



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – DEAGRI

DOMINGOS DA SILVA BARROS FILHO

**ANÁLISE DA TÉCNICA DE SILHUETA NA DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES
FÍSICAS DE MILHO (*Zea mays* L.)**

SÃO CRISTÓVÃO/SE

2021

DOMINGOS DA SILVA BARROS FILHO

**ANÁLISE DA TÉCNICA DE SILHUETA NA DETERMINAÇÃO DE
PROPRIEDADES FÍSICAS DE MILHO (*Zea mays* L.)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Agrícola da universidade federal de Sergipe como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro agrícola, sob a orientação do prof. Dr. Douglas Romeu da Costa.

SÃO CRISTÓVÃO/SE

2021

DOMINGOS DA SILVA BARROS FILHO

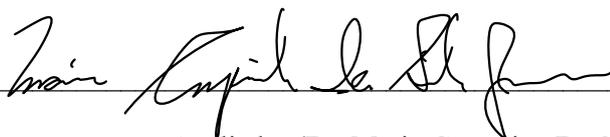
**ANÁLISE DA TÉCNICA DE SILHUETA NA DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES
FÍSICAS DE MILHO (*Zea mays* L.)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Agrícola da universidade federal de Sergipe como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro agrícola, sob a orientação do prof. Dr. Douglas Romeu da Costa.

Aprovado em __. __. 2021

BANCA EXAMINADORA

Avaliador (Dr. Adilson Machado Enes)



Avaliador (Dr. Mario Cupertino Da Silva Junior)



Documento assinado digitalmente
Douglas Romeu da Costa
Data: 03/05/2022 13:15:51-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Orientador (Dr. Douglas Romeu Da Costa)

SÃO CRISTÓVÃO/SE

2021

DEDICATÓRIA

A Deus somente, único digno de toda honra e glória para quem dedico essa e todas as etapas vencidas e vividas na vida a qual tenho posse, testifico ainda que é Dele toda minha fonte de sabedoria e conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço unicamente ao Deus de Israel que desde os meus primeiros passos tem me acompanhado e me concedido grandes vitórias a maior delas a minha vida, em nome de seu filho unigênito, eu lhe agradeço.

Agradeço a Deus e unicamente a ele por ter posto em minha passagem pessoas que me ajudaram a chegar até aqui, em especial a minha família, minha mãe Angelica Maria de Aquino Araújo, meu pai Domingos da Silva Barros, meu irmão Lucas de Aquino Araújo Barros, minha irmã Mariângela Cintia de Aquino Araújo e a minha amada tia Celene de Aquino Araújo. Dou testemunho a Deus de todo o esforço que vocês fizeram por mim para que eu pudesse superar todas as dificuldades e conseguir mais essa vitória.

Agradeço a Deus também por ter me apresentado bons amigos e excelentes mestres e doutores, aos amigos Rodolfo Moura, Edla Vieira, Camila Kaliane e Warly Farias, aos técnicos Thiago, Wendel e Valfran, e aos meus professores Prof. Dr. Adilson Enes, Prof. Dr. Wellington Gonzaga. Prof. Dr. Rychardson Rocha e em especial ao Prof. Dr. Douglas Romeu da Costa.

Por fim e no mesmo nível de importância agradeço a Deus por todas aquelas pessoas que ele permitiu que me ajudasse a chegar nesse ponto e que por determinada impossibilidade não pude citar os nomes, a Deus dou graças.

RESUMO

A escolha e o uso correto das técnicas utilizadas para a determinação dos teores de água e das propriedades físicas de produtos agrícolas como, por exemplo, o milho (*Zea mays* L.) são fundamentais para se obter dados consistentes e precisos. Objetivou-se com este trabalho, determinar as propriedades físicas de grãos de milho em função de diferentes teores de água e temperaturas do ar de secagem, utilizando-se as equações propostas por MOHSENIN (1986) e da Técnica de Silhueta por meio do processamento de imagens. A temperatura do ar de secagem foi controlada em 40, 60 e 80 °C. O sistema de secagem foi composto uma estufa elétrica de bandejas, com ar forçado. O milho em grãos (*Zea mays* L.), com teor inicial de água de aproximadamente 15,0% b.u., foi usado no experimento. Adotou-se como metodologia a secagem e a determinação da circularidade e dimensões ortogonais dos grãos pelo método direto com uso de paquímetro digital, aplicando as equações já consolidadas na literatura. Pelos resultados, os dois métodos, comparados pela ANOVA e teste F a 5%, mostram-se estatisticamente iguais. A circularidade e a área projetada do milho diminuíram com a redução do teor de água. A Técnica de Silhueta pode ser utilizada para a determinação da circularidade e da área projetada do milho sem a necessidade do uso de um instrumento para a medição das dimensões dos grãos.

