais que normalmente são utilizadas em projetos para fixação de carbono. A substituição da matriz energética pela biomassa abre uma grande oportunidade para as espécies de bambu, o que estimula a compreensão sobre o desenvolvimento e como tratar as "florestas de bambu" de forma ao seu correto manejo e obtenção de diferentes produtos.

Avaliando os resultados obtidos é possível afirmar que com relação aos objetivos deste trabalho foi possível ajustar modelos que obtivessem uma boa correlação com os dados de carbono reais e os espectros coletados na região do infravermelho analisados através da calibração por método multivariado.

A ferramenta NIR apontou ser um caminho de rápida obtenção de dados com uma ótima correlação e baixos erros associados à predição. A possibilidade de realização da coleta de dados com o baixo custo da análise contribuem para um aumento do seu uso, mas ainda é necessário a calibração de amostras para que a predição dos valores seja condizente com a realidade, fato que reforça a importância da uniformidade das amostras e da sua representatividade contemplando as características durante todo o momento das análises e na identificação de amostras anômalas. O principal exemplo foi a identificação de amostras com fungos e as com teores de umidade diferente das outras amostras, pois obtiveram um contraste bem marcante comparado com a variação normal de cada espectro de cada amostra, por esse fato a uniformização da amostra com relação ao tamanho das partículas, procedência, teor de umidade, são fatores primordiais para obtenção de resultados satisfatórios. Dessa forma essas características explicam em muito o crescimento e uso do equipamento e das metodologias para avaliação de dados.

A aplicação dos pré-tratamentos aos dados foi de extrema eficácia, pois diminuíram as interferências causadas pela luz e ressaltaram as diferenças contribuindo para a obtenção de melhores ajustes.

A separação entre espécies diminuiu consideravelmente o erro em relação ao modelo geral, pois a eliminação da variação entre espécies proporcionou modelos que representassem as características de cada espécie com um erro de previsão baixo.

Dessa forma os modelos gerados tanto para as espécies quanto o modelo generalizado obtiveram bons ajustes, pois os testes de precisão e acurácia dos modelos indicaram bons resultados considerando-se a precisão dos métodos convencionais de análise, servindo assim como possível fonte de predição dos teores de carbono para outras espécies de bambu, quando a análise convencional não for possível.

7 RECOMENDAÇÕES

Como recomendações para os próximos trabalhos que tratem deste tema, as seguintes sugestões podem ser utilizadas:

- a. coleta em campo dos espectros infravermelhos para a validação da modelagem apresentada neste trabalho;
- b. criação de um banco de dados para comparação entre espécies, utilizando somente o espectro infravermelho;
- c. associar outras variáveis, além do teor de carbono, para melhores estimativas e comparações;

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, C.P. **Estimativa de algumas propriedades da Madeira de *Eucalyptus urophylla* por espectrometria**. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

ALMEIDA E. M.; CAMPELO J. H.; FINGER Z. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L. F.) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 559-568, out/dez., 2010.

ALMEIDA, F. M. N. **Espectroscopia de Infravermelho Próximo com Transformada de Fourier (FT-NIR) na Caracterização de Farinhas para Alimentação Pueril**. Dissertação. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. Novembro, 2009.

BAILLERES, H.; DAVRIEUX, F.; HAM-PICHAVANT, F. Near infrared analysis as a tool for rapid screening of some major wood characteristics in a eucalyptus breeding program. **Forestry Science**, v.59, p.479-490, 2002.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, Jan/Jun 2003. p. 59-68.

BAMBU BRASILEIRO. **Vendas de Mudanças de Bambu**. Disponível em: <http://www.bambubrasileiro.com/mudas_marcopereira.html>. Acesso em 16 de abril de 2010.

BARBOSA, A. C., DINIZ H. N. Controle de Processo Erosivo Provocado Por Rompimento de Adutora na Serra da Mantiqueira, SP, Brasil, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, nº 4, p. 691-702, 2010.

BARCELLOS, D. C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. (Dissertação) Universidade Federal de Viçosa, 2007.

