

Determination of stacking factors and wood volume stacked through digital image processing

Kleber Vicente Gouveia Filho¹ Thelma Shirlen Soares¹ Edmilson Santos Cruz¹ Renan Augusto Miranda Mathias²

¹Universidade Federal de Jataí, Curso de Engenharia Florestal, BR 364, km 195, nº 3800, CEP 75801-615, Jataí - GO, Brasil.

² Universidade de Brasília, Caixa Postal 4357, CEP 70910-900, Brasília - DF, Brasil

Original Article

*Corresponding author:
thelmasoares@ufj.edu.br

Keywords:

Digital photography

Digitora software

Stereo volume

Palavras-chave:

Fotografia digital

Software Digitora

Volume estéreo

Received in

2022/02/22

Accepted on

2022/07/22

Published in

2022/09/30



DOI:

<http://dx.doi.org/10.34062/af.s.v9i3.13470>

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the use of digital photographs in determining the stacking factor and stacked wood volume. Wood stacks consisting of logs from six planting spacings (3.0 m x 0.5 m; 3.0 m x 1.0 m; 3.0 m x 1.5 m; 3.0 m x 2.0 m; 3.0 m x 2.5 m and 3.0 m x 3.0 m) were evaluated. To determine the stacked wood volume (stereo) and stacking factors and to obtain digital photographs, 18 wood piles were built, three piles for each spacing. The data obtained was analyzed using Digitora software, and the stacking factor and volume were obtained based on counting the number of points distributed on the photograph. With this each point was observed and classified as an empty point, half point and null point. The accuracy of the photographic method was verified by calculating the percentage differences between the actual values (obtained in the field) and those estimated by the photograph and by graphically analyzing the distribution of the percentage differences by pile and spacing. Additionally, it was verified, by applying the t-test for paired data, if the values obtained by Digitora differed statistically, at 95% confidence probability, from the real values. It was verified that both the stacking factor and the volume, for each spacing, obtained by digital photographs were statistically equal to the value obtained in the field.

Determinação de fatores de empilhamento e volume de madeira empilhada por meio do processamento de imagens digitais

RESUMO: Este estudo teve como objetivo avaliar a utilização de fotografias digitais na determinação do fator de empilhamento e do volume de madeira empilhada. Foram avaliadas pilhas de madeira formadas por toras oriundas de seis espaçamentos de plantio (3,0 m x 0,5 m; 3,0 m x 1,0 m; 3,0 m x 1,5 m; 3,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m e 3,0 m x 3,0 m). Para a determinação do volume de madeira empilhada (estéreo) e dos fatores de empilhamento e obtenção das fotografias digitais foram organizadas 18 pilhas de madeira, sendo três pilhas para cada espaçamento. Os dados obtidos foram analisados por meio do *software* Digitora, sendo o fator de empilhamento e o volume obtidos com base na contagem do número de pontos distribuídos sobre a fotografia. Cada ponto foi observado e classificado como ponto vazio, ponto meio e ponto anulado. A exatidão do método fotográfico foi verificada pelo cálculo das diferenças percentuais entre os valores reais (obtidos em campo) e os estimados pela fotografia e pela análise gráfica da distribuição das diferenças percentuais por pilha e por espaçamento. Adicionalmente, verificou-se, pela aplicação do teste t de Student para dados pareados, se os valores obtidos pelo Digitora diferiam estatisticamente, a 95% de probabilidade de confiança, dos valores reais. Verificou-se que tanto o fator de empilhamento quanto o volume, para cada espaçamento, obtido por fotografias digitais foram estatisticamente iguais ao valor obtido em campo.

Introdução

Tradicionalmente, a comercialização de toras de madeira tem se baseado na medida da madeira empilhada (Batista e Couto 2002; Machado et al. 2010). Apesar da praticidade, a medida da madeira na forma de pilhas apresenta alguns inconvenientes como estimativas de volume com baixa precisão as quais geram resultados distorcidos quanto aos rendimentos de processos de produção e quanto ao pagamento de serviços relacionados ao corte e transporte da madeira, bem como problemas na venda da madeira (Batista e Couto 2002; Soares et al. 2003).

