

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ROBSON CARMO LIMA

**EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVAS DE BIOMASSA DE UMA
FLORESTA TROPICAL ÚMIDA DO AMAPÁ**

RECIFE - PE

2015

ROBSON CARMO LIMA

**EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVAS DE BIOMASSA DE UMA
FLORESTA TROPICAL ÚMIDA DO AMAPÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Linha de pesquisa de Biometria e Manejo Florestal.

Orientador:

Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva

Coorientador:

Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo
Ferreira

RECIFE - PE

2015

Ficha catalográfica

L732e Lima, Robson Carmo
 Equações para estimativas de biomassa de uma floresta
 tropical úmida do Amapá / Robson Carmo Lima. – Recife, 2015.
 50 f.

Orientador: José Antônio Aleixo.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento
de Ciência Florestal, Recife, 2015.

Referências.

1. Ajuste de modelos matemáticos 2. Método destrutivo
3. Equações pan-tropicais I. Aleixo, José Antônio, orientador
II. Título

CDD 634.9

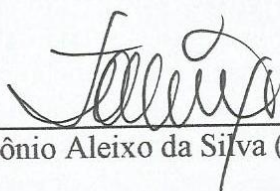
ROBSON CARMO LIMA

**MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

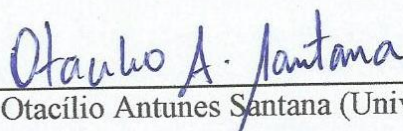
**EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVAS DE BIOMASSA DE UMA FLORESTA
TROPICAL ÚMIDA DO AMAPÁ**

APROVADA EM: 24 / 04 / 15

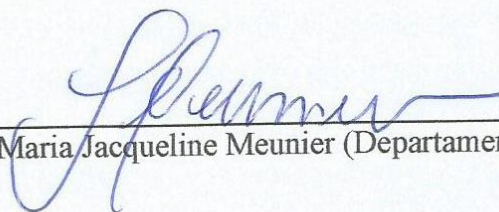
BANCA EXAMINADORA:



Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva (Orientador - Presidente da banca)



Prof. Dr. Otacilio Antunes Santana (Universidade Federal de Pernambuco)



Prof^ª. Dr^ª. Isabelle Maria Jacqueline Meunier (Departamento de Ciência Florestal/UFRPE)

RECIFE - PE

2015

AGRADECIMENTOS

A realização deste estudo não seria possível sem a graça de Deus, que nos protegeu durante a coleta de dados no campo, nos deu sabedoria, paciência e força para superarmos os obstáculos, vencermos o cansaço e assim alcançarmos nossas metas e objetivos.

Agradecimentos ao Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva, com o qual eu tive a honra de trabalhar durante o período de formação do mestrado, e que em todos os momentos teve paciência e me orientou durante a construção deste estudo. Assim como, o Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, que foi meu professor e co-orientador durante a realização do mestrado. Aprender com esses professores com certeza foi um grande privilégio e também o início de uma grande parceria.

Agradeço de forma especial a Dr^a Eleneide Doff Sotta, que contribuiu acentuadamente na realização deste estudo. A Dr^a Eleneide esteve muito presente na minha formação profissional e sempre foi bastante prestativa, dedicou-me muito de sua atenção, orientou-me tanto na graduação quanto no mestrado, e isso nos possibilitou a formação de uma excelente relação profissional e uma grande amizade. Trabalhar em conjunto com a Dr^a Eleneide e com o Dr. Lilian Blanc nos temas relacionados as mudanças climáticas foi fundamental para o meu desenvolvimento científico, pois tive a oportunidade de participar entre outros do projeto Bioflor, que possibilitou a coleta de dados deste estudo, os cursos e os intercâmbios internacionais que me proporcionaram um grande crescimento científico, profissional e pessoal.

Ao Dr. Lilian Blanc, que esteve comigo durante algumas coletas de campo e também me recebeu no CIRAD e contribuiu de forma acentuada na construção deste trabalho. Eu não poderia deixar de agradecer aos amigos e colegas, Enoque da Silva Lima, Manoel Jonas de Jesus Viana, Carlos Alberto Moraes e Delso Santana que estiveram comigo no campo e me ajudaram a realizar o árduo trabalho de medir a biomassa florestal e que foram o meu apoio nos dias mais difíceis.

A consolidação deste trabalho não seria possível sem a valiosa oportunidade oferecida pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, CNPq que me concedeu a bolsa, a Embrapa Amapá, que me forneceu total estrutura e equipe para a realização das atividades de campo e a FAPEAP que concedeu o financiamento para a execução do projeto.

Por fim, agradeço aos meus familiares, amigos e a todas as pessoas que sempre me incentivaram prosseguir e chegar até aqui.

RESUMO

A Amazônia concentra a maior extensão de área com floresta tropical do mundo, abriga uma grande fonte de recursos naturais como água, minérios, diversas tipologias florestais e uma rica biodiversidade. Visando contribuir com gerenciamento dos recursos florestais este estudo teve como objetivo desenvolver e fornecer equações de biomassa para a Floresta Estadual do Amapá. A coleta de dados foi realizada nos municípios de Calçoene e Oiapoque (coordenadas 2°57'16,00" N e 51°27'57,59" W) a uma distância de 630 km ao Norte da capital Macapá. Além dos dados coletados em campo também foram utilizados dados de estudos anteriores. A tipologia florestal é Floresta Ombrófila Densa. Para a realização do inventário de biomassa florestal, este estudo utilizou metodologia semelhante a usada por Oliveira et al. (2012) com algumas modificações. Foram plotadas aleatoriamente 100 parcelas de 10 x 10 m. Entre essas 100 parcelas foram sorteadas, aleatoriamente, quatro parcelas, para a realização do inventário de biomassa florestal das árvores menores ($5 \leq \text{DAP} < 40$ cm que foram medidas e pesadas por compartimento. Todas as árvores maiores ($\text{DAP} \geq 40$ cm) foram submetidas ao método destrutivo para a medição de sua biomassa. O erro estipulado para esse inventário foi de 20 % e a variável usada para calcular essa suficiência amostral foi peso fresco das árvores. Com os dados de DAP, altura total, altura comercial, densidade da madeira e peso dos troncos, galhos e folhas foram ajustados quatro modelos matemáticos e geradas equações para estimar biomassa seca e fresca acima do solo. Para avaliar as equações foi usado o Erro Padrão Residual (EPR), o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), a distribuição residual, o desvio do valor esperado (viés). Um delineamento inteiramente aleatório foi considerado para verificar a existência e diferenças entre os valores reais de biomassa e o estimado por cada equação. Todas as equações de BFAS" apresentaram R^2_{aj} superiores a 0,97 %, os valores de Viés foram menores que 7,90 % e as EPR foram iguais ou inferiores a 0,372 %. As equações pan-tropicais demonstraram bom desempenho na estimativa de biomassa seca, sendo que as equações de Chave et al., 2005 e Person et al., 2005 foram as indicadas para estimar a biomassa na região. Neste estudo foram geradas 30 equações para estimar a biomassa fresca e seca de uma floresta tropical úmida do Estado do Amapá. As equações com DAP e Ht apresentaram melhor precisão e acurácia.

Palavra-chave: ajuste de modelos matemáticos, método destrutivo, equações pan-tropicais.

ABSTRACT

The Amazon has the largest extension area with rainforest in the world, has a large source of natural resources such as water, minerals, various forest types and rich biodiversity. To contribute to management of forest resources, this study aimed to develop biomass equations for the forest in the State of Amapá Forest. Data collection was carried out in the municipalities of Calçoene and Oiapoque (coordinates 2°57'16,00 " N and 51°27'57,59 " W) at a distance of 630 km North of the capital Macapá. In addition to the data collected in the field data from earlier studies were also used. Forest type is Tropical Rain Forest. For the realization of forest biomass inventory this study considered a similar methodology used by Oliveira et al. (2012) with some modifications: the opportunity were randomly plotted 100 plots of 10 x 10 m. Among these 100 plots were selected randomly four plots to the inventory of forest biomass of smaller trees ($5 \leq \text{DBH} < 40$ cm). All small trees located within those four plots were measured and weighed by compartment. The inventory of forest biomass of larger trees ($\text{DBH} \geq 40$ cm) was performed for all the larger trees that were subjected to destructive method for measuring their biomass. The adopted error for this inventory was 20% and the variable used to calculate the sample sufficiency was fresh weight of each tree. With the DBH data, total height, commercial height, weight and density of the wood of the trunks, branches and leaves were adjusted four models to generated equations to estimate and fresh dry biomass above soil. To evaluate the equation it was used Residual standard error (RSE), the adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), the residual distribution, the deviation from the expected value (bias). A completely randomized design was applied to verify differences among the actual values of biomass and the estimated per equation. All equations presented R^2_{aj} greater than 0.97%, the bias values were less than 7.90% and the RSE were equal or less than 0.372%. The pan-tropical equations demonstrated good performance on dry weight estimate, and the equations Chave et al., 2005 and Person et al., 2005 were indicated to estimate biomass in the region. This study generated 30 equations to estimate the fresh and dry biomass of a tropical rainforest in the Amapá state. Equations with DAP and Ht showed better precision and accuracy.

Keyword: adjustment of mathematical models, destructive method, pantropical equations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização das amostragens que formaram o banco de dados utilizado por Chave et al. (2005) na geração de equações pan-tropicais para biomassa seca acima do solo (BSAS).....	15
Figura 2 – Localização das amostragens que formaram o banco de dados utilizado por Chave et al. (2014) na geração de equações pan-tropicais para biomassa seca acima do solo.	16
Figura 3 – Localização da área de estudo. Área “A”, municípios de Amapá, Calçoene e Oiapoque, área “B”, município de Mazagão, Pedra Branca do Amapari e Porto Grande.	17
Figura 4 - Biomassa fresca e biomassa seca em relação ao e DAP, dados amostrados neste estudo e no estudo de Oliveira (2012).	29
Figura 5 - Distribuição residual das equações geradas para estimar BFAS para área “A”.	32
Figura 6 - Distribuição residual das equações geradas para estimar BSAS para área “A”, n = 74.	35
Figura 7 - Distribuição residual das equações geradas para BSAS para a área “B”.	37
Figura 8 - Distribuição residual das equações geradas para estimar BFAS, abrangendo as áreas “A” e “B”.	40
Figura 9 - Distribuição residual das equações geradas para estimar BSAS, abrangendo as áreas “A” e “B”.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos volumétricos adaptados para gerar equações para estimar biomassa florestal.	23
Tabela 2 - Equações pan-tropicais avaliadas para estimar BSAS, E (variável ambiental).	26
Tabela 3 - Composição florística da amostragem feita para o inventário de biomassa fresca acima do solo na região de Calçoene e Oiapoque (área “A”).	27
Tabela 4 - Distribuição diamétrica e hipsométrica das árvores amostradas, área “A”.....	28
Tabela 5 - Distribuição diamétrica e hipsométrica das árvores amostradas na áreas “A” acrescida com os dados da área “B” cedidos por Oliveira et al (2012).	29
Tabela 6 - Estatística descritiva para as variáveis das 180 árvores amostradas neste estudo. .	30
Tabela 7- Matriz de correlação formada com resultados obtidos por meio do coeficiente de correlação de Pearson, aplicado para verificação de correlação entre as variáveis dependentes e independentes utilizadas no ajuste dos modelos.	30
Tabela 8 – Equações para estimar BFAS na área “A”.	31
Tabela 9 – Análise de variância realizada para comparar as estimativas e os valores reais de BFAS.	33
Tabela 10 - Equações para estimar BSAS, a área “A”.	34
Tabela 11 - Análise de variância realizada para comparar as estimativas e os valores reais de BSAS coletados no campo.	36
Tabela 12 - Equações para estimar BSAS para área “B”.	36
Tabela 13 - Análise de variância realizada para comparar as estimativas e os valores reais de biomassa coletada na secagem, com n = 106, área “B”.	38
Tabela 14 - Equações para estimar BFAS, abrangendo as áreas “A” e “B”.	39
Tabela 15 – Equações para estimar BSAS, abrangendo as áreas “A” e “B”.....	41
Tabela 16 - Critérios de avaliação das equações pan-tropicais na estimativa de biomassa seca, para os dados coletados no Amapá.	43
Tabela 17 - Análise de variância realizada para comparar as estimativas obtidas por meio das equações pan-tropicais e pela equação 5 gerada para estimar biomassa seca nas áreas A e B e conjuntamente e os valores de biomassa obtidos após a secagem das amostras.	43

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	Equações de biomassa para Floresta Ombrófila Densa na Amazônia	12
2.2	Estimativas da biomassa florestal	13
2.3	Equações pan-tropicais	15
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	Caracterização da área de estudo	17
3.2	Inventário de biomassa acima do solo	18
3.2.1	Determinação da biomassa fresca acima do solo (BFAS)	19
3.2.2	Determinação da biomassa seca (BSAS)	20
3.3	Análise estatística dos dados	21
3.3.1	Análise residual dos ajustes dos modelos	23
3.3.2	Análise do ajuste dos dados ao modelo	24
3.3.3	Análise da precisão das equações	25
3.3.4	Desempenho das equações pan-tropicais para estimar biomassa florestal nas áreas em estudo.....	25
4	RESULTADOS	26
4.1	Inventário de biomassa	26
4.2	Análise descritiva dos dados	30
4.3	Ajustes dos modelos para estimar biomassa florestal	31
4.3.1	Equações para estimar biomassa fresca acima do solo (BFAS), área “A”	31
4.3.2	Equações para estimar biomassa seca acima do solo (BSAS), a área “A”	33
4.3.3	Equações para estimar biomassa seca acima do solo (BSAS) para área “B”	36
4.3.4	Equações para estimar biomassa fresca acima solo nas áreas “A” e “B” conjuntamente.....	38
4.3.5	Equações para estimar biomassa seca acima solo nas áreas “A” e “B” conjuntamente	40
4.4	Desempenho das equações pan-tropicais na estimativa de biomassa seca acima do solo	42
5	DISCUSSÃO	43
5.1	O ajuste dos modelos	43
5.2	Variáveis utilizadas nos modelos	44
5.3	Equações pan-tropicais	45
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica concentra a maior extensão de área com floresta tropical do mundo, abriga uma grande fonte de recursos naturais como água, minérios, diversas tipologias florestais e uma rica biodiversidade (GAMA et al., 2003; VIEILLEDENT et al., 2012). No entanto, os desmatamentos e as queimadas para a implantação de cultivos agrícolas, pecuária, e também, a exploração florestal de forma não sustentável têm provocado transformações degradantes sobre esses recursos naturais (FEARNSIDE, 2013; SOARES FILHO et al., 2005). A degradação das florestas tropicais, principalmente, na região Amazônica se tornou o foco das atenções mundiais e fomenta a busca por formas de desenvolvimento sustentável para evitar impactos negativos no clima mundial (VILLELA et al., 2012). Por isto, é necessária a realização contínua de estudos na floresta Amazônica para gerenciar e fortalecer a sustentabilidade e o desenvolvimento (SILVA et al., 2008; HIGUCHI, N. et al., 2004).

Grande parte da Amazônia pertence ao território brasileiro e é denominada Amazônia legal. Um dos estados que formam a Amazônia legal é o Amapá que possui uma área aproximada de 142.842,58 km² (AMAPÁ, 2006). Desse total, 72 % é ocupado por floresta ombrófila densa, mantida sob forma de unidade de conservação (CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL, 2007). O Amapá é um dos estados do Brasil que mantém a maior parte dos seus recursos naturais preservados, recursos esses que podem ser usados para o seu desenvolvimento econômico. Um dos grandes desafios do Amapá, atualmente, é encontrar uma forma de desenvolvimento econômico que não implique na degradação de seus recursos naturais.