BARROS, A.C.A. **Estudos sobre o potencial do bambu *Guadua angustifolia* Kunz. para a fitorremediação dos metais pesados Zinco e Cádmio**. Dissertação (Mestrado em Química e Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas - Centro de Ciências Exatas, Instituto de Química, Maceió, 2007.

BASSI, A. B. M. S. **Conceitos Fundamentais em Espectroscopia**, disponível em:<http://chemkeys.com/br/category/todos-os-artigos/espectroscopia> (acesso 16/09/2010).

BERALDO, A. L.; FREIRE, W. J; **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. São Paulo. Editora Unicamp, 2003.

BERALDO, A.L.; AZZINI, A. **Bambu: características e aplicações**. Guaíba: **Agropecuária**, 2004.

BRERETON, R. C. **Applied Chemometrics for Scientists**. John Wiley & Sons, Inglaterra, 2007.

CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; BARICHELLO, L.R.; VOGEL H. L.M. Determinação de Carbono Orgânico em Povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild. plantados no Rio Grande do Sul. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.2, p. 47-54, abr./jun. 2003.

CARDOSO JR., R. **Arquitetura com Bambu**. Dissertação de Mestrado defendida para a obtenção de título de Mestre em Arquitetura, UFRS. 2000.

CARNEIRO, M. E. **Classificação de lâminas de madeira de pinus spp por espectroscopia óptica**. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Dissertação, Curitiba, 2008.

CASAGRANDE, E.F; UMEZAWA H. A. Projeto Bambu- sequestro de carbono, tecnologia social e sustentabilidade (IDS, Cefet, Ecoplan, UFPR) *in*: Sanquetta *et alli*. Fixação de carbono: Atualidades, Projetos e pesquisas. Curitiba, Brasil, 2004.

CHEN, X.; ZHANG, X.; ZHANG, Y.; BOOTH, T.; HE, X.; Changes of carbon stocks in bamboo stands in China during 100 years; **Forest Ecology and Management** n.º 258, p 1489–1496. 2009.

CHUNG, Z. F. **The production and utilization of bamboo forest in China**. Hangzhou: CBRC-China National Bamboo Research Center, Hangzhou, 2003.

CONZEN, J. P.. Multivariate Calibration. A Practical Guide for the Method Development in the Analytical Chemistry. **Bruker Optick GmbH. 2nd edition**. 2006

CORDEIRO, G. A. **Desenvolvimento de metodologias espectroscópicas multivariadas para quantificação de fármacos em formas farmacêuticas**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Centro de Ciências Agrárias- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

COSTA, P. F.. **Monitoring pharmaceutical processes with near-infrared spectroscopy**. IST. 2000

CUSTODIO, R.; KUBOTA, L. T.; ANDRADE, J. C. **Lei dos processos de absorção da radiação**, 2000, disponível em: <http://chemkeys.com/br/category/todos-os-artigos/espectroscopia> (acesso 16/09/2010).

DALLAGNOL, F. S, MOGNON, F, SANQUETTA, C. R, CORTE, A. P. D. Teores de carbono em cinco espécies florestais. *In*: VI Simpósio Brasileiro de Pós-graduação em Ciências Florestais e II Simpósio de Ciência e Tecnologia da Madeira do RJ, 2010, Rio de Janeiro. Anais do VI Simpósio Brasileiro de Pós-graduação em Ciências Florestais, 2010.

DIVERS, Steve; **Bamboo: A multipurpose agroforestry crop** – ATTRA: Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, 2001, disponível em www.attra.ncat.org acesso em 21/03/2011.

EMBAYE K.; WEIH M.; LEDIN S.; CHRISTERSSON L. Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implications for management. **Forest Ecology and Management**, n.204, p.159–169, 2005.

EMBRAPA, **Métodos de Preparo de Amostras e de Determinação de Carbono em Solos Tropicais**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Circular técnica nº 19, Rio de Janeiro, Dezembro, 2003.

EMBRAPA. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília, DF, 2000.

FAO **Global forest resources assessment 2000: main report**. FAO: v. 140, 2001. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/004/y1997e/y1997e00.htm>>. Acesso em: 18/03/2011.

FAO, **Global forest resources assessment 2010**, 2010. Disponível em : <<http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/>>. Acesso em: 07/04/2011.