ABSTRACT

The choice and the correct use of the techniques used to determine the water content and the physical properties of agricultural products such as corn (*Zea mays* L.) are fundamental to obtain consistent and precise data. The objective of this work was to determine the physical properties of corn grains as a function of different water contents and drying air temperatures, using the equations proposed by MOHSENIN (1986) and the Silhouette Technique by means of image processing. The drying air temperature was controlled in 40, 60 and 80 °C. The drying system was composed of an electric tray oven with forced air. Corn in kernels (*Zea mays* L.), with initial water content of approximately 15.0% w.b., was used in the experiment. The methodology adopted was the drying and the determination of the circularity and orthogonal dimensions of the grains by the direct method using a digital pachymeter, applying the equations already consolidated in the literature. By the results, the two methods, compared by ANOVA and F test at 5%, show to be statistically equal. The circularity and the projected area of the corn decreased with the reduction of the water content. The Silhouette Technique can be used for the determination of the roundness and the projected area of corn without the need of using an instrument for the measurement of the grain dimensions.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E METODOS	12
2.1. O MILHO	12
2.2. SETUP PARA PRODUÇÃO DE IMAGENS	13
2.3. O SOFTWARE	13
2.4. A ESTUFA	14
2.5. O EXPERIMENTO	14
2.6. DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS COM USO DO PAQUÍMETRO DIGITAL 15	
2.7. DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS COM USO DA TECNICA DE SILHUETAS 16	
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4. CONCLUSÃO	34
5. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

Entre as maiores potências agrícolas mundiais, o Brasil ocupa a posição de relevância, na produção de milho (*Zea mays*. L), por exemplo, o país destaca-se sendo o terceiro maior produtor mundial do grão, com estimativa de produção de 86,9 milhões de toneladas (CONAB, 2021), atrás somente de Estados Unidos e China ambos com safras estimadas em 358,45 e 260,67 milhões de toneladas, respectivamente, (USDA, 2021). Para a safra brasileira em 2021/2022, estima-se uma produção de 116,31 milhões de toneladas para esse cereal, sendo que a região Nordeste contribuirá com 8,69 milhões toneladas e o estado de Sergipe com 687,6 mil toneladas (CONAB, 2021).

O milho é o segundo grão mais produzido no país, atrás apenas da soja (CONAB, 2021). A cada ano o Brasil aumenta a sua produção de milho, batendo recordes nacionais com frequência. Ao produzir cada vez mais, os produtores brasileiros se veem obrigados a investirem em pesquisa e em tecnologia, na busca por melhores resultados qualitativos também, tendo em vista a elevação do valor agregado e a importância econômica desse cereal. Grãos com alta qualidade, dentro dos padrões de exigência da legislação, possibilita ao produtor buscar uma negociação mais rentável do produto, tornando menor a relação custo/benefício da produção. Em tempos atípicos onde o retorno econômico torna-se desfavorável, ter um produto de alta qualidade e desde que seja armazenado corretamente, pode representar uma garantia de capital quando for comercializado, por exemplo, na entre-safra.

Assim, sabe-se que diversos fatores influenciam no tratamento e processamento do milho, e conhecer as suas propriedades físicas como, o ângulo de repouso, a circularidade e a esfericidade, por exemplo, e compreender como estes variam em função do teor de água, é extremamente importante para o dimensionamento de equipamentos agrícolas, máquinas e unidades armazenadoras de grãos. E não apenas o milho, mas os diversos tipos de grãos ou sementes possuem diferenças em suas dimensões e conseqüentemente, na forma e no tamanho. Isso faz com que as propriedades físicas, circularidade e esfericidade, sejam também diferentes. Essas propriedades são úteis para a classificação de produtos agrícolas como frutas, grãos ou sementes.