Por isto, é importante a realização de estudos que avaliem o potencial dos seus recursos florestais madeireiro e não-madeireiros, bem como os serviços ambientais realizados pela floresta como a manutenção da qualidade da água visando seu uso sustentável para o desenvolvimento local e regional. Também é importante a realização de estudos que tratam da quantificação dos estoques de biomassa e carbono armazenados nas florestas do Estado, para ajudar no monitoramento e no controle dos gases de efeitos estufa que são emitidos para a atmosfera e que podem influenciar nas mudanças climáticas.

Visando atender a demanda por mais informações sobre as florestas do Amapá o Instituto Estadual de Florestas realizou o inventário florestal da Floresta Estadual do Amapá e o primeiro estudo sobre o estoque de biomassa florestal do Estado em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. Posteriormente, o projeto REDD+FLOTA analisou os aspectos biofísicos e socioambientais e a dinâmica de transformações na cobertura

florestal e o uso e ocupação do solo na Floresta Estadual do Amapá FLOTA-AP com o objetivo de estimar os potenciais benefícios econômicos dos serviços ambientais ofertados pela floresta e projetar como esses serviços podem auxiliar no desenvolvimento do Estado.

Por isso, visando contribuir para o aprimoramento das informações sobre a biomassa das florestas do Estado, este estudo teve como objetivos desenvolver e fornecer equações de biomassa, para uma floresta que compõe uma unidade de conservação e uso sustentável do Amapá. Gerar as equações utilizando amostras distribuídas em várias classes de diâmetro. Selecionar a melhor equação para estimar biomassa acima do solo e por fim, verificar o desempenho das equações pan-tropicais na estimativa de biomassa no local do estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Equações de biomassa para Floresta Ombrófila Densa na Amazônia

Na região Amazônica, estudos como de Arima et al. (2014) e Fonseca et al. (2015) foram realizados com o objetivo de quantificar a biomassa, o carbono e a taxa de desmatamento anual para cada tipo florestal dessa região. Conhecendo a quantidade de biomassa florestal e a taxa de desmatamento para cada tipologia florestal é possível calcular a quantidade de carbono que é emitida para a atmosfera por ano (HIGUCHI; CARVALHO JR, 1995; SILVEIRA, 2008). Contudo, realizar a quantificação da biomassa florestal utilizando o método direto, por exemplo, é um trabalho extremamente pesado e monótono, mesmo assim, é uma tarefa que precisa ser feita para se obter as equações para estimar a biomassa de forma indireta, já que é impossível quantificar a biomassa da floresta amazônica, somente, por meio do método direto (HIGUCHI et al.,1998).

Em estudos realizados na Estação Experimental de Silvicultura em Manaus, Higuchi e Carvalho Jr (1995); Santos (1996) coletaram dados de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,3 m do solo), altura total, altura comercial, a densidade básica da madeira e mediram a biomassa fresca de 335 árvores pelo método direto. Com esses dados, os autores ajustaram modelos matemáticos para gerar equações para a estimação de biomassa fresca acima do solo. Esse estudo possibilitou a obtenção de sete equações para estimar a biomassa fresca acima do solo na Amazônia Central e, também, gerou algumas considerações como: a biomassa fresca possui boa correlação com o DAP e a altura total. A densidade básica da

madeira variou de espécie para espécie e também dentro da mesma espécie nos sentidos base-topo e medula-casca.

Em outro estudo realizado na Amazônia Central, Silva (2007) abordou tanto a floresta madura, como a floresta em estágio de sucessão secundária (capoeira) objetivando, principalmente, avaliar a dinâmica de diferentes tipos florestais em relação à biomassa florestal e, também, desenvolver equações de biomassa para esses dois tipos florestais. Em suas considerações, diz que os estudos sobre a biomassa florestal devem observar a intensidade amostral, os erros e as informações de custos, como subsídios para a formulação de uma metodologia padrão para os estudos de biomassa na região Amazônica.

Suwa et al. (2013) estudaram o crescimento e a relação diâmetro e altura das espécies em uma floresta tropical na região central da Amazônia. Os autores desenvolveram uma equação para estimar a biomassa das árvores envolvendo tanto o diâmetro como altura.

No estado do Amapá, Oliveira et al. (2012) desenvolveram estudo abordando a biomassa florestal acima e abaixo do solo. O objetivo foi fornecer uma primeira aproximação sobre o estoque de biomassa existente nas florestas do Estado. Por meio desse estudo, Oliveira et al., (2012) indicam um estoque de 470 t.ha^{-1} de biomassa para a Floresta Estadual do Amapá. Os autores concluíram que 106 árvores foram suficientes para obter boas equações e que as variáveis como DAP e a altura total possibilitam bons ajustes de modelos com erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$) entre 2,53 e 8,23. Contudo, as equações geradas possuem pequena amplitude de uso ($5 \text{ cm} \leq \text{DAP} \leq 75 \text{ cm}$), o que impossibilita sua aplicação em árvores que possuem DAP maior que 75 cm.

2.2 Estimativas da biomassa florestal

A região Amazônica concentra grande parte das florestas tropicais do mundo e essas florestas mantêm um enorme estoque de biomassa e carbono (SAATCHI et al., 2011). Devido às formas de uso do solo, o desmatamento e as queimadas, a biomassa e o estoque de carbono nessas florestas estão diminuindo. O carbono é transformado em dióxido de carbono (CO_2) e emitido para atmosfera assim como outros gases resultantes da queima da biomassa florestal (FEARNSIDE, 2013). Quantificar com precisão o carbono estocado nas florestas tropicais, o volume de CO_2 emitido para a atmosfera e a sua influência no ciclo global do carbono é um desafio aos cientistas na atualidade (CLARK; KELLNER, 2012).

A preocupação com as mudanças climáticas incentivou muitos estudos científicos a identificarem as principais causas da aceleração das transformações no clima do planeta. Os resultados desses estudos levaram a um consenso entre os cientistas: um dos fatores que contribuem para a aceleração das mudanças no clima é o excesso de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera (IPCC, 2006). Algumas das principais fontes de emissão de GEEs para a atmosfera são as explorações florestais sem as técnicas adequadas de manejo florestal sustentável e também a conversão de áreas florestais em áreas de cultivos agrícolas e em pastagens, principalmente na região Amazônica (ALENCAR et al., 2004; BRAND, 2010).

A quantificação da biomassa e do carbono nas florestas tropicais é realizada usando métodos conhecidos como medidas diretas ou determinação e métodos de estimação ou medidas indiretas. O método de determinação corresponde à medição direta da biomassa florestal em campo, no qual, todas as partes das árvores, palmeiras, mudas, cipós e a serrapilheira são pesadas e suas amostras são coletadas para secagem e análises em laboratórios (HIGUCHI et al., 1998). O método de medidas indiretas consiste em estimar a biomassa florestal com base nos dados coletados com a aplicação do método de medidas diretas. As estimativas resultantes das aplicações de equações volumétricas e com o uso de ferramentas de geotecnologia, como o LIDAR (*Light Detection And Ranging*) e imagens de alta resolução, são exemplos de aplicação dos métodos indiretos (SILVEIRA et al., 2009).

Estes dois métodos são muito utilizados na quantificação da biomassa e carbono florestal, contudo, o método indireto está mais sujeito a erros nas estimativas que podem gerar superestimativa ou subestimativas da biomassa. Apesar de sua importância, os erros nem sempre são abordados de forma consistente nos estudos que visam quantificar biomassa e o carbono da floresta. Os erros estão presentes desde a escala de árvore até a escala de paisagem devido à sistematização e extrapolação dos erros cometidos.

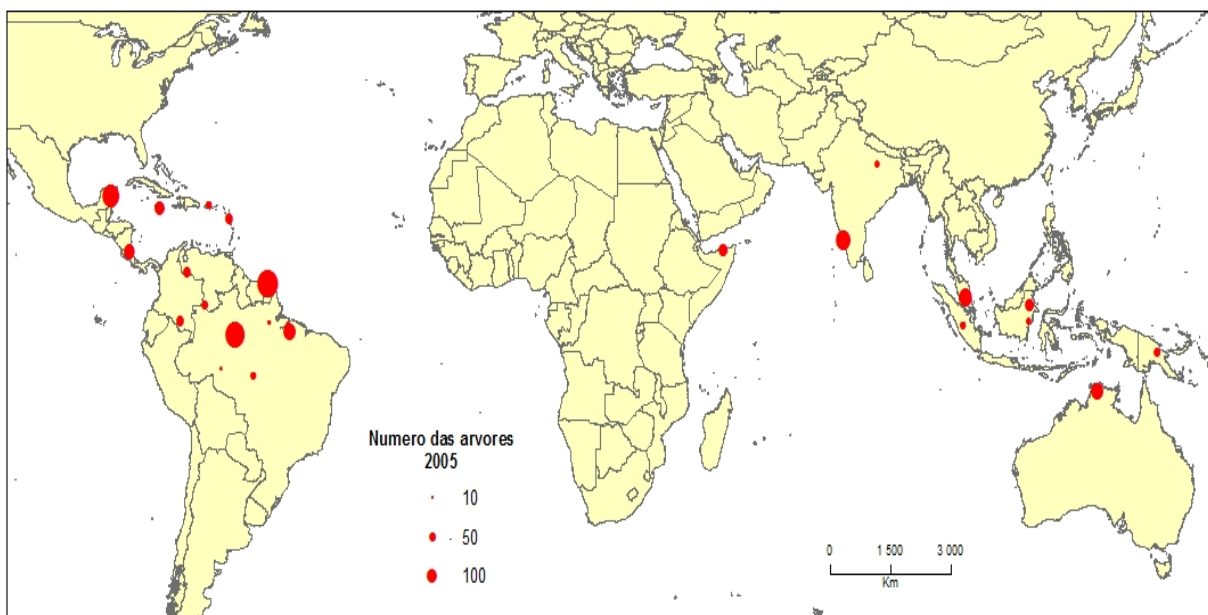
O método de medidas diretas é o mais seguro para se realizar a quantificação da biomassa florestal por apresentar resultados reais. Todavia, se erros sistemáticos ocorrerem, a precisão do método pode ser comprometida. Uma fonte de erro é o uso de equipamentos desregulados ou danificados, provocando leituras incorretas do peso real da biomassa florestal. Outra fonte é a escolha do local de coleta que pode ser influenciada pelos custos de deslocamento e a dificuldade de acesso à área, o que sugere uma escolha não aleatória da área de coleta. O período do ano em que se realiza a coleta deve ser escolhido com atenção, pois em determinado período as árvores da amostragem podem estar passando por um stress hídrico ou stress nutricional fazendo com que seu peso real seja altamente afetado nesse período, configurando uma fonte de incerteza (CHAVE et al., 2004).

O método de medidas indiretas também possui várias fontes de erro. Como esse método está baseado em dados reais, os erros cometidos durante a coleta da biomassa em campo são incorporados ao ajuste dos modelos de estimação de biomassa. O uso de poucas árvores nos ajustes dos modelos também gera erros de amostragem e reduz a confiabilidade dos resultados. A concentração da amostragem em poucas classes de diâmetros e com a amplitude de classe pequena, não abrangendo distribuição diamétrica da floresta corretamente, pode provocar erros na estimação da biomassa florestal, bem como o uso inadequado de modelos que são direcionados para uma espécie ou para tipologia florestal específica (CLARK; CLARK, 2000; CHAVE et al., 2004).

2.3 Equações pan-tropicais

Em nível internacional, vários estudos como Chave et al. (2004; 2005; 2014), Pearson e Brawn (2005) e PICARD et al. (2012), têm sido realizados para se obter equações que possam estimar com precisão a biomassa florestal para as diversas tipologias florestais existentes. No estudo de Chave et al. (2005), o objetivo foi gerar equações que pudessem ser utilizadas em diversas regiões dentro da faixa Pan-tropical. Nesse estudo, a maior parte das amostras foram disponibilizadas por pesquisadores da região Amazônica e o restante (poucas amostras) veio dos demais continentes (Figura 1).

Figura 1 – Localização das amostragens que formaram o banco de dados utilizado por Chave et al. (2005) na geração de equações pan-tropicais para biomassa seca acima do solo (BSAS).

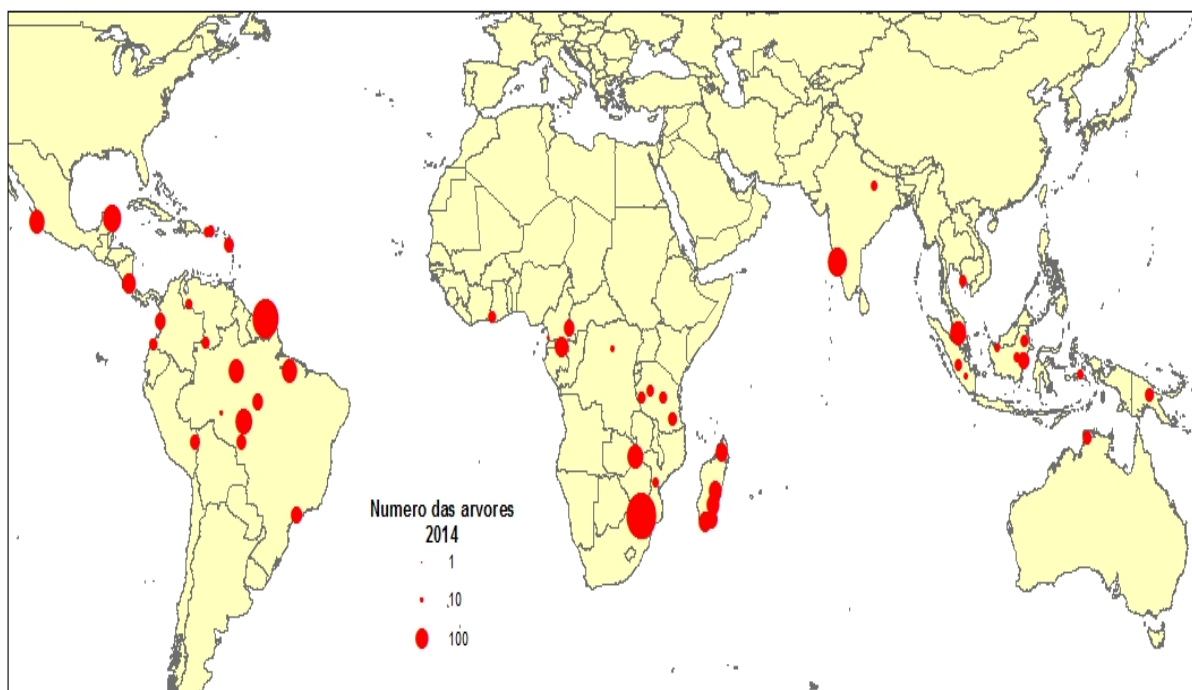


Fonte: Chave et al. (2005).

Os autores desse estudo, em parceria com outros pesquisadores, formaram um grande banco de dados com amostras coletadas em estudos realizados nas florestas tropicais de todo o mundo, contendo um total de 2410 árvores amostradas. Esse banco de dados de biomassa florestal é constituído por árvores com diâmetro entre 5 e 222 cm.

Chave et al. (2014) conseguiram construir equações com alta precisão, mas, o estudo ainda apresentou lacunas, como a falta de amostras das florestas tropicais da África (Figura 2). Por isso, a busca por uma equação mais robusta que pudesse estimar com segurança a biomassa florestal também nessa região e em diversas outras regiões fomentou o avanço nos estudos e Chave et al. (2014) publicaram equações melhoradas com grande amplitude de uso. Essas novas equações foram geradas a partir de um banco de dados contendo 4.004 árvores amostradas. Para se chegar a este elevado quantitativo, o estudo teve a colaboração de muitos pesquisadores em todo o mundo que ajudaram a compor o banco de dados e com isso foi possível a construção das novas equações. Nessas novas equações, os autores do trabalho acrescentaram um fator que retrata as características climáticas do local onde a equação é aplicada o que tornou as equações mais precisas para estimação da biomassa florestal.