FEARNSIDE, P. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 80, p. 21-34, 1996.

FERREIRA, M. M. C.; ANTUNES, A. M.; MELGO, M. S.; VOLPE, P. L. O., Quimiometria I: calibração multivariada, um tutorial. **Química Nova**. São Paulo, vol. 22, n.5, p.724-731, 1999.

FIALHO, E G; TONHOLO, J S, A. L P. Desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu: Uma oportunidade para empreender. **In: SEMINÁRIO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA**, 2005, Salvador. Anais do XI Seminário Latinoiberoamericano de Gestión Tecnológica. Salvador: ALTEC, 2005.

FILGUEIRAS, T. S. e PEIXOTO, A. L.; **FLORA E VEGETAÇÃO DO BRASIL NA CARTA DE CAMINHA. Acta bot. bras.** 16(3): 263-272, 2002

FILGUEIRAS, T.S.; GONÇALVES, A. P. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil. *Bamboo Science and Culture*; **The journal of the American Bamboo Society**. 18(1):7-18, 2004.

FILGUEIRAS, T.S.; GONÇALVES, A. P. Tupi-Gurani fonte de informações sobre Bambus nativos do Brasil. **Heringeriana**, Brasília, V.1, nº1 p 35-41. 2007.

FONSECA, Ozorio. **Afinal o que é floresta?** 2010. Disponível em:<<http://portalamazonia.globo.com/pscript/artigos/artigo.php?idArtigo=1324>>. Acesso em: 05 maio de 2012.

FORESTBRAZIL, Informativo Florestal do Norte Pioneiro. **Boletim Florestal**, Edição 6, Ano 1 - Dezembro, 2007. Disponível em:

<http://www.forestbrazil.com.br/images/admin/boletim_1196998415.pdf>. Acesso em: 08/04/2011.

GRISCOM, B.W.; ASHTON, P.M.S. Bamboo control of forest succession: *Guadua sarcocarpa* in Southeastern Peru. **Forest. Ecology and. Management**. Vol. 175: p445–454. 2003.

GY L, HUANG A.M, QIN T.F, Rapid modeling method for spectroscopic analysis of chemical components of bamboo. 2007 **PubMed** - indexed for MEDLINE disponível em : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19798960> 20/10/2011

GY L, HUANG A.M, WANG G, QIN D.C, JIANG ZH. Rapid determination of Klason lignin content in bamboo by NIR. 2007 **PubMed** - indexed for MEDLINE disponível em : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18306776> 20/10/2011.

HIDALGO, O. L.; **Bamboo: the gift of the gods**. D'Vinni Ltda., Bogotá, Colômbia, 2003, 553p.

HIGUCHI, N.; CARVALHO Jr., J.A. Fitomassa e Conteúdo de Carbono de Espécies Arbóreas da Amazônia. In: Anais do Seminário. In: "Emissão x Sequestro de CO₂ - Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil". 1994.p. 127-153.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J. Q; SANTOS, J. ; RIBEIRO, R. J. ; PINTO, A. C. M. ; SILVA, R. P. ; ROCHA, R. M. ; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Floresta** (UFPR), Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.

HIUKKA R.A. Multivariate approach to the analysis of pine needle samples using NIR. **Chemo Intell Lab Sys**; n.44, p.395–401, 1998.

HONORATO F. A; BARROS NETO B., NASCIMENTO M M, HARROP G R K, PIMENTEL M F Transferência de calibração em métodos multivariados, **Quim. Nova**, Vol. 30, No. 5, 1301-1312, 2007.

INBAR - International Network for Bamboo and Rattan ; Bamboo and Climate Change Mitigation; **Technical Report No. 32**, Beijing, China. 2010a

INBAR - International Network for Bamboo and Rattan ; Biodiversity in Bamboo Forests: a policy perspective for long term sustainability ; **INBAR Working Paper nº 59**. Beijing, China. 2010b

ISAGI Y, KAWAHARA T, KAMO K, LTO H. Net production and carbon cycling in a bamboo *Phyllostachys pubescens* stand. **Plant Ecology** 1997;130:41–52. 1997.