Ressalta-se que os métodos existentes que ainda se utilizam da unidade de medida "estéreo" são questionáveis, principalmente devido a uma aparente imprecisão causada por fatores como: diferentes sistemas de empilhamento (manual ou mecânico), tipo de transporte e a dificuldade em se atribuir correções (descontos) para cargas mal empilhadas (Bertola 2002).

A medição correta da madeira é uma tarefa economicamente importante na cadeia de abastecimento de madeira (Cremer et al. 2021). Desta forma, em razão da crescente valorização da madeira como matéria-prima e como produto, estimativas precisas de volumes de madeira são fundamentais para o manejo florestal sustentável (Sharma, 2020).

A busca por estimativas mais precisas de volume torna-se um desafio, visto que, conforme Lobato (2021), resultados imprecisos podem comprometer o desempenho econômico e problemas relacionados ao planejamento de atividades.

Em busca da otimização do processo e das estimativas do volume de madeira, as empresas têm testado métodos que possibilitem uma máxima precisão possível nas determinações de volume e que envolvam rapidez e baixo custo operacional.

Uma alternativa para a obtenção do volume é a utilização de um sistema baseado em análise de imagem digital, cuja principal vantagem é o fato de minimizar a intervenção do operador, sistematizando o processo de medição e possibilitando maior rigor e rapidez na mensuração da amostra (Silva 2003; Silva et al. 2005). Vários sistemas foto-óticos para estimativas de volume de pilhas de madeiras seja na floresta, na indústria ou em caminhões, estão atualmente disponíveis nos mercados internacionais e têm sido utilizados por muitas empresas florestais para determinar o volume de madeira empilhada devido à sua simplicidade de uso e eficiência (Berendt et al. 2021).

Neste contexto, estudos têm sido desenvolvidos visando a obtenção do volume de madeira empilhada com o uso de técnicas de processamento de imagens digitais minimizando a intervenção do operador, automatizando o processo

de medição, possibilitando maior controle e rapidez na medição de amostras (Araújo 2010). Pásztor et al. (2018) relatam que a medição foto-ótica ganhou importância cada vez maior nos últimos anos sendo que, diferentes sistemas para a quantificação de pilhas de madeira por meio de análise de imagem estão disponíveis no mercado.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a utilização de fotografias digitais na determinação do fator de empilhamento e do volume de madeira empilhada, em comparação aos métodos convencionais de quantificação do volume de madeira sólida e empilhada.

Material e Métodos

As toras utilizadas para formação das pilhas foram obtidas de um experimento implantado no município de Jataí-GO nas coordenadas 17°56'17.00"S e 51°43'44.00"O. O clima da região é classificado como mesotérmico, com estação seca e chuvosa, tipo Aw segundo a classificação de Köepen atualizada por Alvares et al. (2013). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distroférico (Embrapa 2018).

O experimento foi conduzido sob regime de curta rotação e as árvores foram abatidas aos 26 meses de idade. Foi utilizado o clone 1277 (híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*) em seis espaçamento de plantio (3,0 m x 0,5 m; 3,0 m x 1,0 m; 3,0 m x 1,5 m; 3,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m e 3,0 m x 3,0 m), empregando o delineamento em blocos casualizados com três repetições.

Para a determinação do volume de madeira empilhada (estéreo), dos fatores de empilhamento e a obtenção das fotografias digitais, foram construídas 18 pilhas de madeira, sendo três pilhas para cada espaçamento (Figura 1). Cada pilha foi composta de 30 toras de 2,0 m de comprimento sendo que as toras foram empilhadas manualmente no solo, em terreno plano.

Para cada pilha foi obtido o volume real (m³), por meio da cubagem rigorosa e o volume aparente ou volume em estéreo (st). Para obter o volume real das pilhas, cada tora foi cubada rigorosamente pela aplicação da expressão de Newton (Husch et al. 2002).

O volume sólido com casca de cada pilha de madeira (m³) foi obtido pelo somatório dos volumes das toras individualmente.