Nesse sentido, diversas pesquisas, com metodologias distintas, já foram utilizadas para a determinação da relação do teor de água com outras propriedades físicas dos grãos e, apontando ser essa como um dos parâmetros que mais afeta as características físicas e biológicas dos produtos agrícolas, entre eles, o milho. Portanto, a escolha e o uso correto das técnicas utilizadas para a determinação dos teores de água e das propriedades físicas de produtos agrícolas são fundamentais para se obter dados consistentes e precisos.

Por exemplo, para Ajay, A., Rami Reddy, K.V.S. e Ashok Kumar, A. (2021) estudando as propriedades físicas de três variedades diferentes de milho, usando técnicas convencionais como, uso do paquímetro para determinação de tamanho, esfericidade e área de superfície, além de outros métodos, chegaram à conclusão que, o tamanho e o formato das sementes são fatores determinantes para o dimensionamento de células de placas dosadoras de sementes em máquinas e implementos, já que as dimensões calculadas variam em função desses fatores.

Segundo Mousaviraad, M., & Tekeste, M. Z. (2020), avaliando o efeito do teor de água do grão no comportamento físico, mecânico e dinâmico do milho, demonstraram por meio de diversos experimentos e utilizando a técnica de elementos discretos, a variação das propriedades físicas do milho em função do seu teor de água e, evidenciaram que essa propriedade implica diretamente na ação de deslizamento e rigidez dos grãos, o que afeta o ângulo de repouso da massa de grãos, por exemplo, e concluíram ainda que a medida em que o teor de água torna-se maior, o coeficiente de fricção e coesão aparente da superfície também aumentam.

Para Pierre et al (2019), ao avaliar as propriedades físicas e contração volumétricas dos grãos de feijão da cultivar BRSMG Realce usando análise digital das imagens obtidas dos grãos em repouso e em posição horizontal e confrontando os dados coletados por meio do processamento das imagens com os dados obtidos com uso do paquímetro digital, concluíram ser possível determinar as dimensões do grão a partir da técnica de análise imagens.

Uma técnica utilizada para a mensuração da forma e tamanho de produtos agrícolas visando a sua classificação é o uso de métodos ópticos e sem contato com o produto. Santos et al. (2018) utilizaram a técnica de Moiré com Phase-Shifting para laranjas dos cultivares Pera, Bahia e Baianinha e a técnica de silhueta para o cultivar da

laranja Pera. Concluíram que a técnica de Moiré por Phase-Shifting não se aplicou na classificação de laranjas em função do nível de qualidade dos equipamentos utilizados e de problemas no formato do fruto, plano de fundo e de contraste das franjas. Concluíram também que a técnica de silhueta, mostrou-se eficaz na determinação do diâmetro da laranja Pera, com margem de erro inferior a 2 mm.

Para Morais et al. (2018) estudando a forma e o tamanho dos grãos de soja para diversos teores de água, determinou e monitorou o teor de umidade dos grãos com uso do aparelho de determinação de capacitância elétrica e utilizou um paquímetro para determinação de propriedades físicas como esfericidade e circularidade, por meio do uso destas técnicas Morais et al. (2018, p.2831) chegaram à conclusão que; “O volume e a área de superfície aumentaram com o aumento do teor de água dos grãos de soja. Um comportamento oposto foi observado para circularidade e esfericidade[...]”.

Segundo Oliveira et al. (2014), ao estudar as propriedades físicas do milho da cultivar P3646, concluíram que a forma e o tamanho dos grãos sofreram alterações com a redução do teor de água no processo de secagem. Concluíram também que a secagem reduz a esfericidade e a circularidade, a área superficial e a área projetada.

Oliveira Neto et al. (2012), estudando as propriedades físicas do feijão, variedade EMGOPA 201 – OURO, concluíram que houve redução das dimensões dos eixos ortogonais característicos (a, b e c), da esfericidade, da massa de mil sementes, da porosidade e do ângulo de repouso, com a redução do teor de água. Já as propriedades físicas circularidade, massa específica aparente e massa específica unitária se elevaram com a redução do teor de água.