JANSSEN, J.J.A. Designing And Building With Bamboo. **Technical Report 20**. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). ISBN 81-86247-46-7. Eindhoven, The Netherlands. 208 p. 2000.

JIANG Z, LI G, WANG G, HUANG A **A study on determination of holocellulose content of bamboo by near-infrared reflectance spectroscopy**, 2007. disponível

em : http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-LCHX200701003.htm acessado: 20/10/2011.

KELLEY, S.S.; ROWELL, R.M.; DAVIS, M.; JURICH, C.K. & IBACH, R. Rapid analysis of the chemical composition of agricultural bers using near infrared spectroscopy and pyrolysis molecular beam mass spectrometry. **Biomass & Bioenergy**, v. 27, p. 77 – 88, 2004.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. In: Sanqueta, C. R. As florestas e o carbono. SANQUETA, C.R. ;WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.B.; GOMES, F. dos S., editores. Curitiba: Brasil:2002 (b). 265p. Imprensa Universitária da UFPR. Curitiba, 265p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e textos, 2000. 531 p.

LIESE, W. **Bamboos? Biology, silvics, properties, utilization**. Dt. Ges. Techn. Zusammenarbeit (GTZ), Nr. 180, TZ Verlagsges., Roádorf 1, 132 pp. 1985.

LIESE, W., Bamboo As Carbon-Sink - Fact Or Fiction? **VIII World Bamboo Congress Proceedings**. 3: 71-77. 2009.

LIMA, J. A. S.; CARMO, C. A. F. S.; KINDEL, A.; MOTTA, P. E. F. Estimativa de biomassa e carbono de uma floresta secundária em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 20, p. 1-18, 2003.

LINDHOLM, M.; PALM, S. **Guadua chacoensis in Bolivia - An investigation of mechanical properties of a bamboo species**. Department of Management and Engineering Centre for Wood Technology & Design, 2007, 127 p.

LOBOVIKOV, M., LOU Y. P. **The poor man's carbon sink. Bamboo in climate change and poverty alleviation**. Non-Wood Forest Products. Working Document (FAO), nº. 8, FAO, Roma. 68 p. 2009.

LONDOÑO, X. **Especies de Bambues de Argentina**. Disponível em: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/00/programas/prosap/informacion/bambu/especies_bambues.pdf>. Acesso em 20 de junho de 2010.

LONDOÑO, X. **Evaluation of Bamboo Resources in Latin America**. Relatório final do Projeto Nº 96-8300-01-4 para: International Network for Bamboo and Rattan. Cali, Colombia. 1998. Disponível em: http://www.inbar.int/publication/txt/INBAR_Working_Paper_No35.htm Acesso em 10/03/2011.

LOPES, M C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 130 p. Curitiba, 2008.

MADARI, B. E.; REEVES, J. B. **Espectroscopia infravermelha para a determinação de carbono do solo: Perspectiva de um método economicamente viável e ambientalmente seguro**. Santo Antônio de Goiás, GO Dezembro, 2006

MAOYI, F. **Bamboo forestry research**. Hangzhou: CBRC - China National Bamboo Research Center, Hangzhou, 2004.

MORGANO, M., A., MORIYA, C., Determinação quantitativa do teor de sacarose em açúcar cristal por espectroscopia FT-IR/ATR e Regressão Multivariada. **Brazilian Journal of Food Technology**. 2002.

NAES, T., ISAKSSON, T., FEARN, T., DAVIES, T. A user-friendly guide to multivariate calibration and classification. **NIR Publications**. 2002.

NATH, A. J.; DAS, A. K. Carbon storage and sequestration in bamboo-based smallholder homegardens of Barak Valley, Assam. **Current Science**, VOL. 100, NO. 2, Janeiro 2011.

NATH, A.J.; DAS, G.; DAS; A.K. Above ground standing biomass and carbon storage in village bamboos in North East India. **Biomass and Bioenergy** nº33. p 1188–1196. 2009.

NEEFF, T. ; VON LUEPKE, H. ; SCHOENE, D. **Choosing a definition for the Clean Development Mechanism**. Roma, FAO. 2006.