Em cada pilha, foram efetuadas medições da altura em cada face para obtenção da altura média da pilha, bem como mediu-se o comprimento da pilha na base, na metade da altura da pilha e no topo, para obter o seu comprimento médio. O volume estéreo de cada pilha foi obtido por meio do cálculo das dimensões de cada pilha (altura, largura e comprimento).



Figura 1. Pilhas de madeira de eucalipto, clone 1277, em seis espaçamentos diferentes, Jataí, GO.

O fator de empilhamento (fe), para cada pilha, foi obtido por meio da razão entre o volume empilhado e o volume sólido da pilha de madeira.

A formação das pilhas e obtenção dos valores dos fatores de empilhamento e volume foram obtidos do estudo de Nunes e Soares (2017).

Para a obtenção dos fatores de empilhamento e volumes por meio de fotografia digital, cada pilha foi fotografada com uma câmera Nikon Coolpix P510 instalada em um tripé. As fotografias foram obtidas perpendicularmente à face da pilha de madeira e as áreas dos topos das toras extraídas das imagens.

As fotografias armazenadas pela câmera foram transferidas para o computador e analisadas

com emprego do *software* Digitora, desenvolvido por Ribeiro (1998), utilizando procedimentos similares aos empregados por Bertola (2002). Cada pilha foi delimitada (Figura 2a) e por meio de um comando do software, foi amostrada aleatoriamente uma área representativa cobrindo representação das toras e de espaços vazios (Figura 2b). Desta forma, o fator de empilhamento e o volume foram obtidos com base na contagem do número de pontos distribuídos sobre a fotografia, com isto cada ponto foi observado e classificado como ponto vazio (ponto projetado nos espaços vazios entre as toras), ponto meio (ponto projetado metade sobre a tora e metade nos espaços vazios) e ponto anulado (pontos sobre áreas de difícil visualização).

a



b



Figura 2. a) Delimitação digital, b) Contagem dos pontos pelo *software* Digitora das pilhas de madeira de eucalipto, clone 1277, em seis espaçamentos diferentes, Jataí, GO.

A exatidão do método fotográfico foi verificada pelo cálculo das diferenças percentuais entre os valores reais (obtidos em campo) e os estimados pela fotografia e pela análise gráfica da distribuição das diferenças percentuais por pilha e

por espaçamento, de modo análogo ao adotado por Soares et al. (2003) e Silva et al. (2005), utilizando a expressão:

$$\text{Desvio\%} = \frac{(\text{Valor obtido pelo Digitora} - \text{Valor obtido em campo})}{\text{Valor obtido em campo}} \times 100$$

Adicionalmente, verificou-se a normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk e, conforme Bertola et al. (2003), Silva et al. (2005) e Barros (2017), aplicou-se o teste t de Student para dados pareados, se os valores obtidos pelo Digitora diferiam estatisticamente, a 95% de probabilidade de confiança, dos valores reais.

Resultados e discussão

A caracterização das pilhas avaliadas é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios das medidas das pilhas, diâmetro médio das toras (d), fator de empilhamento (fe), volume de madeira sólido (V) e empilhado (Ve) para madeira de eucalipto, clone 1277, em seis espaçamentos diferentes, Jataí, GO*.