Figura 2 – Localização das amostragens que formaram o banco de dados utilizado por Chave et al. (2014) na geração de equações pan-tropicais para biomassa seca acima do solo.



Fonte: Chave et al. (2014).

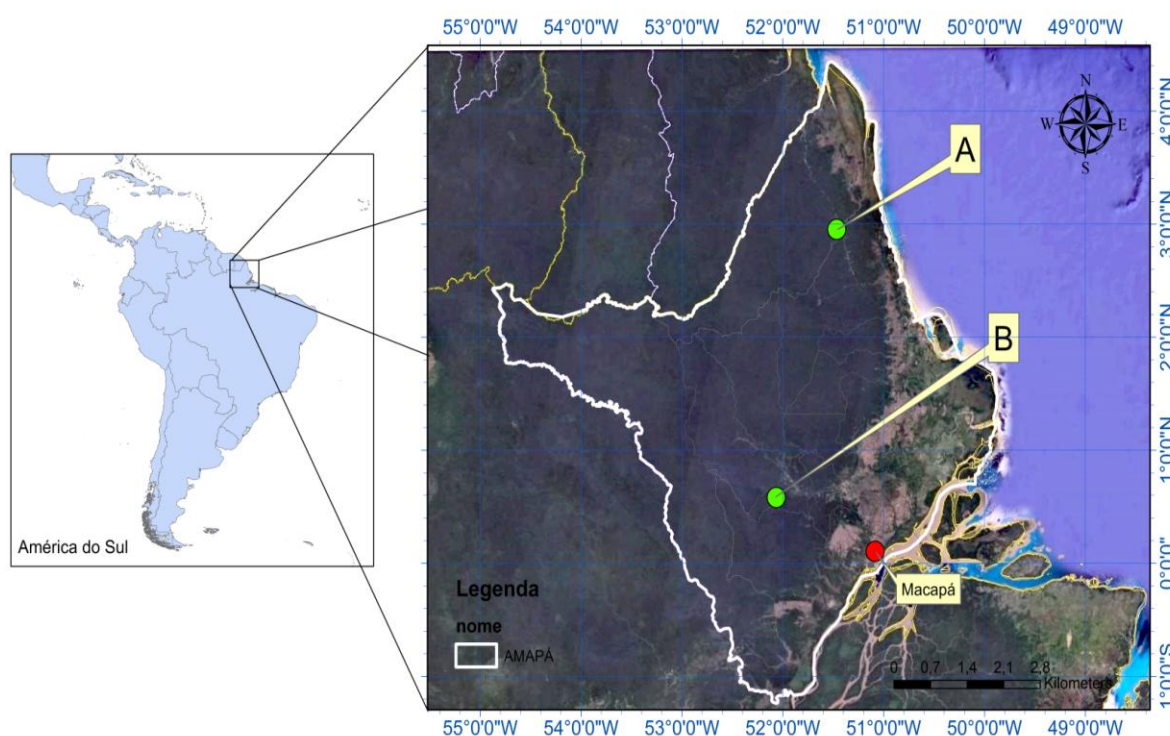
As equações de Chave et al. (2005; 2014) e Pearson e Brawn (2005), foram testadas neste estudo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

Os dados para este estudo foram obtidos em dois locais da FLOTA-AP (Figura 3). O primeiro local denominado “A” está situado entre os municípios de Calçoene e Oiapoque, nas coordenadas 2°57'16,00" N e 51°27'57,59" W, a uma distância de 630 km da Capital Macapá, com acesso por meio da BR-156 e pelo rio Caciporé. O segundo local, denominado “B”, está situado no município de Porto Grande (coordenadas 00°34'55,7" N e 52°03'54,9" W) a uma distância de 130 km da Capital Macapá.

Figura 3 – Localização da área de estudo. Área “A”, municípios de Amapá, Calçoene e Oiapoque, área “B”, município de Mazagão, Pedra Branca do Amapari e Porto Grande.



O clima da região é classificado conforme Köppen, como Amw' (clima tropical moçônico com chuvas de verão-outono), apresentando uma estação chuvosa de dezembro a junho e uma estação seca de julho a novembro (IEPA, 2008). A precipitação média anual é de aproximadamente 3.225 ± 138 mm, (média dos últimos 10 anos), sendo o mês de setembro o menos chuvoso e o mês de maio que apresenta maior intensidade de chuvas. A temperatura possui baixa amplitude térmica que vai de $24,8 \pm 0,15$ °C no mês mais frio a $26,9 \pm 0,10$ °C no mês mais quente (GOMES SOBRINHO; SOTTA, 2011).

O solo predominante nas áreas em estudo é o Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (IEPA, 2008). Esse tipo de solo é profundo e apresenta baixa fertilidade, ocorre, principalmente, em florestas densas de terra firme. É um solo resultante, em sua maioria, da decomposição de rochas pré-cambrianas e, em menor parte, de sedimentos terciários. O Latossolo Amarelo também é encontrado nas zonas que marcam a transição cerrado-floresta, principalmente, na região onde se localiza a área “A”. O Latossolo Amarelo apresenta cor amarelada e uniforme em profundidade, está associado a terrenos planos ou de baixo platô (IEPA, 2008).

A vegetação nas áreas em estudo é constituída por dois tipos florestais, predominantemente, Floresta Ombrófila Densa de terras baixas que apresenta árvores de grande porte como a cupiúba (*Goupia glaba* Aubl.) pertencente à família Goupiaceae, o mata-matá [*Eschweilera odora* (Poepp. ex O. Berg) Miers], família Lecythidaceae, envira preta (*Guatteria poepigiana* Mart.), família Malvaceae e mandioqueira escamosa (*Quelea spp*), família Vochysiaceae, cuja altura pode chegar até 51 m, também possui várias espécies de palmeiras e cipós (APARÍCIO, 2013; IEPA, 2008; LEITE et al., 1974; KLOCK, U. E. et al., 2005). A superfície do solo sob essa fitofisionomia é constituída por numerosos canais de drenagem, curtos e pouco profundos.

O outro tipo florestal é Floresta Ombrófila Densa Submontana, com destaque para as espécies mata-matá (*Eschweilera odora* (Poepp. ex O. Berg) pertencente à família Lecythidaceae, abiurana (*Pouteria caimito* Aubl.), família Sapotaceae, (*Inga auristellae*), família Fabaceae, e o Acapu (*Vouacapoua americana* Aubl.) da família Fabaceae, cuja altura do dossel pode chegar até 50 m, com relevo montanhoso e medianamente profundo (APARÍCIO, 2013; OLIVEIRA et al., 2012; JUNIOR; MONTEIRO, 2014).

3.2 Inventário de biomassa acima do solo

No inventário de biomassa florestal acima do solo na área “B” Oliveira et al. (2012) usaram a uma metodologia que foi desenvolvida por Higuchi e Carvalho Jr. (1995), melhorada por Higuchi et al. (1998) e aceita pelo IPCC (2007). Tal metodologia consistiu em: realizar a plotagem de 10 parcelas de 10 x 10 m, que são dispostas sistematicamente, em formato de “espinha de peixe” com uma distância de 50 m entre si. As 10 parcelas foram submetidas ao método destrutivo para amostragem da biomassa florestal. Portanto, todas as árvores dentro dessas parcelas foram derrubadas e pesadas por compartimento, conforme descrito no item 3.3.1. Esses dados foram cedidos para este estudo.

Para a realização do inventário de biomassa florestal na área “A”, este estudo utilizou a mesma metodologia usada por Oliveira et al. (2012), porém, com algumas modificações: foram plotadas 100 parcelas de 10 x 10 m aleatoriamente. Entre essas 100 parcelas foram sorteadas, quatro parcelas, para a realização do inventário de biomassa florestal das árvores menores ($5 \leq \text{DAP} < 40$ cm). Todas as árvores menores localizadas dentro dessas quatro parcelas foram medidas e pesadas por compartimento, conforme descrito no item 3.3.1. O inventário de biomassa florestal das árvores maiores ($\text{DAP} \geq 40$ cm) foi realizado em todas das 100 parcelas, onde todas das árvores maiores ($n = 53$) foram submetidas ao método destrutivo para a medição de sua biomassa, conforme o item 3.3.1. O erro estipulado foi de 20 % e a variável usada para calcular dessa suficiência foi DAP de cada árvore, por ser uma variável de fácil obtenção.

Todas as árvores que fizeram parte do inventário de biomassa foram plaqueadas e identificadas de forma preliminar (em campo), por um parataxonomista que atribuiu a cada árvore um nome vulgar. Em seguida foi realizada a coleta de material botânico, quando possível fértil e produzidas exsicatas para a identificação botânica das espécies, no herbário da Universidade Federal do Amapá. O nível de inclusão desse inventário foi de $\text{DAP} \geq 5$ cm (DAP - diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo). Quando necessário, o DAP foi medido acima da formação da sapopema para evitar os erros de mensuração e a consequente superestimação na predição da biomassa florestal.

Para cada árvore foram tomadas as seguintes medidas: DAP, altura comercial (H_c – comprimento máximo aproveitável para o desdobro na serraria), altura total (H_t). Para melhor visualização dos dados de DAP e altura total foi feita a distribuição diamétrica e hipsométrica. A distribuição diamétrica das árvores foi feita em oito classes de diâmetro, para calcular o número de classes de DAP foi utilizada a fórmula de Sturges [$1 + 3,322(\log n)$], conforme Lana et al. (2013) e Silveira (2009). A distribuição hipsométrica foi realizada considerando uma amplitude de quatro metros entre uma classe de altura.

3.2.1 Determinação da biomassa fresca acima do solo (BFAS)

Coleta dos dados de BFAS foi realizada por meio do método destrutivo, no qual as árvores eram derrubadas e mensuradas por compartimentos (tronco, galhos grossos, galhos finos e folhas). Essa mensuração obedeceu às seguintes etapas.

a) *Tronco*: o tronco era seccionado em partes menores para facilitar sua pesagem total. Também eram retiradas amostras transversais, na base, no meio e no topo do tronco.

Essas amostras eram, imediatamente, pesadas (determinação da biomassa fresca da amostra), identificadas e levadas para o laboratório, para a determinação do teor de umidade.

b) *Galhos grossos*: Todos os galhos grossos (galhos cuja extremidade fina possuía diâmetro ≥ 5 cm) eram pesados para obtenção do peso fresco total. De forma, aleatoriamente, era escolhido um galho grosso para a coleta de amostras seccionais, na base, no meio e no final do galho grosso. Essas amostras eram pesadas (determinação da biomassa fresca da amostra), identificadas e levadas para o laboratório para a determinação do teor de umidade.

c) *Galhos finos*: Todos os galhos finos de cada árvore (galho cuja extremidade mais grossa possuía diâmetro < 5 cm) eram pesados, para obtenção do peso fresco total. Para cada árvore era coletada uma amostra de galhos finos, essa amostra era composta por galhos finos retirados, aleatoriamente, de várias partes da copa. Posteriormente, ainda no campo, realizava-se a pesagem (determinação da biomassa fresca da amostra) e a identificação dessa amostra. Já em laboratório as amostras eram submetidas ao processo de secagem e de pesagem, para a determinação do teor de umidade.

d) *Folhas*: Todas as folhas de cada árvore eram separadas dos galhos finos e pesadas para obtenção do peso fresco total. Em seguida, era composta uma amostra com folhas retiradas de várias partes da copa da árvore. Essa amostra era pesada (determinação da biomassa fresca da amostra), identificada e levada ao laboratório, onde passava pelo processo de secagem e pesagem (determinação da biomassa seca da amostra), para a determinação do teor de umidade.

e) Finalmente, para se obter a BFAS (por árvore), foi realizado a somatória da biomassa fresca medida em cada compartimento da árvore (tronco, galhos grossos, galhos finos e folhas).

3.2.2 Determinação da biomassa seca (BSAS)

A biomassa seca acima do solo (BSAS) para cada compartimento da árvore foi obtida da seguinte forma:

a) Determinação do teor de umidade na amostra: em campo, cada amostra de tronco, galho grosso, galho fino e folha foi identificada e imediatamente pesada para obtenção da biomassa fresca. Em laboratório, essas amostras foram colocadas na estufa e expostas a uma temperatura de aproximadamente $103 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ até atingir o peso seco constante (biomassa seca). De posse dos dados de biomassa fresca e de biomassa seca determinou-se o

teor de umidade para cada amostra coletada, utilizando a equação descrita por Klock et al. (2005), adaptada para este estudo:

$$U (\%) = (BFa - BSa / BSa) \cdot 100$$

Em que:

U = Teor de umidade (%);

BFa = Biomassa fresca da amostra (g);

BSa = Biomassa seca da amostra(g).

b) Tronco: foi calculada uma média aritmética com os valores de teor de umidade das três amostras retiradas de cada tronco. Dessa forma, foi obtido um teor de umidade médio para cada tronco. Finalmente, o peso seco por tronco foi obtido conforme a equação descrita por Klock et al. (2005), adaptada para este estudo:

$$BSt = BFt - (BFt \cdot \ddot{U})$$

Em que:

BSt = Biomassa seca do tronco (kg);

BFt = Biomassa fresca acima do solo (kg);

\ddot{U} = teor de umidade médio do tronco (%).

c) Galhos grossos: a obtenção do peso seco dos galhos grossos por árvore seguiu o mesmo procedimento e obedeceu ao modelo de equação descrito para os troncos.

d) Galhos finos e folhas: para os galhos finos e para as folhas foi coletada, somente, uma amostra. O valor obtido como teor de umidade foi usado diretamente na equação para se obter o peso seco de mesmo modelo da equação citada na letra “a” dessa seção.

e) Finalmente, para se obter a BSAS (por árvore), foi realizado o somatório da biomassa seca medida em cada compartimento da árvore (tronco, galhos grossos, galhos finos e folhas).

3.3 Análise estatística dos dados

Os dados de BFAS medidos no campo e os dados de BSAS da pesagem das amostras após a secagem na estufa foram submetidos a uma análise exploratória. Essa etapa do trabalho teve como objetivo identificar dados que caracterizassem algum “outlier” entre o conjunto de dados, conhecer sua distribuição e a correlação entre as variáveis DAP, Ht, Hc e dbm em relação à variável biomassa fresta e seca. A realização dessa análise foi baseada na interpretação das medidas descritivas de tendência central como a média aritmética, medidas de dispersão como variância desvio padrão, erro padrão da média.

As variáveis explicativas usadas no ajuste dos modelos foram: o DAP, Hc, Ht e densidades básica da madeira (dbm). A dbm foi obtida por meio de consulta ao banco de dados de CIRAD. Os dados brutos foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) a 0,05 de significância para a verificação se os dados seguem uma distribuição normal, conforme Schneider et al. (2009), sendo que as hipóteses testadas foram:

H_0 : a distribuição testada segue a distribuição normal

H_1 : a distribuição testada não segue a distribuição normal

Como a prova de normalidade, por meio do KS, constatou que a distribuição dos dados não seguia uma distribuição normal ($D_{dap} = 0,2113$; $D_{Ht} = 0,1492$; $D_{BFAS} = 0,325$; $D = 1005$). Por isso, os dados brutos foram submetidos à transformação logarítmica para obter uma distribuição aproximadamente normal. Posteriormente, foi aplicado o coeficiente de correção de Pearson (r) para avaliar a existência de correlação entre a variável resposta e as variáveis explicativas. Após essa avaliação procedeu-se o ajuste dos modelos e a obtenção da distribuição dos erros. Novamente, foi aplicado o teste KS, para verificar se os erros de cada modelo apresentaram distribuição normal. Os resultados foram interpretados conforme Schneider et al. (2009).