NELSON, D.W., SOMMERS, L. E. Total carbon, organic, and organic matter. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, V. 2, p. 539-579. 1982.

NEWMAN, S.; SOULIA, M.; ABER, J.; DEWEY, B.; RICCA. A. Analyses of forest foliage I: laboratory procedures for proximate carbon fractionation and nitrogen determination. **J. Near Infrared Spectroscopy**, v.2, p.5–14, 1994.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de Pinus taeda** L. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

OHRNBERGER, D. The Bamboos of the World: Annotated Nomenclature and Literature of the Species and the Higher and Lower Taxa. **Elsevier**, Amsterdam. 1999.

OTTO, M. **Chemometrics, Statistics and Computer Application in Analytical Chemistry**. New York, Wiley-Vch, 1999.

PARREIRA, T. F. **Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Canal6, 2007. 240p.

QI, L. H., LIU G. L., FAN S. H ; Effects of different tending measures on carbon density, storage, and allocation pattern of *Phyllostachy edulis* forests in western Fujian province, **Chinese Journal of Ecology**. 28(8): 1482-1488. (em Chinês com resumo em Inglês). 2009

RAVINDRANATH N.H. ; OSTWALD M. **Carbon inventory methods: handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects**. Ravindranath N.H., Ostwald M. - xix, 304 p. - (Advances in global change research; 29). - New York: Springer, 2008.

RENNER, R. M. **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil. Dissertação** (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba-PR, 2004.

REZENDE B. B.; **O Mercado de Créditos de Carbono como Incentivo a um Modelo Energético e Climático Sustentável**. Monografia- Departamento de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2008.

RHEINHEIMER, D. S.; CAMPOS, B. C.; GIACOMINI, S. J. ; CONCEIÇÃO, P. C.; BORTOLUZZI, E. C. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 435-440, 2008.

RODRÍGUEZ, G. R. C. **Los bambúes nativos de México**. México: Laboratorio de Botânica, Instituto Tecnológico de Chetumal, 2005.

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R. Uso de equações para estimar carbono orgânico em plantações de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul - Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa v. 33, n.5, pp. 907-915. 2009.

SAMISTRARO, G. **Propriedades químicas e físicas da polpa e papel kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA C. R. *et al.*, **Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: editado pelos autores, p.77 – 93, 2004.

SANQUETTA, C.R. 2002. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: Sanqueta, C. R. **As florestas e o carbono**. SANQUETA, C.R. ;WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M.A.B.; GOMES, F. dos S., editores. Curitiba: Brasil:2002 (b). 265p. Imprensa Universitária da UFPR. Curitiba, 265p.

SANTOS, K. **Impacto do Controle Mecânico de Taquaras (BAMBUSOIDEAE) sobre a Regeneração de uma Área de Floresta Ombrófila Mista**. 127 f. Dissertação (Mestrado em Pós-Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2008.

SCAFI, S. H. F. **Sistema de Monitoramento em Tempo Real de Destilações de Petróleo e Derivados Empregando a Espectroscopia no Infravermelho próximo** 196 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SCHIMLECK, L.; WRIGHT, P.; MICHELL, A.; WALLIS, A. Near Infrared spectra and chemical compositions of *E. globulus* and *E. nitens* plantation woods. **Appita J.**, v.50, n.1, p.40–6, 1997.

SCHIMLECK, L.R.; SUSSENBACH, E.; LEAF, G.; JONES, P.D.; HUANG,C.L.; Microfibril angle prediction of *Pinus taeda* wood samples based on tangencial face NIR spectra. **IAWA Journal**, v. 28, n.1, p. 1 – 12, 2007.

SCHWARZBACH, L. L. C.; **Bambus e taquaras: avaliação e perspectivas de uso sustentável**, Dissertação, Universidades Federal Do Paraná, Curitiba. 60 p. 2008.

SCURLOCK, J.M.O., DAYTONB,D.C.; HAMESB, B.; Bamboo: an overlooked biomass resource? **Biomass and Bioenergy** n. ° 19, p. 229-244, 2000.