Já, Jesus et al. (2012), pesquisaram as propriedades físicas de duas variedades de feijão (VALENTE e PONTAL). Concluíram que as sementes sofreram a contração volumétrica, diminuindo as dimensões dos eixos ortogonais característicos (a, b e c), da área projetada e do diâmetro geométrico com a redução do teor de água, para as duas variedades. Em relação à circularidade e esfericidade, observou-se comportamento diferente em função da redução do teor de água, tendo ocorrido o aumento dessas propriedades para sementes da cultivar Valente e diminuição para a cultivar Pontal. Já as massas específicas, aparente e real, para as duas cultivares, aumentaram com a redução do teor de água.

De acordo com Resende et al. (2008), a diminuição do teor de água dos grãos modifica a suas propriedades físicas durante o processo de secagem, sendo importante determinar de forma correta essas propriedades devido a sua aplicação na otimização dos processos industriais, em estudos de aerodinâmica e em projetos de dimensionamento de equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita.

A partir do exposto, objetivou-se com este trabalho, determinar as propriedades físicas de grãos de milho em função de diferentes teores de água e temperaturas do ar de secagem, por meio da Técnica de Silhueta e de equações propostas por MOHSENIN (1986). Especificamente, objetivou-se:

- a) Determinar as propriedades físicas caracterizadas como circularidade e área projetada do milho, utilizando-se as equações propostas por MOHSENIN (1986) e um paquímetro digital para a obtenção das medidas métricas;
- b) Determinar as propriedades físicas caracterizadas como circularidade e área projetada do milho, utilizando-se a Técnica de Silhueta e as equações propostas por MOHSENIN (1986) sem a utilização de instrumento de medidas métricas.

2. MATERIAL E METODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Construções Rurais, Energia e Armazenamento de Grãos - CREAG do Departamento de Engenharia Agrícola - DEAGRI e no Laboratório de Remediação de Solos do departamento de Engenharia Agrônômica – DEA, ambos da Universidade Federal de Sergipe na cidade de São Cristóvão - SE.

2.1. O MILHO

O produto utilizado foi milho, o híbrido LG 6036 VT PRO 3' (Lima Grain), colhido manualmente, no Povoado Paracatu de Cima no município de Simão Dias no estado de Sergipe, coordenadas geográficas: latitude 10°45'53" S, longitude 37°54'50" S e altitude de 313 metros. Após a colheita, o milho foi debulhado mecanicamente e transportado para o Departamento de Engenharia Agrícola – DEAGRI da Universidade Federal de Sergipe, para as operações de limpeza manual com uso de peneiras para

remoção de impurezas, sendo posteriormente realizada a operação de amostragem para a realização do experimento.

2. 2. SETUP PARA PRODUÇÃO DE IMAGENS

No setup criado para a projeção das silhuetas e captura das imagens foi utilizado um projetor modelo TES 20.20 de 220V e um celular tipo smartphone com câmera de resolução de 16 mega pixels. Na mesa de projeção, foi adaptado um dispositivo de madeira com dimensões 30 x 30 cm e um orifício no centro geométrico com o diâmetro de 2 cm. afim de manter o mesmo posicionamento dos grãos durante a captura das imagens. Nessa mesa foi fixado um suporte para o celular conforme ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**(a, b, c).