Os cinco modelos ajustados neste estudo são modelos volumétricos adaptados para permitir a geração de equações para estimar BFAS e BSAS. Para a área “A” (região dos municípios de Calçoene e Oiapoque) foram geradas cinco equações BFAS e seis equações BSAS. Na área “B” foram geradas cinco equações para BSAS cinco equações BFAS (município de Porto). Posteriormente, foram geradas cinco equações BSAS envolvendo os dados das áreas “A” e “B” em conjunto (Tabela 1).

Tabela 1 - Modelos volumétricos adaptados para gerar equações para estimar biomassa florestal.

Autores	Modelos
Husch	$\text{LnBAS} = \text{Ln}\beta_0 + \beta_1 \text{LnDAP} + \text{Ln } \varepsilon_i$
Spurr	$\text{LnBAS} = \text{Ln}\beta_0 + \beta_1 \text{LnDAP}^2 \text{Ht} + \text{Ln } \varepsilon_i$
	$\text{LnBAS} = \text{Ln}\beta_0 + \beta_1 \text{LnAP} + \beta_2 \text{Lndbm} + \text{Ln } \varepsilon_i$
Schumacher e Hall	$\text{LnBAS} = \text{Ln}\beta_0 + \beta_1 \text{LnDAP} + \beta_2 \text{LnHc} + \text{Ln } \varepsilon_i$
	$\text{LnBAS} = \text{Ln}\beta_0 + \beta_1 \text{LnDAP} + \beta_2 \text{LnHt} + \text{Ln } \varepsilon_i$

3.3.1 Análise residual dos ajustes dos modelos

Para avaliar a homogeneidade da variância na distribuição dos resíduos foi aplicado o teste de Bartlett, que é obtido por meio da fórmula abaixo (SCHNEIDER et al. 2009):

$$\chi^2 = \frac{M \cdot \text{Ln} \left[\frac{\sum_{i=1}^n V_n \cdot S_n^2}{M} \right] - \sum_{i=1}^n (V_n \cdot \text{Ln} S_n^2)}{1 + \frac{1}{3(n-1)} \cdot \left[\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{V_n} \right) - \frac{1}{M} \right]}$$

Em que:

n = número de amostras;

S_n^2 = variância das amostras;

V_n = graus de liberdade;

$$M = \sum_{i=1}^n V_n$$

As hipóteses testadas para homogeneidade da variância foram: Tabelado

H_0 = para $\chi^2_{\text{Calculado}} < \chi^2_{\text{Tabelado}}$, a variância dos resíduos apresenta homogeneidade

H_1 : para $\chi^2_{\text{Calculado}} > \chi^2_{\text{Tabelado}}$, a variância dos resíduos apresenta heterogeneidade

Para avaliar a independência dos erros (ε_i) foi aplicado o teste de Durbin-Watson (d), que permite verificar se existe correlação serial nos resíduos das equações e pode ser obtido por meio da fórmula, conforme Schneider et al. (2009):

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\hat{\varepsilon}_i - \hat{\varepsilon}_{i-1} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2}$$

As hipóteses testadas para homogeneidade da variância foram: d

H_0 = não existe correlação em série nos resíduos

H_1 : existe correlação em série nos resíduos

- Quando $d < dl$ e $d < 4-dl$, o d não é significativo e aceita-se a hipótese H_0
- Quando $d < dl$ e $d > 4-dl$, o d é significativo rejeita-se H_0 e aceita-se a hipótese H_1
- Nos demais casos não permite conclusão.

3.3.2 Análise do ajuste dos dados ao modelo

Para avaliar a precisão das equações, conforme Chave et al. (2014), Rutishauser et al. (2013) e Scolforo, (2005) foram obtidos os seguintes critérios de avaliação:

- Erro Padrão Residual (EPR):

$$EPR = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [\text{BAS}_{\text{est}} - \text{BAS}_{\text{obs}}]^2}$$

Em que:

BAS est. = Biomassa acima do solo estimada para cada árvore;

BAS obs. = Biomassa acima do solo observada para cada árvore;

N= número de observações;

p = número de parâmetro do modelo.

- Coefficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2):

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-(K+1)} (1-R^2)$$

- Desvio do valor esperado (Viés):

$$\text{Viés} = \text{média} \left(100. \left(\frac{1}{\exp(\hat{\varepsilon}_i) - 1} \right) \right)$$

3.3.3 Análise da precisão das equações

a) Análise da variância

Com objetivo de verificar a existência de diferenças nas estimativas obtidas a partir de cada equação, em relação os valores reais de biomassa, aplicou-se a análise da variância considerando um delineamento inteiramente aleatório, cujo modelo matemático é:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_i$$

Em que:

y_{ij} = biomassa (kg) referente à equação i na árvore j;

μ = média geral;

τ_i = efeito da equação i na árvore j;

ε_i = erro aleatório.

Portanto, para área “A” foram realizados duas análises da variância, uma para as estimativas das equações de BFAS e a outra para as estimativas das equações de BSAS. Também foi realizada uma análise da variância para BSAS da área “B”. As estimativas obtidas por cada equação foram consideradas como um tratamento e os valores reais de BFAS e BSAS foram considerados como testemunhas (controle).

b) Análise gráfica dos resíduos

Análise gráfica dos resíduos foi aplicada para verificar a distribuição dos resíduos conforme o modelo utilizado.

3.3.4 Desempenho das equações pan-tropicais para estimar biomassa florestal nas áreas em estudo

As equações de abrangência pan-tropical publicadas nos estudos de Chave et al. (2005), Person e Brawn, (2005) foram usadas para estimar a BSAS das áreas “A” e “B” (Tabela 2), assim como as equações de Chave et al. (2014) que foram acrescentadas com a variável ambiental “E”. O valor da variável “E” na área “A” é: -0.05713175 e para a área “B” a variável “E” é: -0.05713175. Essa variável pode ser obtida na base de dados suplementar de Chave et al., 2014 (http://chave.ups-tlse.fr/pantropical_allometry.htm), e segue a fórmula descrita abaixo.

$$E = (0,178.T - 0,938.DHC - 6,61.P).10^{-3}$$

Em que:

T= Temperatura; DHC = Déficit Hídrico Climático; P = Precipitação,

Tabela 2 - Equações pan-tropicais avaliadas para estimar BSAS, E (variável ambiental).

Autores	Equações
Chave et al. (2005)	$\hat{\text{LnBSAS}} = -2,977 + \ln \text{dbm} \cdot \text{DAP}^2 \cdot \text{Ht}$
	$\hat{\text{BSAS}} = 0,0673 \cdot (\text{dbm} \cdot \text{DAP}^2 \cdot \text{Ht})^{0,976}$
Chave et al. (2014)	$\hat{\text{LnBSAS}} \text{ (“A”)} = -1,803 - 0,976 \cdot E + 0,976 \cdot \text{Lndbm} + 2,673 \cdot \text{LnDAP} + 0,0299 \cdot \text{Ln(DAP)}^2$
	$\hat{\text{LnBSAS}} \text{ (“B”)} = -1,803 - 0,976 \cdot E + 0,976 \cdot \text{Lndbm} + 2,673 \cdot \text{LnDAP} + 0,0299 \cdot \text{Ln(DAP)}^2$
Pearson et al. (2005)	$\hat{\text{LnBSAS}} = -2,289 + 2,649 \cdot \text{LnDap} - 0,021 \cdot \text{Ln(DAP)}^2$

Para realizar as análises foram utilizados os seguintes softwares: *Microsoft Excel*, para a tabulação dos dados e a elaboração dos gráficos e pacote *R Studio* no ajuste dos modelos.

4 RESULTADOS

4.1 Inventário de biomassa

As espécies identificadas na área “B” são descritas no estudo Oliveira et al. (2012). Na área “A” foram amostradas 739 árvores, desse total, 75 árvores distribuídas em 22 famílias foram usadas na amostragem de biomassa (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição florística da amostragem feita para o inventário de biomassa fresca acima do solo na região de Calçoene e Oiapoque (área “A”).

Nome vulgar	Nome científico	Família
Envira preta	<i>Guatteria poepiggiana</i> Mart.	Annonaceae
Carapanaúba	<i>Aspidosperma nitidum</i> Benth.	Apocynaceae
Araracanga	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. ex Müell.Arg.	Apocynaceae
Sorva	<i>Couma macrocarpa</i> arb. Rodr.	Apocynaceae
Para-para	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don.	Bignoniaceae
Mamorana	<i>Pachira aquática</i> Aubl.	Malvaceae
Louro amarelo	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrabida ex Steudel.	Boraginaceae
Breu branco	<i>Protium heptaphyllum</i> Aubl.	Burseraceae
Taxi vermelho	<i>Sclerolobium chrysophyllum</i> Poepp.	Fabaceae
Pitaíca	<i>Swartzia platygyne</i> (Benth). Duck	Fabaceae
Cupiúba	<i>Goupia glaba</i> Aubl.	Celastraceae
Melancieiro	<i>Alexa grandiflora</i> Duck	Fabaceae
Sucupira preta	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	Fabaceae
Sucupira amarela	<i>Diploptropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff	Fabaceae
Angelim pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i> Duck	Fabaceae
Inga vermelho	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Fabaceae
Inga xixica	<i>Inga heterophylla</i> Willd.	Fabaceae
Mututirana	<i>Pterocarpus officinalis</i> Jacq.	Fabaceae
Urucurana	<i>Swartzia recurva</i> Var. <i>recurva</i> (Poepp.) Ducke	Fabaceae
Faveira	<i>Vatairea sericea</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae
Axua	<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth	Humiriaceae
Itauba	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. Ex Mez	Lauraceae
Louro	<i>Ocotea costulata</i> (Nees) Mez	Lauraceae
Louro preto	<i>Ocotea fragamissima</i> Duck	Lauraceae
Louro vermelho	<i>Ocotea rubra</i> Mez	Lauraceae
Tauari	<i>Couratari Tauari</i> (BR, VE)	Lecythidaceae
Matamata preto	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp. ex O. Berg) Miers	Lecythidaceae
Genipaparana	<i>Gustavia augusta</i> L.	Lecythidaceae
Pau de bicho	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae
Casca de vidro	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	Myristicaceae
Ucuubarana	<i>Iryanthera grandis</i> Duck	Myristicaceae
Ucubarana	<i>Virola calophylla</i> (Spruce) Warb. var.	Myristicaceae
Ucuuba de sangue	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	Myristicaceae
Apa	Não identificada	Não identificada
Acariquara	<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	Olacaceae
Macucu	<i>Licania latifolia</i> Benth.	Rosaceae
Abiurana	<i>pouteria guianensis</i> Aubl.	Sapotaceae
Abiurana	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	Sapotaceae
Marupa	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Simaroubaceae
Meraúba	<i>Simarouba glauca</i> DC	Simaroubaceae
Mandioqueira	<i>Qualea brevipedicellata</i> Stafleu	Vochysiaceae
Quaruba vermelha	<i>Vochysia maxima</i> Duck	Vochysiaceae
Quaruba	<i>Vochysia spp.</i>	Vochysiaceae

O erro de amostragem cometido foi de 14,63 %, inferior ao erro estipulado para este estudo (20 %). A amostragem de biomassa fresca acima do solo na área “A” foi composta por 74 árvores. Dessas, 21 árvores possuíam DAP < de 40 cm e 53 árvores com DAP ≥ de 40 cm.

A amostragem realizada possibilitou a representatividade das árvores maiores (DAP ≥ 40 cm) na amostra. Alguns estudos como Chave et al. (2004), Chave et al. (2005), Person; Brawn, (2005), Lima et al. (2012), Chave et al. (2014) e Nogueira et al. (2015), questionam a amostragem de poucas árvores maiores em ajustes de modelos que originam equações para estimar biomassa florestal, visto que a maior quantidade da biomassa está concentrada nessas árvores e salientam a impossibilidade de equações de baixa amplitude de DAP serem usadas para estimar a biomassa de árvores com grandes diâmetros.

Portanto, é fundamental que, no ajuste de modelos para gerar equações para estimar biomassa em florestas nativas, as árvores maiores estejam bem representadas na amostra. O esforço amostral deste estudo atende as prerrogativas apontadas nos estudos anteriores. Isto é confirmado com os dados de distribuição diamétrica (Tabela 4).

Tabela 4 - Distribuição diamétrica e hipsométrica das árvores amostradas, área “A”.

Classes de DAP (cm)	Centro de classe de altura (m)											Total por classe de DAP	
	7	11	15	19	23	27	31	35	39	43	47		51
5 † 21	5	5	4	2									16
21 † 37			1		1	3							5
37 † 53					1	10	6	3	1				21
53 † 69						4	4	3	3				14
69 † 85						1	2	3	2	1			9
85 † 101								1	3	2	1		7
133 † 149									1				1
149 † 165												1	1
Total Geral	5	5	5	2	2	18	12	10	10	3	1	1	74

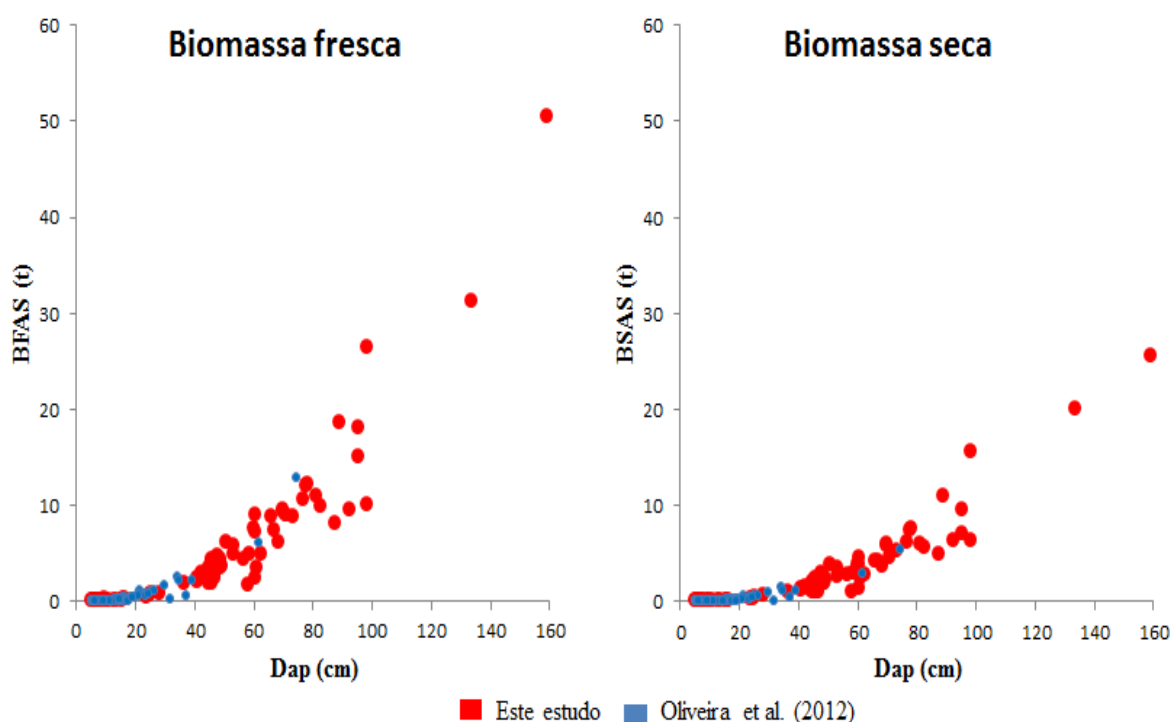
O inventário florestal na área “B” foi realizado por Oliveira et al. (2012) e obedeceu a mesma metodologia de coleta de dados descrita anteriormente. Abaixo são apresentados os dados deste estudo acrescidos dos dados de Oliveira et al. (2012) (Tabela 5).