| Espaçamento | Pilha | \bar{H} (m) | \bar{L} (m) | \bar{C} (m) | Ve (st) | V (m ³) | Fe | d |
|---------------|-------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|
| 3,0 m x 0,5 m | 1 | 0,51 | 0,54 | 2,00 | 0,551 | 0,330 | 1,650 | 7,90 |
| | 2 | 0,44 | 0,55 | 2,00 | 0,484 | 0,277 | 1,547 | 7,18 |
| | 3 | 0,41 | 0,55 | 2,00 | 0,451 | 0,292 | 1,599 | 7,43 |
| Média | | 0,45 | 0,55 | 2,00 | 0,495 | 0,300 | 1,599 | 7,50 |
| 3,0 m x 1,0 m | 4 | 0,42 | 0,59 | 2,00 | 0,496 | 0,347 | 1,621 | 8,10 |
| | 5 | 0,40 | 0,54 | 2,00 | 0,432 | 0,281 | 1,726 | 7,26 |
| | 6 | 0,44 | 0,54 | 2,00 | 0,475 | 0,328 | 1,378 | 7,83 |
| Média | | 0,42 | 0,56 | 2,00 | 0,495 | 0,319 | 1,575 | 7,73 |
| 3,0 m x 1,5 m | 7 | 0,47 | 0,60 | 2,00 | 0,564 | 0,333 | 2,078 | 7,93 |
| | 8 | 0,37 | 0,66 | 2,00 | 0,488 | 0,316 | 1,542 | 7,73 |
| | 9 | 0,42 | 0,44 | 2,00 | 0,370 | 0,294 | 1,935 | 7,45 |
| Média | | 0,42 | 0,57 | 2,00 | 0,479 | 0,314 | 1,852 | 7,70 |
| 3,0 m x 2,0 m | 10 | 0,42 | 0,63 | 2,00 | 0,529 | 0,328 | 1,605 | 7,86 |
| | 11 | 0,40 | 0,55 | 2,00 | 0,440 | 0,309 | 1,605 | 7,64 |
| | 12 | 0,37 | 0,64 | 2,00 | 0,474 | 0,296 | 1,250 | 7,49 |
| Média | | 0,40 | 0,61 | 2,00 | 0,488 | 0,311 | 1,487 | 7,66 |
| 3,0 m x 2,5 m | 13 | 0,43 | 0,57 | 2,00 | 0,490 | 0,321 | 1,544 | 7,78 |
| | 14 | 0,39 | 0,63 | 2,00 | 0,491 | 0,306 | 1,428 | 7,60 |
| | 15 | 0,45 | 0,54 | 2,00 | 0,486 | 0,343 | 1,393 | 8,00 |
| Média | | 0,42 | 0,58 | 2,00 | 0,487 | 0,323 | 1,455 | 7,79 |
| 3,0 m x 3,0 m | 16 | 0,54 | 0,64 | 2,00 | 0,691 | 0,409 | 1,186 | 8,70 |
| | 17 | 0,41 | 0,59 | 2,00 | 0,484 | 0,327 | 1,478 | 8,71 |
| | 18 | 0,48 | 0,60 | 2,00 | 0,576 | 0,400 | 1,220 | 8,61 |
| Média | | 0,48 | 0,61 | 2,00 | 0,586 | 0,379 | 1,295 | 8,67 |

* Em que: \bar{H} = Altura média, \bar{L} = largura média e \bar{C} = comprimento médio da pilha.

Verifica-se que os valores de fator de empilhamento variam entre 1,186 e 2,078 enquanto o volume de madeira empilhada variou de 0,370 a 0,692 st. Conforme relatado por Nunes e Soares (2017), os maiores espaçamentos apresentaram menores valores médios de fator de empilhamento, e os menores espaçamentos, os quais possuem árvores de menores diâmetros, apresentaram maiores valores para o fator de empilhamento. Já em relação ao volume, observou-se que o volume médio das pilhas foi de 0,497 st.

Os valores do fator de empilhamento obtido em campo e com o uso de fotografias digitais (Digitora) são apresentados na Tabela 2.

Ao analisar a Tabela 2 verifica-se que o fator de empilhamento médio encontrado no *software* Digitora (1,543) foi similar ao obtido em campo (1,544), com desvio médio entre os dois métodos foi de 0,06%. Nota-se que o espaçamento 3,0 m x 3,0 m apresentou um maior desvio médio (2,01%) quando comparado com os demais espaçamentos (Figura 4), provavelmente devido ao fato das toras das pilhas possuírem maiores diâmetros e, conseqüentemente, maiores espaços entre as pilhas. Ressalta-se que para a tora 18 oriunda do espaçamento 3,0 m x 3,0 m, apresentou um alto valor de desvio (8,39) quando comparado com os demais, fato este que também colaborou para o maior desvio observado para o referido espaçamento.