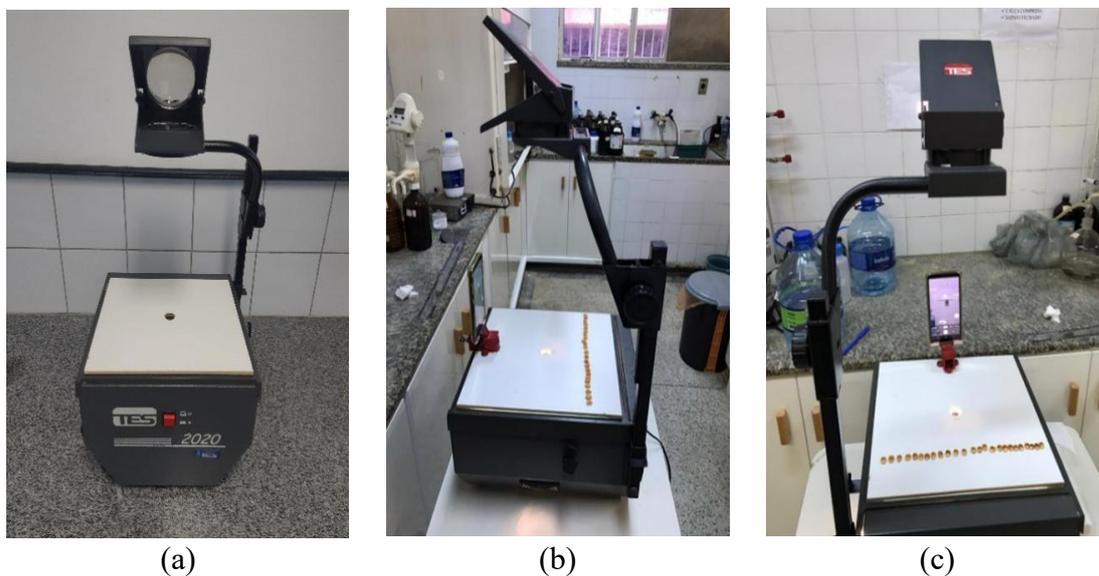


Figura 1 -Setup de Captura de Imagem: (a) vista frontal; (b) vista lateral e (c) vista do dispositivo de madeira juntamente com o suporte para o smartphone e smartphone.

2. 3. O SOFTWARE

O software utilizado para o tratamento e processamento das imagens foi o GNU Octave®. O GNU Octave é uma linguagem de programação, voltada para execução de cálculos numéricos. Segundo a GNU Octave a linguagem oferece uma interface prática para a resolução de problemas lineares e não lineares numericamente e para realizar outros experimentos numéricos usando uma linguagem que é compatível com o Matlab.

2.4. A ESTUFA

A estufa usada no experimento foi a Tecnal modelo TE-394/3 com renovação e circulação de ar com limite de superaquecimento de até 250°C, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 3.



Figura 2 - Estufa Tecnal

2.5. O EXPERIMENTO

O teor de água do milho foi determinado pelo método da secagem em estufa com circulação de ar forçada a $105^{\circ}\pm 3^{\circ}$ durante 24h a partir da média de três repetições de aproximadamente 50 g cada amostra, utilizando uma balança com precisão de 0,001g (BRASIL, 2009). As amostras foram coletadas em intervalos regulares de 1 hora, durante o processo de secagem.

Após determinar o teor inicial de água do milho (15% b.u.), foram separadas 3 amostras de 2 kg e de cada uma dessas foram selecionados aleatoriamente 30 grãos que foram subdivididos em 3 amostras de 10 grãos e enumerados de 1 a 10 e colocados em recipientes metálicos distintos conforme ilustrado na Figura.

Posteriormente, foram obtidas as dimensões ortogonais dos grãos, comprimento e largura, por meio de um paquímetro digital, com precisão de $\pm 0,01$ mm, e também por meio das imagens dos grãos.

Após essa etapa, as amostras de 2 kg e as 3 subamostras de 10 grãos foram submetidas às mesmas condições de secagem em estufa de circulação forçada em 3

temperaturas 40°, 60° e 80°, sendo o tempo de secagem estabelecido de 4 h para cada temperatura. Em intervalos regulares de uma hora de secagem, os 3 recipientes eram retirados da estufa e colocados num dessecador por 10 min para resfriamento e, em seguida, eram obtidas as medidas das dimensões e realizada a captura de imagens.