SEFARA, N. L.; CONRADIE, D.; TURNER, P. Progress in the use of near infrared absorption spectroscopy as a tool for the rapid determination of pulp yield in plantation eucalypts. **Tappsa Journal**, p.15-17,Nov. 2000.

SETTE JUNIOR, C., NAKAJIMA, N., GEROMINI, M.. Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* l. na região de rio negrinho, SC. **FLORESTA**, v.36, jul. 2006. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/5506>. Acesso em: 13 Mai. 2011.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila densa**. Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. 2008.

SINGH, A. N.; SINGH, J. S. Biomass, net primary production and impact of bamboo plantation on soil redevelopment in a dry tropical region. **Forest Ecology and Management**, n.119, p.195-207, 1999.

SO, C- L.; VIA, B. K.; GROOM, L. H.; SHIMLECK, L. R.; SHUPE, T. F.; KELLEY, S. S.; RIALS, T. G., Near infrared spectroscopy in the forest products industry. **Forest Products Journal**, v. 54, n. 3, p.6-16, 2004.

SPOLIDORO, P. V.; **Características dendrométricas e propriedades físicas dos colmos de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides***. (Disertação) Seropédica – Rio de Janeiro, Dezembro 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Sinauer Associates, Inc., Publishers 2009 Capitulo 6. 792 p.

TAYLOR, A. H.; ZISHENG, Q. Culm dynamics and dry matter production of bamboos in the Wolong and the Tangjiahe Giant Panda Reserves, Sichuan, China. **Journal of Applied Ecology**, n.2, p.419-433, 1987.

TOREZAN, J. M. D.; SILVEIRA, M. The biomass of bamboo (*Guadua weberbaueri* Pilger) in open forest of the southwestern Amazon. **Ecotropica**, n.6, p.71-76, 2000.

UDERMAN, S. Mercado de Crédito de Carbono: a Construção de uma Agenda de Intervenção Pública na Bahia. **Revista Econômica do Nordeste** Vol. 41. Nº 02. Abril – Junho. 2010.

UNFCCC. **The Marrakesh accords & the Marrakesh declaration**, 2001. Disponível em: http://unfccc.int/cop7/documents/accords_draft.pdf acesso em 20/01/2012.

VEBLEN, T. T., SCHLEGEL, F. M.; ESCOBAR, B. R. Dry matter production of two species of bamboo (*Chusquea culeou* and *C. tenuiflora*) in South-Central Chile. **Journal of Ecology**, n.68, p.397-404, 1980.

WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, D.J.; DOKKEN, D. J. **Land use, land-use change and forestry**: a special report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 377 p.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. Carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze no sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.2, p. 63-68, abr./jun. 2003.

WEBER, K. S.; BALBINOT, R.; WATZLAWICK L. F.; SANQUETTA, C. R. Teores de carbono orgânico de seis espécies naturais do ecossistema da Floresta Ombrófila Mista. **Ambiência**, Guarapuava, v.2, n.2, p.167-177, 2006.

WEBER, K.S.; SANQUETTA, C. R.; MELLO, A. A.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. Variação nos teores de carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Brasil Florestal**, nº 76. Brasília. n 76. p. 23-28. 2003.

YUMING, Y.; CHAOMAO H. **China's bamboo culture, resources, cultivation, utilization**, Rede internacional de bambu e ratan e instituto de pesquisa do bambu e ratan (INBAR), China. 2010.