Tabela 2. Fatores de empilhamento obtidos em campo e pelo software Digitora em pilhas de eucalipto, clone 1277, em seis espaçamentos, Jataí, GO.

| Espaçamento | Pilha | Fator de empilhamento | | Desvio (%) |
|--------------------|-------|-----------------------|--------------|--------------|
| | | Campo | Digitora | |
| 3,0 m x 0,5 m | 1 | 1,650 | 1,621 | -1,76 |
| | 2 | 1,547 | 1,516 | -2,00 |
| | 3 | 1,599 | 1,635 | 2,30 |
| Média | | 1,599 | 1,591 | -0,49 |
| 3,0 m x 1,0 m | 4 | 1,621 | 1,646 | 1,49 |
| | 5 | 1,726 | 1,741 | 0,87 |
| | 6 | 1,378 | 1,359 | -1,42 |
| Média | | 1,575 | 1,582 | 0,31 |
| 3,0 m x 1,5 m | 7 | 2,078 | 2,020 | -2,77 |
| | 8 | 1,542 | 1,538 | -0,27 |
| | 9 | 1,935 | 1,944 | 0,49 |
| Média | | 1,852 | 1,834 | -0,85 |
| 3,0 m x 2,0 m | 10 | 1,605 | 1,612 | 0,40 |
| | 11 | 1,605 | 1,582 | -1,43 |
| | 12 | 1,250 | 1,248 | -0,13 |
| Média | | 1,487 | 1,481 | -0,39 |
| 3,0 m x 2,5 m | 13 | 1,544 | 1,571 | 1,75 |
| | 14 | 1,428 | 1,420 | -0,54 |
| | 15 | 1,393 | 1,367 | -1,89 |
| Média | | 1,455 | 1,453 | -0,23 |
| 3,0 m x 3,0 m | 16 | 1,186 | 1,167 | -1,65 |
| | 17 | 1,478 | 1,468 | -0,72 |
| | 18 | 1,220 | 1,322 | 8,39 |
| Média | | 1,295 | 1,319 | 2,01 |
| Média Geral | | 1,544 | 1,543 | 0,06 |

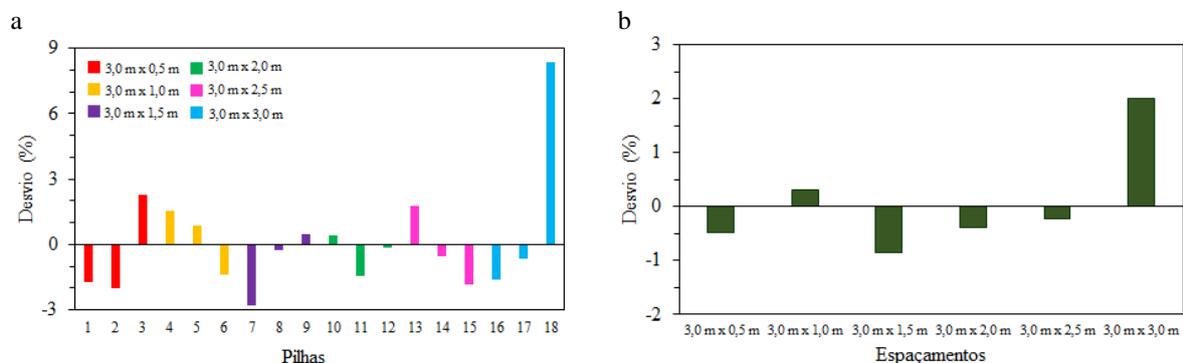


Figura 4. Diferenças percentuais, por pilha (a) e por espaçamento (b), na estimação do fator de empilhamento.

Bertola (2002), avaliando o efeito do usuário do Digitora na obtenção dos fatores de empilhamento de toras de eucalipto, verificou diferença de -0,424%, entre os fatores de

Realizando a determinação de fatores de empilhamento de toras de *E. grandis* por meio de classificação de imagem utilizando redes neurais por meio do *software* NeuroDIC, Barros (2017) obteve diferença média de -0,277%, com aproximadamente 97% das estimativas concentradas entre de $\pm 1\%$ do erro relativo.

empilhamento obtidos pelas fotos e os fatores observados, para o operador mais treinado e de 3,186% e -4,615% para os operadores menos treinados no uso do *software*.