Tabela 5 - Distribuição diamétrica e hipsométrica das árvores amostradas na áreas “A” acrescida com os dados da área “B” cedidos por Oliveira et al (2012).

Classes de DAP (cm)	Centro de classe de altura (m)											Total por classe de DAP	
	7	11	15	19	23	27	31	35	39	43	47		51
5 + 21	23	35	31	12	5	1							107
21 + 37	1		2	3	3	4	3	1					17
37 + 53					1	11	6	3	1				22
53 + 69						4	5	3	3				15
69 + 85						1	2	3	3	1			10
85 + 101								1	3	2	1		7
133 + 149									1				1
149 + 165												1	1
Total Geral	24	35	33	15	9	21	16	11	11	3	1	1	180

Na área “A” foram pesadas em campo 432 t de biomassa fresca, após o processo de secagem foi obtido um total de 245 t de biomassa seca, ou seja, o peso seco corresponde a 56,7 % do peso de biomassa fresca. Para a área “B”, a biomassa fresca foi igual a 45 t e a biomassa seca igual a 22,3 t, o representa 49,55 % da biomassa fresca (Figura 4).

Figura 4 - Biomassa fresca e biomassa seca em relação ao e DAP, dados amostrados neste estudo e no estudo de Oliveira (2012).



Resultados semelhantes foram relatados nos estudos de Higuchi e Carvalho Jr. (1995), Higuchi et al. (1998), Silva (2007). Para Oliveira et al. (2012), resultados como este evidencia que a vegetação arbórea da região amazônica concentra um elevado teor de umidade em sua formação.

4.2 Análise descritiva dos dados

O menor DAP encontrado neste estudo foi igual a 5,72 cm e o maior igual a 160 cm, sendo o diâmetro médio (n = 180) igual a 40,13 cm. A varável DAP apresentou um coeficiente de variação elevado, o que é característico de florestas tropicais nativas (Tabela 6).

Tabela 6 - Estatística descritiva para as variáveis das 180 árvores amostradas neste estudo.

Variáveis	Média	Unidade	Variância	Desvio Padrão (\pm)	Erro padrão da média	Coefficiente de variação (%)
BFAS	2649,48	Kg	33887072,95	5821,26	433,89	219,71
DAP	28,69	Cm	792,22	28,12	2,10	98,15
Ht	20,10	M	113,74	10,67	0,95	53,01
Hc	10,10		31,64	5,63	0,42	51,11

O coeficiente de correção indicou forte correlação entre as variáveis lnDAP e lnHt em relação à lnBFAS e uma baixa correlação entre lnBFAS e lnDbm (Tabela).

Tabela 7- Matriz de correlação formada com resultados obtidos por meio do coeficiente de correlação de Pearson, aplicado para verificação de correlação entre as variáveis dependentes e independentes utilizadas no ajuste dos modelos.

	DAP	LnDAP	Ht	LnHt	Hc	LnHc	dbm	LnDbm
BFAS	0,8739		0,7103		0,3995		0,0441	
BSAF	0,8809		0,7122		0,3979		0,0524	
LnBFAS		0,9864		0,9218		0,7331		-0,0086
LnBSAS		0,9822		0,9243		0,7283		-0,0162

Vários estudos que abordam o tema biomassa na Amazônia (HIGUCHI; CARVALHO Jr, 1995; PERSON; BRAUN, 2005; LIMA et al., 2012; CHAVE et al., 2014; NOGUEIRA et al., 2015), têm demonstrado que o DAP, a altura e a densidade da madeira apresentam elevada correlação com a biomassa fresca e seca, acima e abaixo do solo, o que corrobora, em parte,

os resultados observados. Uma explicação para a baixa correlação entre a $\ln dbm$ e a $\ln BFAS$ pode ser fato de a dbm ter sido obtida de banco de dados e não realmente de cada árvore.

4.3 Ajustes dos modelos para estimar biomassa florestal

4.3.1 Equações para estimar biomassa fresca acima do solo (BFAS), área “A”

Para estimar a BFAS da área “A” foram geradas cinco equações, com a amplitude de uso entre 5 e 160 cm de DAP. Todas as equações apresentaram R^2_{aj} superiores a 97 %, Viés com valores baixos entre 4,77 e 6,48 e EPR com valores entre 0,314 a 0,348, caracterizando elevada acurácia e precisão (Tabela 8).

Tabela 8 – Equações para estimar BFAS na área “A”.

Nº	Equações para estimativa de BFAS	R^2_{aj}	Viés %	EPR %	F
1	$\hat{\ln BFAS} = -1,1343 + 2,3745 \cdot \ln DAP$	0,971	6,487	0,347	2445,49
2	$\hat{\ln BFAS} = -1,08977 + 2,37288 \cdot \ln DAP + 0,07914 \cdot \ln dbm$	0,971	6,487	0,347	1209,84
3	$\hat{\ln BFAS} = -1,26521 + 2,31712 \cdot \ln DAP + 0,13520 \cdot \ln Hc$	0,971	6,391	0,344	1229,83
4	$\hat{\ln BFAS} = -2,36690 + 1,88060 \cdot \ln DAP + 0,93850 \cdot \ln Ht$	0,976	4,984	0,314	1482,78
5	$\hat{\ln BFAS} = -2,36866 + 0,93989 \cdot \ln DAP^2 Ht$	0,978	4,984	0,314	3007,31

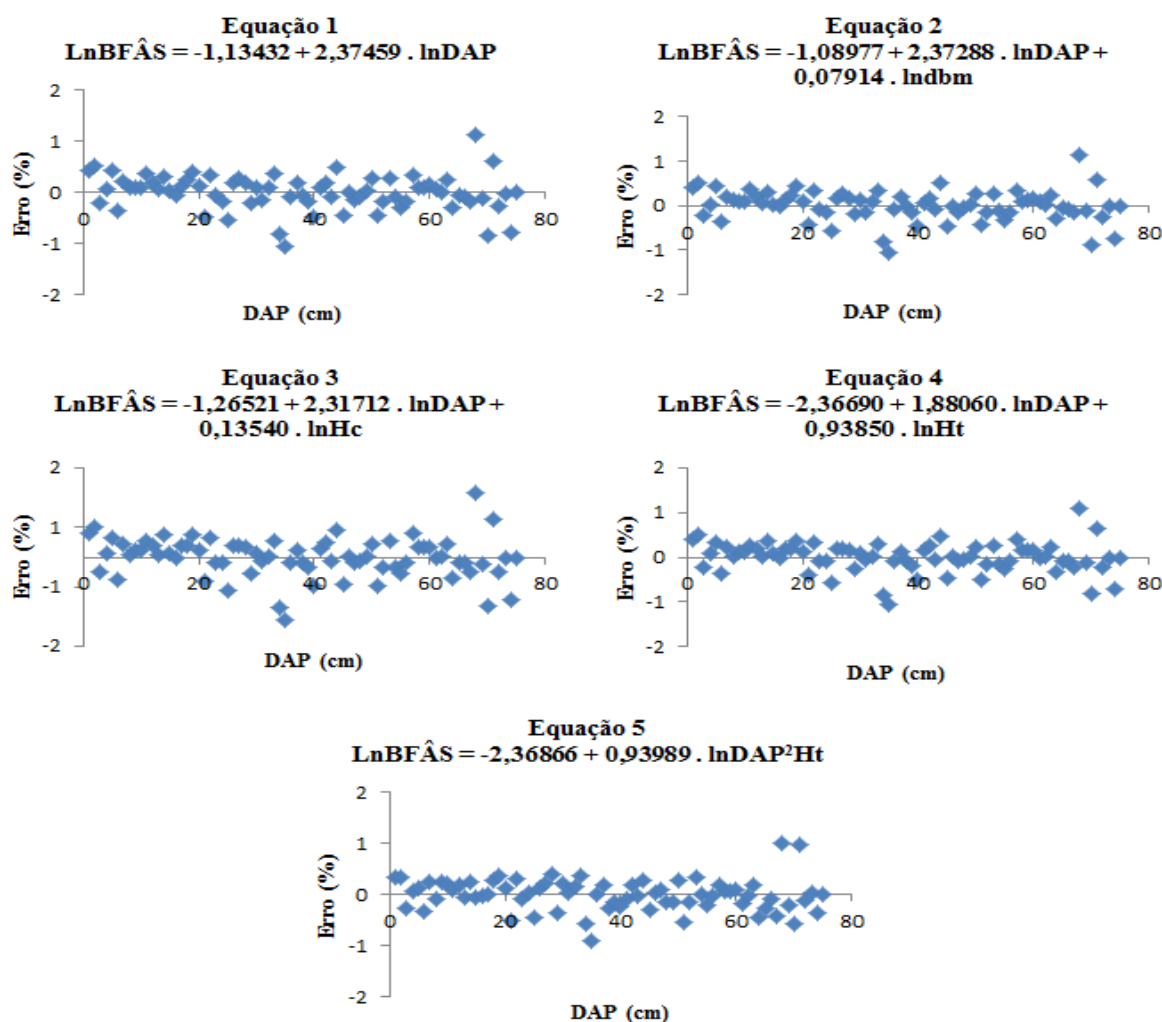
O total de BFAS medida em campo para as 74 árvores amostradas na área “A” foi igual a 432 t. A equação 1 estimou um total de 427,4 t de BFAS (IC entre 405,6 t e 449,1 t; a 99 % de probabilidade), explicando 98,9 % da biomassa medida em campo. Observa-se que, apesar da equação 1 apresentar valores muito próximos dos valores reais de biomassa, o Viés e o EPR desta equação são os mais elevados, como pode ser visto na Tabela 7.

A equação 2 estimou 428,68 t (IC entre 405,6 t e 449,1 t; a 99 % de probabilidade), explicando 99,23 % da biomassa medida no campo. Não houve contribuição significativa da variável dbm para o ajuste do modelo 2 (probabilidade = 0,6305; significância = 0,01). Na equação 3, o total de BFAS estimado foi igual a 421,8 t (IC entre 406,8 t e 450,6 t; a 99 % de probabilidade), explicando 97,6 % da biomassa medida em campo, sendo que a variável Hc não apresentou contribuição significativa para o ajuste do modelo 3 (probabilidade = 0,24456; significância = 0,01).

A BFAS estimada pela equação 4 foi igual a 418,13 t (IC entre 397,7 t e 438,5 t; a 99 % de probabilidade), explicando 96,8 % da biomassa medida no campo, tanto DAP como Ht apresentaram contribuição altamente significativa (probabilidade < 0,00001) e probabilidade = 0,000164, significância < 0,01) respectivamente. A equação 5 estimou 417,98 t (IC entre 397,5 t e 438,4 t; a 99 % de probabilidade). Observa-se que os valores estimados pelas equações originadas nos ajustes dos modelos 4 (Schumacher e Hall) e 5 (Spurr) foram, semelhantes.

De forma geral, todas as equações apresentaram boas distribuições residuais. Contudo, não foi possível identificar qual equação apresenta o melhor padrão de distribuição (Figura 5).

Figura 5 - Distribuição residual das equações geradas para estimar BFAS para área “A”.



Para a prova de normalidade dos erros por meio do teste KS foram obtidos os seguintes resultados: $D_{\text{equação 1}} = 0,0949$, $D_{\text{equação 2}} = 0,1194$, $D_{\text{equação 3}} = 0,1159$ e $D_{\text{equação 4}} = 0,0892$, $D_{\text{equação 5}} = 0,0893$, que comparados com $D_{\text{tabelado}} = 0,1581$ a 0,05 % de significância

indicam que a hipótese H_0 deve ser aceita, e que os erros de cada equação apresentam distribuição normal.

Para a prova de homogeneidade da variância dos erros feita por meio do teste de Bartlett foram obtidos os seguintes resultados em cada equação: $\chi^2_{\text{EQUAÇÃO 1}} = 0,0153$, $\chi^2_{\text{equação 2}} = 0,0152$, $\chi^2_{\text{equação 3}} = 0,0147$ e $\chi^2_{\text{equação 4}} = 0,0101$, $\chi^2_{\text{equação 5}} = 0,0101$, que comparados com χ^2_{tabelado} ($\chi^2_{(2gl)} = 0,10258$; $\chi^2_{(3gl)} = 0,351$, a 0,05 % de significância) indicam que a hipótese H_0 deve ser aceita, e que os erros de cada equação apresentam homogeneidade da variância.

A prova de independência por meio do teste de Durbin-Watson indicou que as todas as equações apresentaram independências dos resíduos ($d_{\text{equação 1}} = 2,007$; $d_{\text{equação 2}} = 2,006$; $d_{\text{equação 3}} = 2,021$; $d_{\text{equação 4}} = 2,349$; $d_{\text{equação 5}} = 2,348$; $k = 1$ para $n = 74$ a 0,05 % de probabilidade), ou seja, não existe correlação em série para os resíduos dessas equações.

A análise da variância indicou que ao nível de 5 % de probabilidade não há diferença significativa entre as médias de BFAS estimadas pelas equações e os valores reais de BFAS medidos em campo (Tabela 9).

Tabela 9 – Análise de variância realizada para comparar as estimativas e os valores reais de BFAS.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	valor-P
Equações	5	2,30	0,46	0,0072 ^{ns}	0,99
Resíduo	438	27838,44	63,56		
Total	443	27840,74			

ns = não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

Considerando os resultados citados acima, a equação indicada para estimar a BFAS na área “A” é a equação 5, que apresentou os melhores resultados para os critérios avaliados.

4.3.2 Equações para estimar biomassa seca acima do solo (BSAS), a área “A”

Para estimar a BSAS, na área “A” foram geradas cinco equações com amplitude de uso entre 5 e 160 cm de DAP. Todas as equações apresentaram R^2_{aj} acima de 96 %, EPR entre 0,375 e 0,413, Viés com valores entre 6,956 e 9,371. Nota-se que as equações geradas sem a variável Ht apresentaram maior Viés e maior ERP (Tabela 10). O F calculado foi altamente significativo em todas as equações como mostra a tabela abaixo e a análise de variância de cada equação.

Tabela 10 - Equações para estimar BSAS, a área “A”.

Nº	Equações para estimativa de BSAS	R ² _{aj}	Viés %	EPR %	F
1	$\hat{\text{LnBSAS}} = -2,6911 + 2,6170 \cdot \text{LnDAP}$	0,966	9,352	0,413	2093,45
2	$\hat{\text{LnBSAS}} = -2,66373 + 2,61599 \cdot \text{LnDAP} + 0,04863 \cdot \text{Ln dbm}$	0,967	9,352	0,413	1033,65
3	$\hat{\text{LnBSAS}} = -2,9206 + 2,5163 \cdot \text{LnDAP} + 0,2371 \cdot \text{LnHc}$	0,968	8,982	0,405	1078,28
4	$\hat{\text{LnBSAS}} = -4,1328 + 2,0391 \cdot \text{LnDAP} + 1,0978 \cdot \text{LnHt}$	0,972	6,956	0,375	1260,47
5	$\hat{\text{LnBSAS}} = -4,0551 + 1,0362 \cdot \text{LnDAP}^2\text{Ht}$	0,973	6,956	0,375	2554,49

Os modelos ajustados com DAP e Ht foram os que apresentaram melhores precisões e acurácias. O total de BSAS medida foi igual a 245 t, a equação 1 estimou 263,3t de BSAS (IC entre 248,1 a 278,4t a 99 % de probabilidade), superestimando a BSAS medida em 7,5 %.

Para a equação 2, o total de BSAS estimada foi igual a 263,8 t, (IC entre 248,5 a 279,1t a 99 % de probabilidade), superestimando a BSAS em 7,6 %. Essas duas equações apresentaram o Viés e EPR mais elevados. Para equação 2, a variável dbm não apresentou contribuição significativa (probabilidade= 0,28385; significância < 0,01), também foi observada contribuição não significativa da variável Hc na equação 3 (probabilidade = 0,821119; significância < 0,01).