Anexos 1: datos de teores de carbono

Amostra	Compartimentos	Guadua angustifolia	Dendrocalamus giganteus	Guadua chacoensis	Merostachys skvortzovii	Bambusa oldhamii	Bambusa vulgaris
1	Colmo Inferior	43,340	43,460	40,714	41,189	43,077	42,077
2	Colmo Inferior	43,597	43,360	40,713	39,077	42,799	42,244
3	Colmo Inferior	42,998	43,591	40,192	41,891	42,993	43,061
4	Colmo Inferior	43,702	43,108	39,764	41,733	43,041	42,534
5	Colmo Inferior	43,280	43,720	40,408	42,878	43,073	43,001
6	Colmo Inferior	42,647	42,243	39,985	42,543	43,429	42,775
7	Colmo Inferior	43,418	42,166	39,162	43,050	43,458	42,842
8	Colmo Inferior	43,100	42,781	38,257	43,143	43,113	41,762
9	Colmo Inferior	42,740	41,332	39,239	43,103	43,165	43,324
10	Colmo Inferior	42,310	42,269	40,096	43,759	43,256	43,053
11	Colmo Inferior	42,450	43,461	38,286	43,057	43,354	42,599
12	Colmo Inferior	43,248	43,985	39,641	44,239	43,733	43,194
13	Colmo Inferior	43,684	43,223	41,085	43,624	43,359	42,419
14	Colmo Inferior	42,688	42,728	40,835	43,772	43,542	42,185
15	Colmo Inferior	42,025	43,596	41,356	43,587	43,095	42,025
16	Colmo Inferior	42,873	43,569	40,028	44,533	43,254	43,075
17	Colmo Inferior	41,959	42,895	41,056	44,062	42,951	42,301
18	Colmo Inferior	44,029	43,268	39,939	44,071	43,694	42,249
19	Colmo Inferior	43,633	43,153	40,780	44,194	44,625	42,739
20	Colmo Inferior	43,081	42,863	41,739	43,396	44,591	43,691
1	Colmo Superior	43,398	42,112	38,648	43,102	44,783	43,246
2	Colmo Superior	43,408	43,613	38,523	40,752	44,757	42,267
3	Colmo Superior	42,702	42,990	39,736	43,501	44,429	43,354
4	Colmo Superior	42,759	43,910	38,675	41,808	44,757	42,793
5	Colmo Superior	42,813	43,557	37,856	43,280	43,146	43,225
6	Colmo Superior	43,119	42,710	39,651	43,675	43,875	44,021
7	Colmo Superior	42,528	43,228	38,558	42,658	44,032	43,043
8	Colmo Superior	42,116	43,172	38,456	44,380	44,193	42,605
9	Colmo Superior	41,882	43,307	39,052	44,229	44,376	43,760
10	Colmo Superior	42,825	43,636	40,739	42,617	44,061	42,995
11	Colmo Superior	43,134	43,288	39,300	44,035	44,072	43,689
12	Colmo Superior	41,978	43,502	40,462	43,018	44,490	44,777
13	Colmo Superior	42,807	44,005	40,733	43,813	44,137	42,749
14	Colmo Superior	42,739	43,623	40,319	43,470	44,595	43,825
15	Colmo Superior	42,578	43,956	40,416	44,721	44,610	43,606
16	Colmo Superior	41,770	43,276	38,005	43,806	43,957	43,717
17	Colmo Superior	42,795	43,441	40,778	44,018	44,453	43,398
18	Colmo Superior	43,045	43,937	39,756	43,935	44,151	43,776
19	Colmo Superior	42,861	44,155	40,889	43,931	43,883	43,478
20	Colmo Superior	42,658	43,510	40,700	42,824	43,519	43,937
1	Folhas	39,586	40,304	38,675	40,792	39,369	40,824
2	Folhas	39,258	40,546	35,356	36,544	39,994	41,009