Comparando os fatores de empilhamento obtidos por fotografias digitais com os obtidos em campo (Tabela 3), constatou-se que, para todos os espaçamentos, os valores foram estatisticamente iguais a 95% de probabilidade, demonstrando alto desempenho na estimativa do fator de empilhamento por meio de imagens digitais.

Tabela 3 - Resumo do resultado do teste t referente à comparação dos valores observados do fator de empilhamento com o fator de empilhamento obtido pelo Digitora

| Espaçamento | Valor calculado de t* |
|---------------|-----------------------|
| 3,0 m x 0,5 m | 0,35 ^{ns} |
| 3,0 m x 1,0 m | 0,49 ^{ns} |
| 3,0 m x 1,5 m | 0,85 ^{ns} |
| 3,0 m x 2,0 m | 0,69 ^{ns} |
| 3,0 m x 2,5 m | 0,15 ^{ns} |
| 3,0 m x 3,0 m | 0,61 ^{ns} |

* Em que: ns = não significativo.

Bertola et al. (2003), avaliando o uso do software Digitora na determinação de fatores de empilhamento de toras de *E. grandis* empilhadas manualmente, observaram que o software propiciou estimativas precisas dos fatores de empilhamento com uma ligeira tendência de superestimação dos fatores pelo software. Analisando a exatidão de estimativas de fatores de empilhamento obtidas pelo Digitora, em pilhas de madeira de eucalipto sobre caminhões, Soares et al. (2003) verificaram que a diferença entre os fatores de empilhamento obtidos pelo método fotográfico em relação aos fatores reais

foi, em média, de 3,2%, com tendências de superestimativas geradas pelo método fotográfico.

Silva et al. (2005) também utilizando o Digitora para determinação do fator de empilhamento de pilhas de eucalipto verificaram que os desvios tiveram uma variação máxima de 2,07% e um desvio médio de 0,54% na determinação do volume em estêreo.

Os resultados do volume empilhado obtidos para as pilhas em campo e pelo uso de fotografias digitais (Digitora) são apresentados na Tabela 4 e na Figura 5.

Tabela 4 - Volume empilhado das pilhas obtido por meio do software Digitora comparado à mensuração manual.

| Espaçamento | Pilha | Volume (st) | | Desvio (%) |
|--------------------|-------|--------------|--------------|-------------|
| | | Campo | Digitora | |
| 3,0 m x 0,5 m | 1 | 0,544 | 0,537 | -1,29 |
| | 2 | 0,428 | 0,429 | 0,23 |
| | 3 | 0,467 | 0,499 | 6,85 |
| Média | | 0,480 | 0,488 | 1,93 |
| 3,0 m x 1,0 m | 4 | 0,562 | 0,603 | 7,30 |
| | 5 | 0,485 | 0,509 | 4,95 |
| | 6 | 0,452 | 0,433 | -4,20 |
| Média | | 0,500 | 0,515 | 2,68 |
| 3,0 m x 1,5 m | 7 | 0,692 | 0,703 | 1,59 |
| | 8 | 0,487 | 0,479 | -1,64 |
| | 9 | 0,569 | 0,596 | 4,75 |
| Média | | 0,583 | 0,593 | 1,57 |
| 3,0 m x 2,0 m | 10 | 0,526 | 0,533 | 1,33 |
| | 11 | 0,495 | 0,502 | 1,41 |
| | 12 | 0,370 | 0,383 | 3,51 |
| Média | | 0,464 | 0,473 | 2,08 |
| 3,0 m x 2,5 m | 13 | 0,495 | 0,500 | 1,01 |
| | 14 | 0,437 | 0,447 | 2,29 |
| | 15 | 0,477 | 0,483 | 1,26 |
| Média | | 0,470 | 0,477 | 1,52 |
| 3,0 m x 3,0 m | 16 | 0,485 | 0,472 | -2,68 |
| | 17 | 0,484 | 0,472 | -2,48 |
| | 18 | 0,487 | 0,537 | 10,27 |
| Média | | 0,485 | 0,494 | 1,70 |
| Média Geral | | 0,497 | 0,507 | 1,91 |