Para a equação 3, o total de BSAS estimado foi igual a 256,83 t (IC entre 242,41t a 271,2 t a 99 % de probabilidade), superestimando a BSAS em 4,7 %. Para a equação 4 o total estimado foi igual a 255,69 t (IC entre 241,6 a 269,9 t a 99 % de probabilidade) e a equação 5 estimou 256,15 t (IC entre 241,9 a 270,1 t a 99 % de probabilidade).

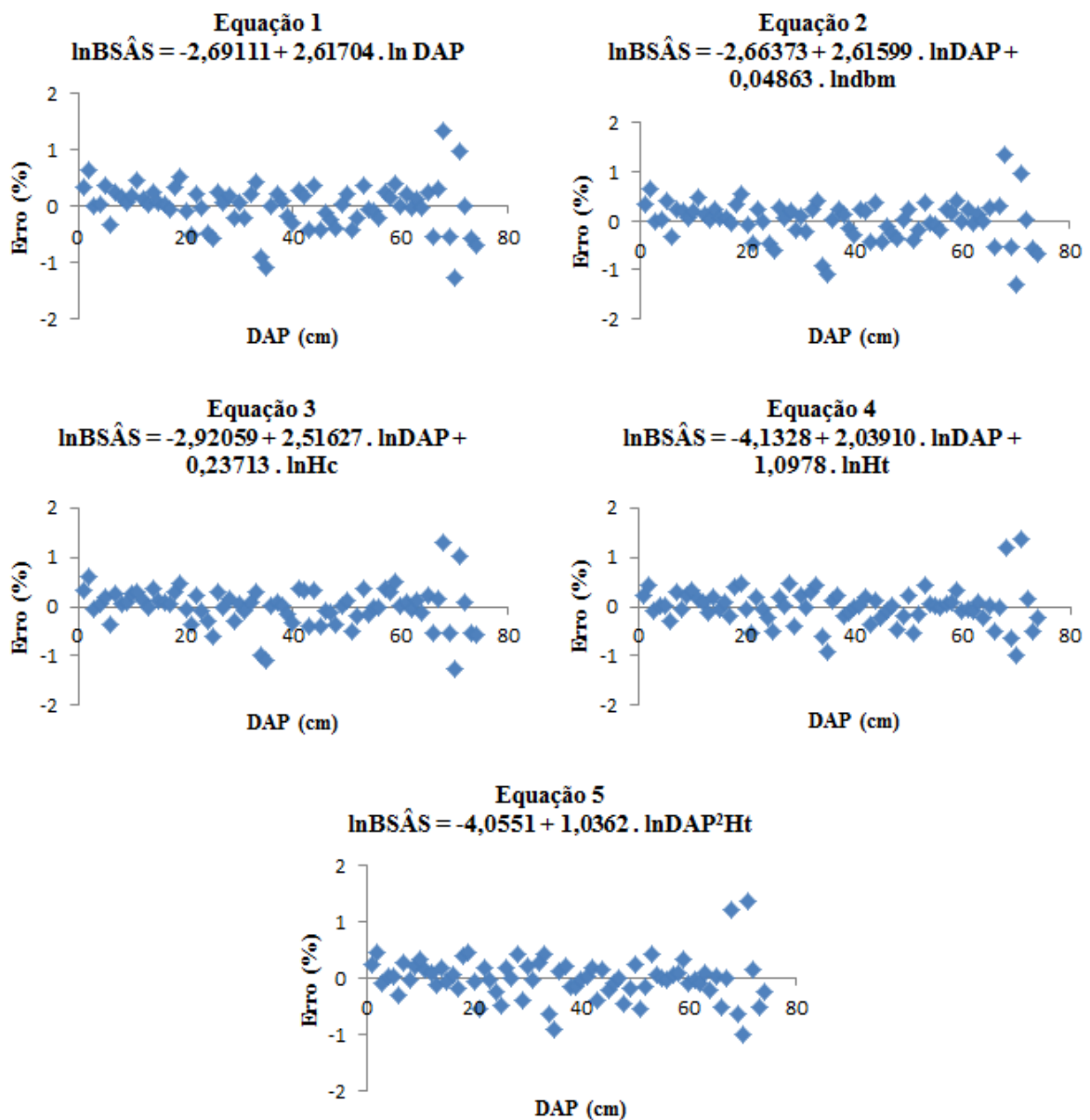
O exame da distribuição dos erros feito por meio do teste KS obteve os seguintes resultados: $D_{\text{equação 1}} = 0,1145$, $D_{\text{equação 2}} = 0,104$, $D_{\text{equação 3}} = 0,1014$, $D_{\text{equação 4}} = 0,1195$ e $D_{\text{equação 5}} = 0,105$, $D_{\text{equação 6}} = 0,1096$, que comparados com $D_{\text{tabelado}} = 0,1581$ a 0,05 % de significância indicam que a hipótese H_0 deve ser aceita, e que os erros de cada equação apresentam distribuição normal.

Por meio do teste de Bartlett foram obtidos os seguintes resultados para a prova de homogeneidade da variância dos erros das equações: $x^2_{\text{equação 1}} = 0,0207$, $x^2_{\text{equação 2}} = 0,9414$, $x^2_{\text{equação 3}} = 0,0190$ e $x^2_{\text{equação 4}} = 0,014$, $x^2_{\text{equação 5}} = 0,0140$, que foram comparados com x^2_{tabelado} ($x^2_{(2gl)} = 0,10258$; $x^2_{(3gl)} = 0,3518$, a 0,05 % de significância) e indicaram homogeneidade nas variâncias dos erros, portanto a hipótese H_0 foi aceita.

A prova de independência por meio do teste de Durbin-Watson indicou que todas as equações apresentaram independências dos resíduos ($d_{\text{equação 1}} = 1,956$; $d_{\text{equação 2}} = 1,960$; $d_{\text{equação 3}} = 1,980$; $d_{\text{equação 4}} = 2,255$; $d_{\text{equação 5}} = 2,245$; $k = 1$ para $n = 74$ a 0,05 % de probabilidade), ou seja, não existe correlação em série para os resíduos destas equações.

As distribuições residuais das equações de 1 a 3 mostram uma tendência em superestimar a BSAS. As equação 4 e 5 foram as que apresentaram a melhor distribuição, com apenas alguns pontos com desvios mais elevados (Figura 6).

Figura 6 - Distribuição residual das equações geradas para estimar BSAS para área “A”, $n = 74$.



Conforme a análise da variância, não houve diferença significativa entre as médias da BSAS estimada por cada equação e a média da BSAS real (Tabela 11).

Tabela 11 - Análise de variância realizada para comparar as estimativas e os valores reais de BSAS coletados no campo.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	valor-P
Equações	5	3,14	0,63	0,0219 ^{ns}	0,99
Resíduo	438	12557,61	28,67		
Total	443	12560,75			

ns = não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

As equações 4 e 5 apresentaram os melhores resultados e são as mais indicadas para estimar a BSAS na área “A”, e dentre essas duas, a equação 4 apresentou o menor Viés calculado e foi a equações escolhida para estimar a BSAS na área “A”.

4.3.3 Equações para estimar biomassa seca acima do solo (BSAS) para área “B”

Foram ajustados cinco modelos originando cinco equações para estimação de BSAS, com amplitude entre 5 e 75 cm de DAP (Tabela 12). As equações apresentaram boas precisões, com R^2_{aj} superiores a 0,92, valores de Viés entre 8,46 e 10,91 e ERP com valores entre 0,386 e 0,425. Todas as equações apresentaram F calculados altamente significativos.

Tabela 12 - Equações para estimar BSAS para área “B”.

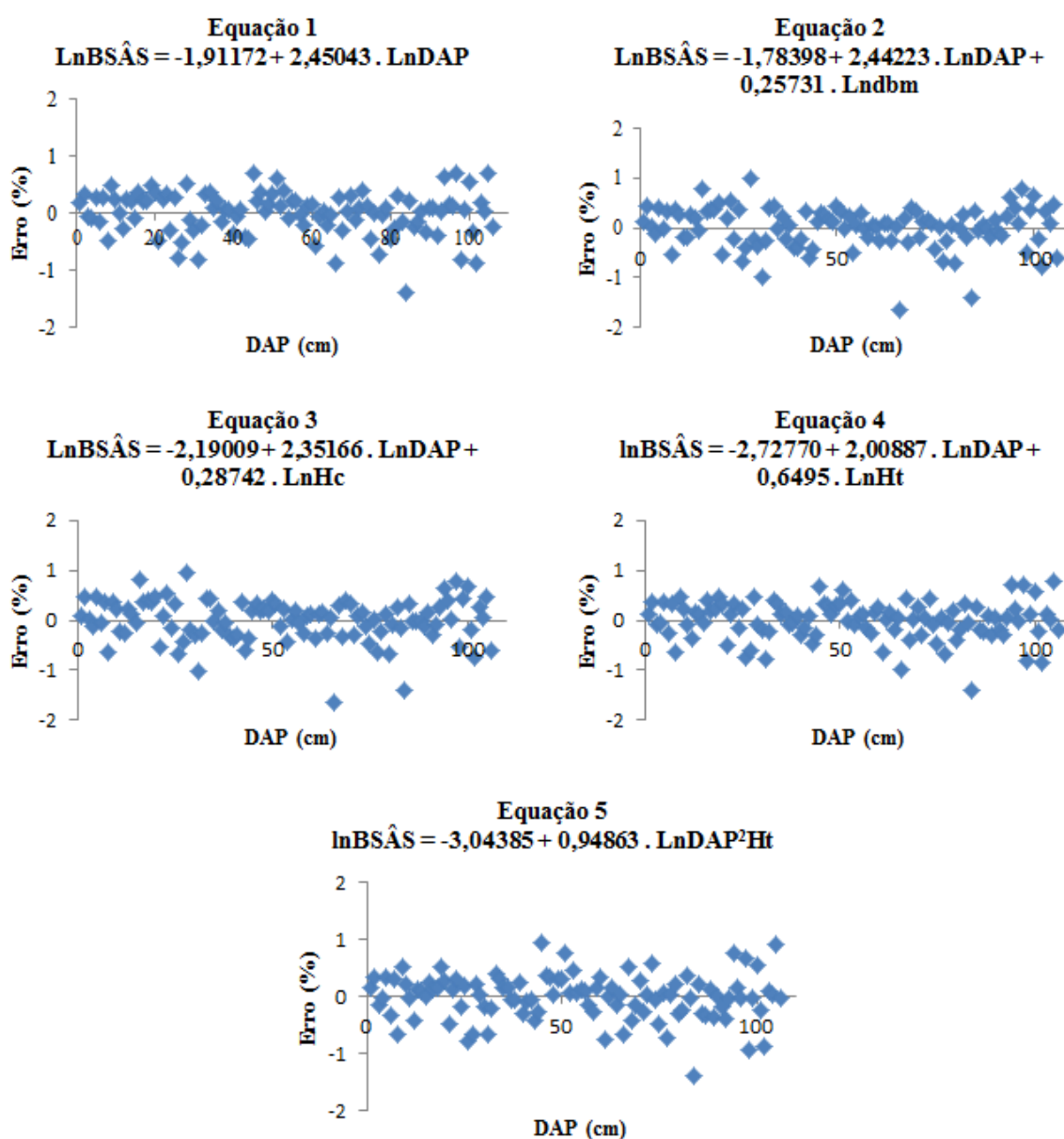
Nº	Equações para estimativa de BSAS	R^2_{aj}	Viés %	ERP %	F
1	$\hat{\text{LnBSAS}} = -1,91172 + 2,45043 \cdot \text{LnDAP}$	0,921	10,915	0,424	1216,651
2	$\hat{\text{LnBSAS}} = -1,78398 + 2,44223 \cdot \text{LnDAP} + 0,25731 \cdot \text{Lndbm}$	0,922	10,796	0,421	613,542
3	$\hat{\text{LnBSAS}} = -2,19009 + 2,35166 \cdot \text{LnDAP} + 0,28742 \cdot \text{LnHc}$	0,926	10,055	0,410	649,382
4	$\hat{\text{LnBSAS}} = -2,72770 + 2,0887 \cdot \text{LnDAP} + 0,6495 \cdot \text{LnHt}$	0,935	8,463	0,385	741,273
5	$\hat{\text{LnBSAS}} = -3,04385 + 0,94863 \cdot \text{LnDAP}^2\text{Ht}$	0,931	8,662	0,394	1425,494

Para as equações 4 e 5, as variáveis DAP e Ht contribuíram de forma altamente significativa ($p < 0,0001$ ao nível de probabilidade de 0,01%). A Hc não ofereceu boa contribuição no ajuste do modelo 3. Para o modelo 2 a dbm também não contribuiu significativamente no ajuste (probabilidade = 0,19895 a 0,01 % de significância).

O total de BSAS medido na área “B” foi igual a 22,37 t, por meio das equações foram obtidas as seguintes estimativas para a BSAS com IC a 99 % de probabilidade: a equação 1 estimou 22,17 t (IC entre 20,40 a 23,93 t); a equação 2 estimou 22,29 t (IC entre 20,50 a 24,08 t); a equação 3 estimou 24,21 t (IC entre 22,31 a 26,09 t); a equação 4 estimou 21,76 t (IC entre 20,04 a 23,46 t) e a equação 5 estimou 21,13 t (IC entre 19,51 a 22,74 t). Como observado, todas as equações estimaram com grande precisão a BSAS na área “B”.

A equação 4 é a que apresenta a melhor distribuição residual, as demais apresentam alguns pontos dispersos (Figura 7).

Figura 7 - Distribuição residual das equações geradas para BSAS para a área “B”.



Por meio do teste de Bartlett foram obtidos os seguintes resultados para a prova de homogeneidade da variância dos erros de cada equação: $\chi^2_{\text{EQUAÇÃO 1}} = 0,1758$, $\chi^2_{\text{EQUAÇÃO 2}} =$

0,170, $x^2_{\text{EQUAÇÃO 3}} = 0,1529$ e $x^2_{\text{EQUAÇÃO 4}} = 0,1181$, $x^2_{\text{EQUAÇÃO 5}} = 0,129$, que comparados com x^2_{tabelado} ($x^2_{(2gl)} = 0,10258$, $x^2_{(3gl)} = 0,3518$, a 0,05 % de significância) indicando que não existe heterocedasticidade nos erros das equações.

A prova de independência por meio do teste de Durbin-Watson indicou que todas as equações apresentaram independências dos resíduos; ($d_{\text{equação 1}} = 2,1181$; $d_{\text{equação 2}} = 2,0473$; $d_{\text{equação 3}} = 2,1918$; $d_{\text{equação 4}} = 2,1995$; $d_{\text{equação 5}} = 2,1377$; $k = 1$ para $n = 106$ a 0,05 % de probabilidade), ou seja, não existe correlação em série para as equações.

Para a prova de normalidade dos erros por meio do teste KS foram obtidos os seguintes resultados: $D_{\text{equação 1}} = 0,0705$, $D_{\text{equação 2}} = 0,0933$, $D_{\text{equação 3}} = 0,0888$ e $D_{\text{equação 4}} = 0,0826$, $D_{\text{equação 5}} = 0,1007$, que comparados com $D_{\text{tabelado}} = 0,1320$ a 0,05 % de significância, indicaram que a hipótese H_0 foi aceita, os erros das equações apresentam distribuição normal.

A análise da variância confirmou que ao nível de 5 % de probabilidade não existe diferença significativa entre os valores estimados e os valores reais de BSAS (Tabela 13).