Amostra	Compartimentos	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	<i>Guadua chacoensis</i>	<i>Merostachys skvortzovii</i>	<i>Bambusa oldhamii</i>	<i>Bambusa vulgaris</i>
3	Folhas	40,128	40,581	34,741	40,100	39,050	40,536
4	Folhas	39,796	40,467	39,111	39,208	40,472	40,854
5	Folhas	39,167	41,104	39,930	41,175	39,446	40,322
6	Folhas	39,991	40,948	38,714	40,121	39,756	39,543
7	Folhas	37,341	39,231	38,939	41,488	39,646	38,214
8	Folhas	40,576	36,247	39,053	42,520	40,019	40,222
9	Folhas	40,963	38,854	39,156	39,769	39,248	39,997
10	Folhas	40,371	40,247	38,030	42,222	34,002	39,668
11	Folhas	41,066	41,219	37,136	40,418	36,895	39,829
12	Folhas	40,436	41,629	39,089	40,744	39,745	40,120
13	Folhas	39,842	41,466	40,011	41,246	33,194	39,813
14	Folhas	39,756	39,834	37,935	41,355	40,141	40,525
15	Folhas	41,421	40,147	34,333	41,498	39,930	40,337
16	Folhas	39,118	41,098	32,894	41,030	37,644	39,587
17	Folhas	39,827	39,757	35,484	41,213	39,593	38,604
18	Folhas	38,329	41,056	34,063	43,274	39,856	40,351
19	Folhas	38,430	40,775	35,748	41,963	38,405	39,750
20	Folhas	40,123	40,434	36,616	40,808	36,474	39,731
1	Galhos Vivos	42,261	43,180	39,091	43,489	41,772	42,864
2	Galhos Vivos	42,065	43,173	39,260	40,126	42,126	43,213
3	Galhos Vivos	43,398	43,215	39,826	41,769	42,167	43,418
4	Galhos Vivos	42,612	42,893	39,962	40,668	42,671	43,143
5	Galhos Vivos	44,383	42,962	40,999	42,878	41,764	43,365
6	Galhos Vivos	42,342	41,134	40,363	41,300	42,750	42,495
7	Galhos Vivos	43,057	43,279	40,004	42,128	41,104	41,819
8	Galhos Vivos	42,970	42,838	40,493	42,459	43,024	41,653
9	Galhos Vivos	42,141	43,252	39,683	41,640	43,068	42,680
10	Galhos Vivos	42,059	43,376	40,363	41,873	42,991	43,278
11	Galhos Vivos	42,359	42,809	39,892	41,152	42,866	43,235
12	Galhos Vivos	42,269	44,240	38,951	42,716	43,470	43,609
13	Galhos Vivos	42,174	44,153	38,975	42,543	42,297	42,660
14	Galhos Vivos	42,366	43,797	39,323	42,039	42,510	43,192
15	Galhos Vivos	42,105	43,053	39,753	42,224	42,380	43,403
16	Galhos Vivos	41,210	43,371	40,020	41,884	42,000	43,139
17	Galhos Vivos	42,011	43,439	39,213	43,102	42,287	42,828
18	Galhos Vivos	42,640	42,517	39,011	42,261	42,551	42,941
19	Galhos Vivos	41,512	43,130	39,793	42,090	41,660	42,607
20	Galhos Vivos	42,357	42,805	40,038	43,477	41,231	43,037
1	Rizoma	39,956	39,314	33,823	45,578	30,785	31,564
2	Rizoma	41,190	43,495	36,757	43,812	40,436	42,575
3	Rizoma	39,772	42,792	37,533	43,672	40,010	43,035
4	Rizoma	39,077	42,637	38,465	43,320	39,214	40,421

Amostra	Compartimentos	Guadua angustifolia	Dendrocalamu s giganteus	Guadua chacoensis	Merostachys skvortzovii	Bambusa oldhamii	Bambusa vulgaris
5	Rizoma	38,018	41,684	33,441	44,621	31,271	41,875
6	Rizoma	40,594	41,759	31,811	43,755	38,827	42,390
7	Rizoma	36,370	41,270	26,651	41,069	34,476	38,195
8	Rizoma	40,084	40,932	31,082	41,321	33,608	41,579
9	Rizoma	38,336	41,692	28,581	37,540	40,976	43,014
10	Rizoma	38,693	42,159	31,609	44,202	40,351	43,316
11	Rizoma	41,382	42,099	30,830	35,870	34,522	42,455
12	Rizoma	40,191	40,065	16,221	44,562	25,069	41,509
13	Rizoma	40,409	43,016	28,499	42,449	39,994	42,495
14	Rizoma	40,810	39,270	35,821	36,705	41,014	41,353
15	Rizoma	39,229	33,728	37,720	42,734	39,230	42,533
16	Rizoma	39,315	42,584	40,397	44,645	40,695	43,306
17	Rizoma	40,246	43,215	34,316	42,952	40,454	43,896
18	Rizoma	41,332	43,698	39,562	44,398	40,624	35,004
19	Rizoma	40,014	42,684	38,165	43,199	41,150	39,847
20	Rizoma	38,958	43,125	38,180	41,988	29,009	43,238