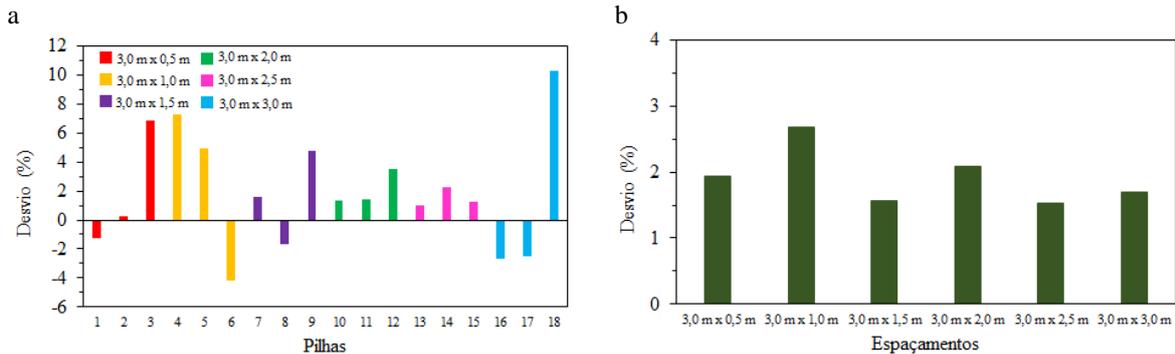


Figura 5. Diferenças percentuais, por pilha (a) e por espaçamento (b), na estimação do volume de madeira empilhada (st).

Nota-se que os desvios tiveram variação máxima de 10,27%, variação mínima de -4,20% com desvio médio de 1,91% na determinação do volume aparente (em estéreo) conforme a Tabela 4. Quando é feita uma comparação por espaçamento observa-se que o espaçamento 3,0 m x 1,0 m apresentou um maior desvio de 2,68% (Figura 5).

Silva et al. (2005), desenvolvendo uma metodologia para obtenção do volume e fator de empilhamento por meio de fotografias digitais

analisaram 15 pilhas de *E. grandis* empilhadas manualmente verificaram um desvio médio de 0,54% na determinação do volume em estéreo.

Pela aplicação do teste t para dados pareados, a 95% de probabilidade (Tabela 5), para todos os espaçamentos o volume obtido pelo Digitora não houve diferença significativa do volume empilhado obtido em campo.

Tabela 5 - Resumo do resultado do teste t referente à comparação dos valores observados do volume estéreo com o volume estéreo obtido pelo Digitora.

| Espaçamento | Valor calculado de t* |
|---------------|-----------------------|
| 3,0 m x 0,5 m | 0,76 ^{ns} |
| 3,0 m x 1,0 m | 0,86 ^{ns} |
| 3,0 m x 1,5 m | -0,95 ^{ns} |
| 3,0 m x 2,0 m | -4,16 ^{ns} |
| 3,0 m x 2,5 m | 4,25 ^{ns} |
| 3,0 m x 3,0 m | 0,14 ^{ns} |

* Em que: ns = não significativo.

Todas as estimativas realizadas pelo Digitora foram estatisticamente iguais aos valores observados, o que demonstra a potencialidade da metodologia empregada com destaque, conforme relata Bertola (2002) devido ao baixo custo envolvido (*software* e câmera) e ao tempo de obtenção dos volumes e fatores de empilhamento, que é bem menor que o método tradicional.

Deve-se atentar, também, que para melhor eficiência do método é necessário o empilhamento adequado das toras (Soares et al. 2003), ou seja, organizando-se as pilhas de forma que fiquem menos espaços vazios ou buracos entre as toras para evitar a superestimação do fator de empilhamento e do volume, garantindo melhor precisão do software na determinação do volume em relação ao método de cubagem rigorosa. Outro fator relevante é o treinamento do operador com relação à classificação dos pontos sobre as fotografias no Digitora evitando-se erros e subestimação ou superestimação dos valores (Bertola et al. 2003).