Tabela 13 - Análise de variância realizada para comparar as estimativas e os valores reais de biomassa coletada na secagem, com $n = 106$, área “B”.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	valor-P
Equações	5	0,05	0,01	0,0228 ^{ns}	0,99
Resíduo	630	277,15	0,44		
Total	635	277,20			

ns = não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

A equação escolhida para estimar BSAS na área “B”, por apresentar os melhores resultados é a equação 4.

4.3.4 Equações para estimar biomassa fresca acima solo nas áreas “A” e “B” conjuntamente

Com os dados das áreas “A” e “B” foram geradas cinco equações para estimar BFAS, com amplitude de uso entre 5 e 160 cm de DAP. Observando a tabela abaixo nota-se que todas as equações apresentam boas precisões, com valores de R^2_{aj} entre 0,973 e 0,979, Viés com valores baixos entre 5,736 e 7,904, e também EPR com valores entre 0,337 e 0,372. O F calculado foi altamente significativo em todas as equações, com valores entre 2044 e 7852 conforme a análise de variância de cada equação (Tabela 14).

Tabela 14 - Equações para estimar BFAS, abrangendo as áreas “A” e “B”.

Nº	Equações para estimativa de BFAS	R ² _{aj}	Viés %	EPR %	F
1	$\hat{\text{LnBFAS}} = -1,07791 + 2,36810 \cdot \text{LnDAP}$	0,972	7,904	0,372	6406,73
2	$\hat{\text{LnBFAS}} = -1,02032 + 2,36911 \cdot \text{LnDAP} + 0,135580 \cdot \text{Lndbm}$	0,973	7,883	0,370	3208,57
3	$\hat{\text{LnBFAS}} = -1,33009 + 2,27598 \cdot \text{LnDAP} + 0,229980 \cdot \text{LnHc}$	0,974	7,425	0,361	3369,63
4	$\hat{\text{LnBFAS}} = -2,01747 + 1,99172 \cdot \text{LnDAP} + 0,071282 \cdot \text{LnHt}$	0,978	5,921	0,332	4001,29
5	$\hat{\text{LnBFAS}} = -2,2941 + 0,93462 \cdot \text{LnDAP}^2\text{Ht}$	0,977	5,957	0,336	7852,83

Observa-se que os modelos 4 e 5, ajustados com DAP e Ht apresentaram os maiores valores de R²_{aj} e os menores valores de Viés. Sendo as variáveis DAP e Ht altamente significativas (p < 0,0001, ao nível de probabilidade de 0,01%) para o ajuste dos modelos. No ajuste do modelo 2, a dbm não foi significativa (p = 0,2660), já no ajuste do modelo 3, a variável Hc mostrou significância a 0,01 % de probabilidade (p = 0,0188).

Foram obtidas as seguintes estimativas para a BFAS com IC ao nível de 99 % de probabilidade: a equação 1 estimou um total de 474,01 t (IC entre 458,41 a 489,61) da BAFS para os dados observados; a equação 2 estimou 477,48 t de BFAS (IC entre 461,59 a 493,36 t); a equação 3 estimou 479,72 t de BFAS (IC entre 463,65 a 495,79 t); para a equação 4 o total estimado foi igual a 466,04 t (IC entre 450,89 a 481,19 t); a equação 5 estimou 466,44 t de BFAS (IC entre 451,34 a 481,52 t) e a equação 6 estimou 460,62 t de BFAS (IC entre 445,89 a 475,35 t).

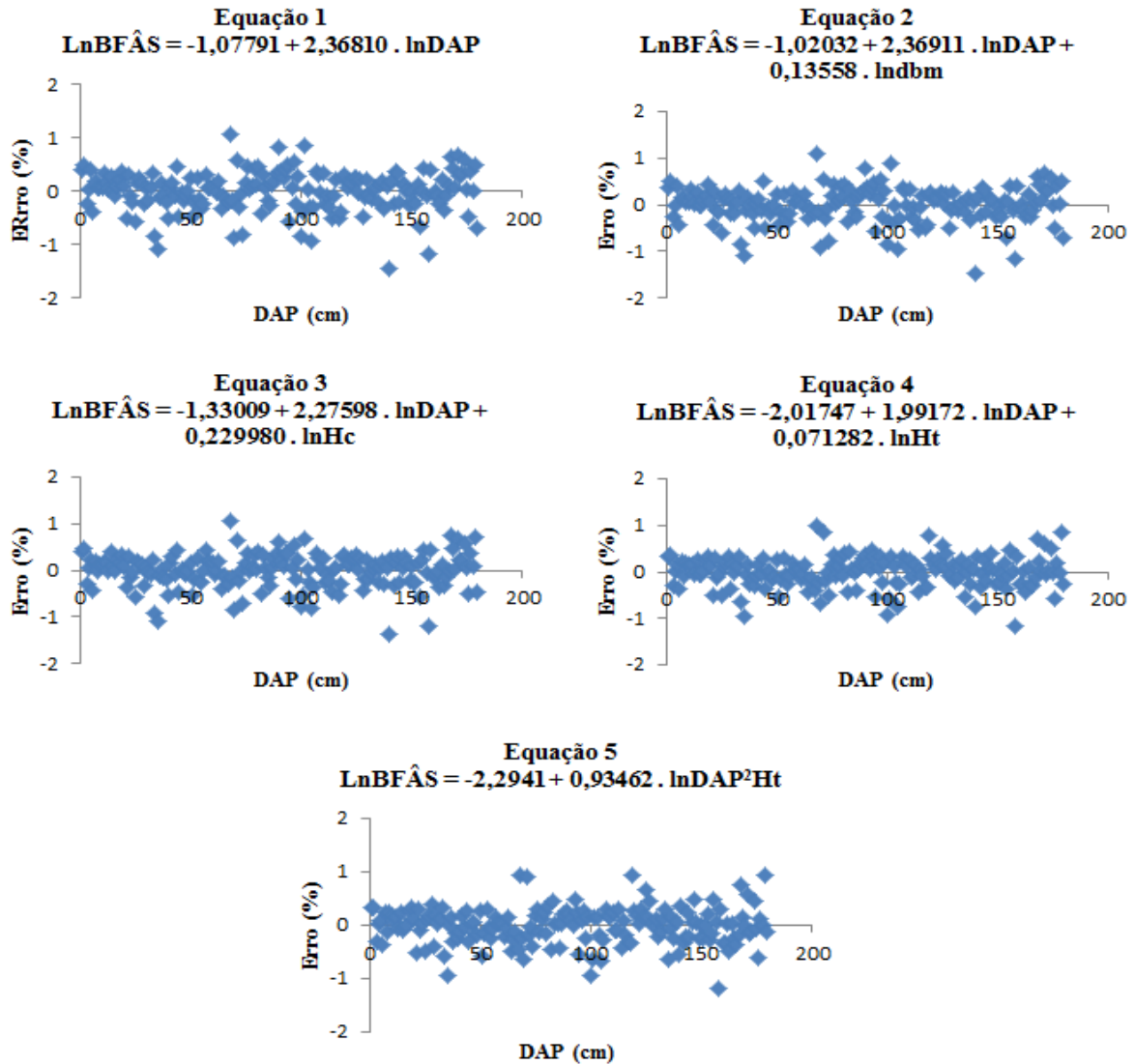
Conforme o teste de Bartlett obteve-se os seguintes resultados para a prova de homogeneidade da variância das equações: $x^2_{\text{equação 1}} = 0,0335$, $x^2_{\text{equação 2}} = 0,0330$, $x^2_{\text{equação 3}} = 0,0300$ e $x^2_{\text{equação 4}} = 0,0214$, $x^2_{\text{equação 5}} = 0,0224$, que comparados com $x^2_{\text{tabelado}} (x^2_{(2gl)} = 0,10258$; $x^2_{(5gl)} = 1,1454$ a 0,05 % de significância) indicam que, não existe heterocedasticidade nas variâncias das equações.

A prova de independência por meio do teste de Durbin-Watson indicou que todas as equações apresentaram independências dos resíduos ($d_{\text{equação 1}} = 1,9056$; $d_{\text{equação 2}} = 1,9746$; $d_{\text{equação 3}} = 2,055$; $d_{\text{equação 4}} = 2,1865$; $d_{\text{equação 5}} = 2,2009$; k = 1 para n= 180 a 0,05 % de probabilidade), ou seja, não existe correlação em série entre os erros das equações.

Para a normalidade os resultados obtidos foram: $D_{\text{equação 1}} = 0,0726$, $D_{\text{equação 2}} = 0,0832$, $D_{\text{equação 3}} = 0,083$ e $D_{\text{equação 4}} = 0,0657$, $D_{\text{equação 5}} = 0,0686$, que comparados com $D_{\text{tabelado}} = 0,10136$ a 0,05 % de significância indicam que a hipótese H₀ deve ser aceita, e que os erros de cada equação apresentam distribuição normal.

Conforme os gráficos abaixo, as equações de 1 a 4 apresentam tendência em superestimar a biomassa. Já a equação 5 apresenta boa distribuição residual (Figura 8).

Figura 8 - Distribuição residual das equações geradas para estimar BFAS, abrangendo as áreas “A” e “B”.



Com base nesses resultados, a equação mais indicada para estimar a BFAS é a equação 5, que apresentou os melhores resultados.

4.3.5 Equações para estimar biomassa seca acima solo nas áreas “A” e “B” conjuntamente

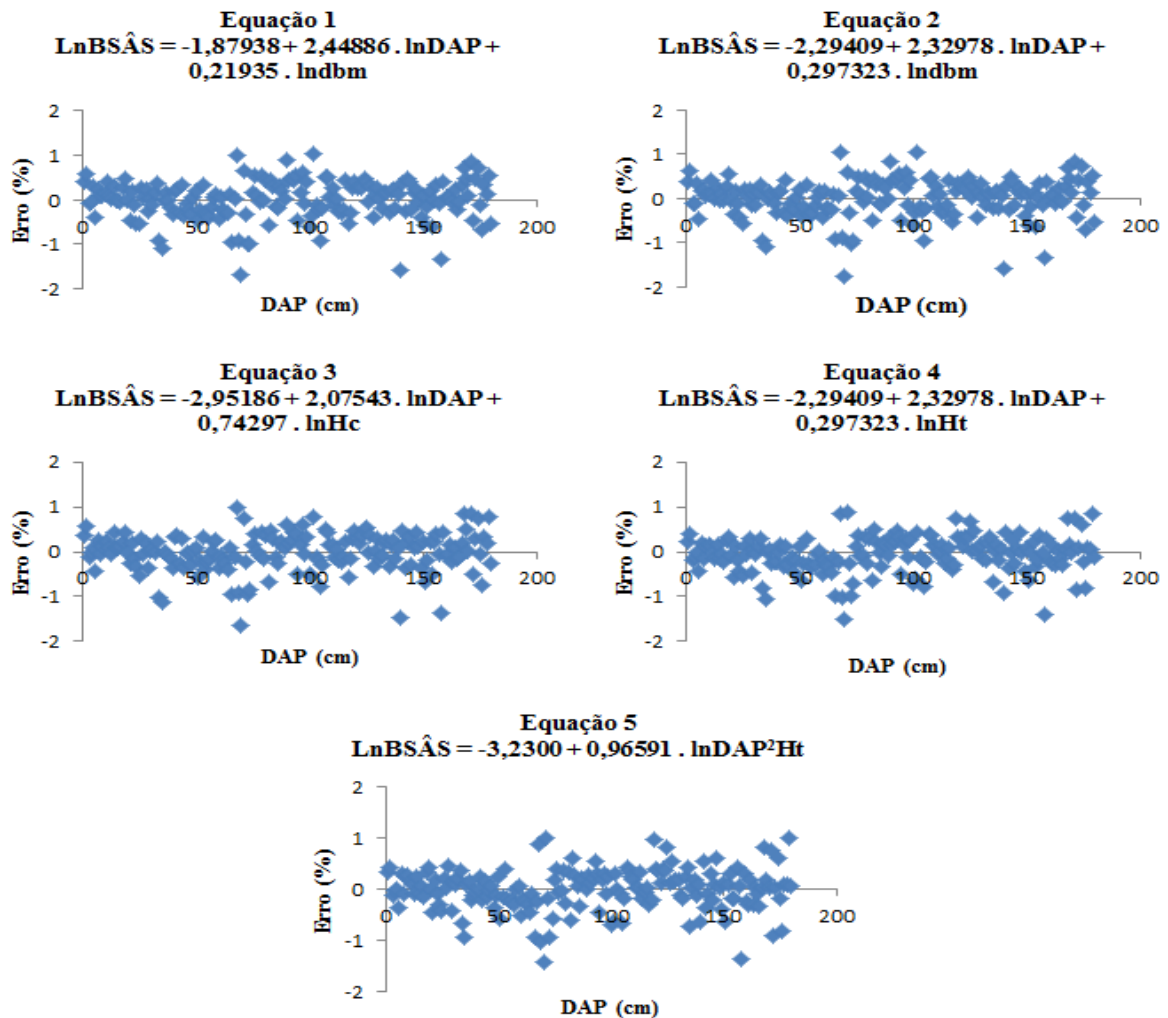
As cinco equações geradas para estimar a BSAS, áreas “A” e “B” apresentaram, R^2_{aj} com valores acima de 96 %, Viés com valores entre 9,025 e 11,61; EPR com valores entre 0,401 e 0,437 e F calculado com valores entre 1502 e 5814 (Tabela 15).

Tabela 15 – Equações para estimar BSAS, abrangendo as áreas “A” e “B”.

Nº	Equações para estimativa de BSAS	R^2_{aj}	Viés %	EPR %	F
1	$\hat{\text{LnBSAS}} = -1,97256 + 2,44723 \cdot \text{LnDAP}$	0,965	11,615	0,437	4958,94
2	$\hat{\text{LnBSAS}} = -1,87938 + 2,44886 \cdot \text{LnDAP} + 0,21935 \cdot \text{Lndbm}$	0,965	11,589	0,434	2499,87
3	$\hat{\text{LnBSAS}} = -2,29409 + 2,32978 \cdot \text{LnDAP} + 0,297323 \cdot \text{LnHc}$	0,967	10,814	0,423	2636,64
4	$\hat{\text{LnBSAS}} = -2,95186 + 2,07543 \cdot \text{LnDAP} + 0,74297 \cdot \text{LnHt}$	0,970	15,909	0,401	2941,38
5	$\hat{\text{LnBSAS}} = -3,2300 + 0,96591 \cdot \text{LnDAP}^2\text{Ht}$	0,970	9,225	0,404	5814,23

Foi constatada distribuição normal dos resíduos, homocedasticidade e independência dos resíduos, atendendo aos pré-requisitos da regressão. As cinco equações apresentaram algumas variações nas estimativas de BSAS, contudo, nada que comprometa a qualidade do ajuste dos modelos (**Figura 9**).

Figura 9 - Distribuição residual das equações geradas para estimar BSAS, abrangendo as áreas “A” e “B”.



Com base nos resultados acima, a equação indicada para estimar a BSAS nas áreas “A” e “B” é a equação 5.

4.4 Desempenho das equações pan-tropicais na estimativa de biomassa seca acima do solo

As equações pan-tropicais publicadas nos estudos de Chave et al. (2005), Pearson; Brawn, (2005) e Chave et al. (2014) apresentaram alto desempenho na estimativa de biomassa para o estado do Amapá (Tabela 16). Conforme os parâmetros usados para avaliar dessas equações (R^2_{aj} , Viés e EPR), as equações de Chave et al. (2005) e Pearson; Brawn, (2005), foram as que apresentaram maiores precisões e acurácias em relação às demais (Tabela 16).

Tabela 16 - Critérios de avaliação das equações pan-tropicais na estimativa de biomassa seca, para os dados coletados no Amapá.