A determinação do fator de empilhamento e do volume de madeira empilhada por meio do processamento de imagens digitais usando o software Digitora mostrou-se eficaz, encontrando-se um desvio médio de 0,06% para o fator de empilhamento e de 1,91% para o volume, com valores que não diferiram estatisticamente dos obtidos em campo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor José Carlos Lopes Ribeiro da Universidade Federal de Viçosa por, gentilmente, ceder a licença do software Digitora para realização do presente estudo.

Referências

Alvares CA, Stape, JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2013) Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6): 711-728. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507

- Araújo VC (2010) *Desenvolvimento de metodologia para a obtenção da cubicagem de madeira em toras empilhadas através de imagens digitais*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 53p.
- Barros VA (2017) *Determinação de fatores de empilhamento por meio de classificação de imagem utilizando redes neurais*. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, 34p.
- Batista JLF, Couto HTZ (2002) O “Estéreo”. *METRVIM*, 2.
- Berendt F, Wolfgramm F, Cremer T (2021) Reliability of photo-optical measurements of log stack gross volume. *Silva Fennica*, 55(3): article id 10555. doi: 10.14214/sf.10555
- Bertola A (2002) *Uso de fotografias digitais para quantificar o volume sólido de madeira empilhada*. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, 97p.
- Bertola A, Soares CPB, Ribeiro JC, Leite HC, Souza AL (2003) Determinação de fatores de empilhamento através do software Digitora. *Revista Árvore*, 27(6): 837-844. doi: 10.1590/S0100-67622003000600010
- Cremer T, Berendt F, Miguel Diez F, Wolfgramm F, Blasko L (2021) Accuracy of photo-optical measurement of wood piles. *Environmental Sciences Proceedings*, 3(1): article id 90.
- Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Solos *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5 ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 356p.
- Husch B, Beers TW, Kershaw Junior JA (2002) *Forest mensuration*. 4 ed. New York: Wiley, 632p.
- Lobato LJT (2021) *Estimativa do volume de madeira empilhada utilizando processamento de imagens digitais*. Trabalho de conclusão de curso Universidade Federal do Espírito Santo, 32p.
- Machado RCS, Carmo LFRC, Dias BG, Lazari RF (2010) Sobre sistemas de medição de volume de madeira baseados em mapeamento de superfície. In: *30º Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, São Carlos.
- Nunes JS, Soares TS (2017) Estimativas volumétricas para um povoamento adensado de *Eucalyptus* sp. em regime de curta rotação. *Revista de Agricultura Neotropical*, 4(4): 77-86. doi: 10.32404/rean.v4i4.1661
- Pásztor Z, Heinzmann B, Barbu MC (2018) Manual and automatic volume measuring methods for industrial timber. In: *4th International Conference on Environment and Renewable Energy*, Da Nang, Vietnam.
- Ribeiro JCL (1998) *Digitora – sistema para cubagem de pilhas de madeira e de redutores no campo e em caminhões via câmera digital*. Viçosa, Brasil.
- Sandim ASA, Mota AC, Santos ML, Barros WS, Costa BC, Andrade VMS (2019) Stacked volume conversion factor for geometric volume of *Eucalyptus* sp. *Revista Agroambiente On-line*, 13: 46-54. doi: 10.18227/1982-8470ragro.v13i0.5312
- Sharma M. (2020) Increasing volumetric prediction accuracy - an essential prerequisite for end-product forecasting in red pine. *Forests*, 11(10):1050. <https://doi.org/10.3390/f11101050>
- Silva MC (2003) *Determinação do volume de madeira empilhada através de processamento de imagens digitais*. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, 84p.
- Silva MC, Soares VC, Pinto FAC, Soares CPB, Ribeiro CAAS (2005) Determinação do volume de madeira empilhada através de processamento de imagens digitais. *Scientia Forestalis*, 33(69):104-114.
- Soares CPB, Ribeiro JC, Nascimento Filho MB, Ribeiro JCL (2003) Determinação de fatores de empilhamento através de fotografias digitais. *Revista Árvore*, 27(4): 473-479. doi: 10.1590/S0100-67622003000400007