Equações	R²_{aj}	Viés %	EPR %
Chave et al., 2005	0,964	22,366	0,432
Chave et al., 2014	0,961	32,493	0,424
Chave et al., 2014 (a)	0,955	33,941	0,465
Chave et al., 2014 (b)	0,958	27,115	0,465
Pearson et al., 2005	0,963	20,253	0,440

A análise de variância não identificou diferença significativa entre os valores de BSAS estimados pela equação 5, gerada para estimar biomassa seca tanto na área “A” e “B” (descrita na tabela 12), as estimativas obtidas pelas equações pan-tropicais e os valores de BSAS obtidos após a secagem das amostras (Tabela 17).

Tabela 17 - Análise de variância realizada para comparar as estimativas obtidas por meio das equações pan-tropicais e pela equação 5 gerada para estimar biomassa seca nas áreas A e B e conjuntamente e os valores de biomassa obtidos após a secagem das amostras.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	valor-P
Equações	6	65,09	10,683	0,579 ^{ns}	0,74
Resíduo	1253	23177,662	18,450		
Total	635	23181,757			

ns = não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

Todas as equações pan-tropicais testadas apresentaram ótimo desempenho e podem ser empregadas para estimar biomassa seca na floresta em estudo, sendo recomendada a equação de Chave et al., 2005 e Pearson et al., 2005, que apresentou menor Viés e menor EPR.

5 DISCUSSÃO

5.1 O ajuste dos modelos

Os ajustes dos modelos foram realizados com sucesso, obtendo-se excelentes resultados para a maioria dos critérios de avaliação utilizados neste estudo. Os valores de R²_{aj} foram bastante elevados (acima de 96 %, na maioria dos casos), indicando que os dados inseridos nos ajustes dos modelos foram muito bem explicados pela regressão. Oliveira et al. (2012) obtiveram resultados semelhantes quando ajustaram modelos para estimar biomassa

fresca no Amapá, os valores de R^2_{aj} obtidos foram entre 92 % a 97 % para os mesmos modelos que foram utilizados neste estudo. Oliveira et al. (2012) indicaram uma equação que necessita apenas do DAP como variável explicativa para estimar a biomassa, os autores consideraram além dos critérios de avaliação das equações, a facilidade e os custos reduzidos para obter essa variável em campo.

Os resultados de EPR foram considerados aceitáveis, quando comparados aos estudos de Chave et al. (2014) e Chave et al. (2005) que desenvolveram equações pan-tropicais que apresentaram valores de ERP entre 0,332 e 0,459, semelhantes aos deste estudo, e também quando comparados aos resultados de Djomo et al. (2010), que ajustando modelos para estimar biomassa das florestas tropicais na África obteve valores de EPR entre 0,278 e 0,471. Observa-se que neste estudo os valores de EPR das equações geradas para estimar biomassa fresca foram menores que os EPR das equações geradas para estimar biomassa seca.

5.2 Variáveis utilizadas nos modelos

Souza et al. (2014); Chave et al. (2014) e Suwa et al. (2013) evidenciam que a Ht e o DAP são altamente correlacionados com a biomassa florestal e devem ser utilizados nas estimativas tanto de biomassa fresca como seca, o que foi o caso deste estudo. Chave et al. (2005) ressaltam que é mais indicado obter as estimativas de biomassa por meio de equações que combinam DAP e Ht, pois equações volumétricas que possuem somente o DAP como variável explicativa, podem oferecer resultados distorcidos da realidade, haja vista que um DAP pode ter diferentes alturas levando à superestimativa ou subestimativa da biomassa.

Porém, na região Amazônica existe uma grande dificuldade em se obter a Ht de forma não destrutiva. Celes et al.(2013), Silva (2007), SILVA, R. et al. (2011) tentaram contornar esse problema utilizando em seus estudos a altura dominante da floresta (Hdom), que pode ser facilmente obtida por meio da mensuração das árvores caídas na floresta, esses autores obtiveram bons resultados com essa metodologia. Para Nogueira et al. (2008) e Lima et al. (2012), devido a dificuldade em se obter a variável altura, as melhores equações para estimar a biomassa florestal são as que possuem somente o DAP como variável explicativa, pois na maioria dos casos essa variável é altamente correlacionada com a biomassa florestal, oferece boa precisão nas estimativas, possui grande facilidade de mensuração e podem ser obtidas a custo reduzidos.

Por isto, as equações que foram indicadas para estimar a biomassa fresca e seca, neste estudo, possuem boa qualidade e podem ser aplicadas com segurança, pois foram geradas

combinando DAP e Ht, em concordância com Rutishauser et al. (2013) os quais afirmam que apesar da dificuldade de obter a altura das árvores em florestas tropicais, integrar essa variável pode reduzir os erros nas estimativas da biomassa florestal. As equações que possuem apenas o DAP também ofereceram boa qualidade de uso, e são alternativas quando se deseja obter estimativas de biomassa, mas os recursos para obter os dados da variável Ht são escassos.

Com relação à contribuição e correlação não significativa da variável dbm observada na matriz de correlação deste estudo (tabela 7), uma explicação para esse fato é que os dados da variável dbm, embora sejam correspondentes às mesmas espécies amostradas neste estudo, não foram coletados diretamente das árvores amostradas e sim obtidos por meio de um banco de dados cedidos por outros pesquisadores. Chave et al. (2005) defendem a inclusão da dbm nas equações volumétricas com a justificativa de que essa variável é fortemente correlacionada com a biomassa florestal e o estoque de carbono das árvores, o que não foi observado neste estudo. Chave et al. (2014), incluíram a variável dbm nos modelos volumétricos e obtiveram êxito melhorando as estimativas de biomassa. Williamson e Wiemann (2010) dizem que a dbm deve ser usada com atenção e que a metodologia de coleta deve descrita detalhadamente.

5.3 Equações pan-tropicais

As equações pan-tropicais apresentam bons resultados e podem ser usadas nas estimativas de biomassa florestal, principalmente, quando se deseja estimar biomassa em escala mais ampla (regional), visto que essas equações foram geradas por meio de amostragens realizadas em grande parte das florestas tropicais do mundo e oferecem grande precisão. Vieilledent et al. (2011) faz uma longa discussão sobre o uso das equações pan-tropicais, principalmente no contexto das reduções de efeitos de desmatamento e degradação (REDD). Os autores afirmam que as equações genéricas de Chave et al. (2004), Chave et al. (2005), Pearson e Brawn, (2005) e Chave et al. (2014) são precisas na estimação da biomassa florestal. Vieilledent et al. (2012) testaram as equações pan-tropicais para estimar a biomassa de 481 árvores em Madagascar e obtiveram ótimos resultados, sendo que em todas as equações testadas o R^2 superior a 90 %, Viés entre 3,9 % e 5,6 %, com EPR entre 0,340 e 0,585. Esses resultados mostram que equações pan-tropicais apresentam bom desempenho para estimar a biomassa florestal.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inclusão de novas classes diamétricas no processo amostral possibilitaram a realização de uma amostragem distribuída em classes de árvores menores ($5 \text{ cm} \leq \text{DAP} < 40 \text{ cm}$) e classes de árvores maiores ($\text{DAP} \geq 40 \text{ cm}$), buscando melhor representatividade das árvores maiores da floresta. Os modelos foram ajustados com amostragem de árvores distribuídas em oito classes de DAP, 12 classes de altura e com amplitude de uso entre 5 e 160 cm de DAP.

As equações pan-tropicais demonstraram bom desempenho na estimativa de biomassa seca, sendo as equações de Chave et al., 2005 e Pearson et al., 2005 e também são as indicadas para estimar a biomassa na floresta em estudo.

Neste estudo foram geradas 25 equações para estimar a biomassa fresca e seca de uma floresta tropical úmida do Amapá, dentre essas equações foram indicadas cinco para estimar biomassa nas áreas em estudo. A combinação das variáveis DAP e Ht apresentaram os melhores resultados para precisão e acurácia, por isso foram recomendadas para estimar a biomassa florestal, e as equações que tem somente o DAP como variável explicativa são equações alternativas para se obter estimativas de biomassa a baixo custo operacional.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, A. et al. Desmatamento na Amazônia: indo além da “emergência crônica”. **Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia**. Belém-PA, v. 3, p.85, 2004.
- AMAPÁ. Lei n. 1.028, de 12 de julho de 2006. Dispõe sobre a criação e gestão da floresta estadual do Amapá, e dá outras providências. **Diário Oficial do Amapá**, Macapá, AP, 28 jun., 2006. Disponível em: <<http://www.ief.ap.gov.br>>. Acesso em: 2 jun. 2013.
- APARÍCIO, P. S. **Subsídios para o manejo sustentável na floresta estadual do Amapá: estrutura e dinâmica**. 2013, 138 f. (Doutorado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- ARIMA, E. Y. et al. Public policies can reduce tropical deforestation: lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, p. 465-473, 2014.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p
- CELES, H.C.C. et al. Estimativa de biomassa em uma floresta tropical no Município de Maués – AM, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v 4, n. 65/3, p. 541-554, 2013.
- CHAVE, J. et al. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. **The Royal Society**, Toulouse-France, v. 359, p. 409-420, fev. 2004.
- CHAVE, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, Toulouse-France, v. 20, p. 3177-3190, 2014.
- CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, [S.I.], v. 145, n. 1, p. 87-99, 2005.
- CLARK, D. B.; CLARK, D. A. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. **Forest Ecology and Management Biological Station**, Costa Rica, v. 137, p. 185-198, nov. 2000.
- CLARK, D. B.; KELLNER, J. R. ; PALMER, M. Tropical forest biomass estimation and the fallacy of misplaced concreteness. **Journal of Vegetation Science**, [S.I.], v. 23, p. 1191-1196, 2012.
- CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL. **Corredor de biodiversidade do Amapá**. São Paulo, SP, 2007. 54 p.
- DJOMO, A.N. et al. (2010) Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. **Forest Ecology and Management**, [S.I.], v. 260, p. 219–225, 2010.
- FEARNSIDE, P. M. et al. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. **Agroambiente On-line**, [S.I.], v. 7, n. 1, p. 95-111, 2013.
- FEARNSIDE, P. M. Climate change and the Amazon: tropical dams emit greenhouse gases. **Cambridge**, Mass, v. 12, p. 30-31, 2013.

- FONSECA, A.; SOUZA JR, C.; VERÍSSIMO, A. Boletim do desmatamento da Amazônia legal (janeiro de 2015 SAD). **Imazon**, Belém-Pará, p. 10, 2015.
- GAMA, J. R. V. et al. Estrutura e potencial futuro de utilização da regeneração natural de floresta de várzea alta no município de Afuá, estado do Pará. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 13, n. 2, p. 71-82, 2003.
- GOMES SOBRINHO, T. R.; SOTTA, E. D. **Caracterização climatológica do Módulo 4 da floresta estadual do Amapá - FLOTA/AP**: dados preliminares. Macapá-AP, 2011.
- HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, AM, v. 28, n. 2, p. 153-166, 1998.
- HIGUCHI, N. et al. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia central. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.
- HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. **Em: Emissão x Sequestro de CO₂ - Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil**. Manaus, p. 125-153, 1995.
- INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS ESTADO DO AMAPÁ. **Macrodiagnóstico do estado do Amapá, primeira aproximação do ZEE**. Macapá, Amapá, 2008. 139 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Washington D.C., USA, 2004. p. 27-29.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2007 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Washington D.C., USA, 2004. p. 34-45.
- JUNHOR, N. F.; MONTEIRO, M. O. Fitossociologia arbórea do módulo iv da floresta estadual do amapá, brasil. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Macapá- AP, v. 4, n. 3, p. 273 – 288, 2014.
- KLOCK, U. E. et al. **As regiões fitoecológicas, sua natureza Madeira**. 3. ed. ver. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p. 413-530. 2005.
- LANA, M. D. et al. Distribuição diamétrica de *Eschweilera ovata* em um fragmento de floresta ombrófila densa- Igarassu, PE. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 1, p. 59 - 68, 2013.
- LEITE, F.P.; VELOSO, P.H.; FILHO, G.L. As Regiões Fitoecológicas, sua Natureza e seus Recursos Econômicos: estudo Fitogeográfico. **DNPM/Projeto RADAM - Programa de Integração Nacional**, 1974, 462p.
- LIMA, J.A.N. et al. Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management**, [S.I.], v. 277, p. 163–172, 2012.
- NOGUEIRA, E.M. et al. Estimates of forest biomass in the brazilian amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p.1853-1867, 2008.
- NOGUEIRA, E.M. et al. Carbon stock loss from deforestation through 2013 in Brazilian Amazonia. **Global Change Biology**, v. 21, n. 5, p. 1271–1292, 2015.

OLIVEIRA, L. P.; SOTTA, E. D.; HIGUCHI, N. **Quantificação da biomassa na floresta estadual do Amapá: alometria e estimativas de estoque de carbono.** Amapá: Instituto Estadual de Florestas do Amapá, 2012. 51 p. (Série Técnica).

PEARSON, T. S.; BROWN, W. S. **With Source book for Land Use , Land-Use Change and Forestry Projects**, n.175, p. 64, 2005.

PICARD, N.; SAINT-ANDRÉ, L.; HENRY, M. **Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction**, p 252, 2012.

RUTISHAUSER, E. et al. Generic allometric models including height best estimate forest biomass and carbon stocks in Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v. 307, p. 219–225, 2013.

SAATCHI, S. S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, California, v. 108, n. 24, p. 9899-9904, 2011.

SANTOS, J. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta secundárias na região de Manaus (AM).** 1996. 152 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

SCHNEIDER, P.R.; et al. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 294p

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: Parte I: modelos de regressão linear e não-linear.** Lavras, MG: Centro de editoração/FAEPE, 2005, 352p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento, e peso de matéria seca.** Lavras, MG: Centro de editoração/FAEPE, 2005, 350 p.

SILVA, K. E; MATOS, F. D. A.; FERREIRA, M. M. Composição florística e fitossociologia de espécies arbóreas do Parque Fenológico da Embrapa Amazônia Ocidental. **Acta Amazônica**, Manaus, AM, v. 38, n. 4, p 213-222, 2008.

SILVA, R. et al. Estimacão de equações volumétricas para árvores de valor comercial em Paragominas, estado do Pará. **Amazônia: Ci. & Desenvolvimento**, Belém-PA, v. 7, n. 13, p. 156, 2011.

SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus- AM.** 2007. p. 152. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical e Recursos Naturais) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, AM.

SILVEIRA, P. Ajuste de modelos matemáticos para estimar biomassa aérea em floresta ombrófila densa. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 743-752, 2009.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, p. 186-206, 2008.

SOARES FILHO, B. S. et al. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 19 n. 54, p. 152, 2005.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e inventário florestal.** 2. ed. Viçosa: UFV, 2011. p. 97-112.

SOUZA, E. A. B. de; MACHADO, M. A. D.; VISMARA, E. de S. Ajuste e seleção de modelos de biomassa arbórea multiespecífico através da validação cruzada. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, Ouro Preto, v. 3, n. 3, p. 59- 63, 2014.

SUWA, R. et al. Significance of topographic gradient in stem diameter - height Allometry for Precise Biomass Estimation of a Tropical Moist Forest in the Central Amazon. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v. 47, p. 109-114, 2013.

VIEILLEDENT et al. A universal approach to estimate biomass and carbono stock in tropical forests using generic allometric models. **Ecological Applications**, V. 22, n 2, p. 572-583. 2012.

VILLELA, A. A.; FREITAS, M. A. V.; ROSA, L. P. (Org.). **Emissões de carbono nas mudanças de uso do solo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. p. 210.

WILLIAMSON, G. B.; WIEMANN, M. C. Measuring woods pacific gravity correctly. **American Journal of Botany**, Columbus, Ohio, US, v. 97, n. 3, p. 519-524, 2010.