2.6. DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS COM USO DO PAQUÍMETRO DIGITAL

A determinação das propriedades físicas, caracterizadas como circularidade e área projetada, foi realizada conforme a metodologia proposta por (MOHSENIN, 1986). Por essa metodologia, foram determinadas as dimensões dos grãos (comprimento x largura x espessura) utilizando-se um paquímetro digital, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5. A área projetada e a circularidade foram obtidas pelas equações 1 e 2:

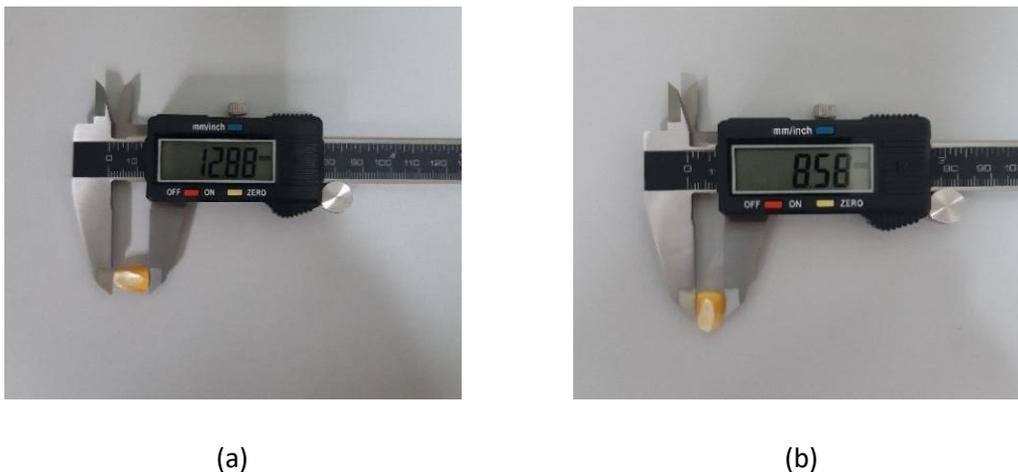


Figura 3 – (a) Medida ortogonal do grão na dimensão A caracterizada como comprimento com uso do paquímetro digital; (b) Medida ortogonal do grão na dimensão B caracterizada como largura com uso do paquímetro digital.

$$Ap = \frac{\pi AB}{4} \quad (1)$$

Em que:

Ap = Área projetada;

A = Comprimento;

B = Largura.

$$Ac = \frac{\pi A^2}{4} \quad (2)$$

Em que:

Ac = Área do menor círculo circunscrito.

$$Circ = \frac{Ap}{Ac} \quad (3)$$

Em que:

Circ = Circularidade;

As medidas da espessura não foram apresentadas devido não ter sido determinado a propriedade física “esfericidade”.

2.7. DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS COM USO DA TÉCNICA DE SILHUETAS

Para a determinação das propriedades físicas caracterizadas como circularidade e área projetada, os grãos foram colocados na mesa do projetor em posição de repouso e a silhueta projetada em um anteparo com papel A4 a uma distância de 4 m, conforme ilustram as Figuras 6, 7, 8, 9 e 10. Uma moeda com diâmetro de 13,95 mm e com circularidade igual a 1 foi colocada na mesa do projetor e sua silhueta foi projetada para servir como testemunha e como base de correção de distorções das imagens. As imagens coletadas eram tratadas com cortes nas proporções 1:1 e posteriormente processadas pelo software removendo as bandas RGB, contando e convertendo os pixels em milímetros. Para o cálculo da circularidade e área projetada, foi implementado ao código as equações propostas por (MOHSENIN, 1986) e, após o processamento das imagens, esses parâmetros foram determinados pelo software.

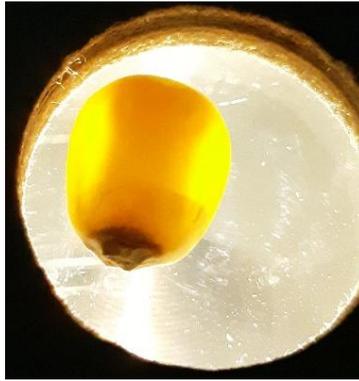


Figura 4 -Grão de milho em repouso na mesa do projetor.



Figura 5 -Anteparo com projeção da silhueta do grão.



Figura 6 - Moeda utilizada como testemunha de circularidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação do teor de água do milho em função da temperatura do ar de secagem está representada na Figura 7. O teor inicial de água do milho foi de, aproximadamente, $14,77 \pm 0,6\%$ b.u. Após a secagem do milho, para as temperaturas, 40°C , 60°C e 80°C , os teores finais de água foram $12,12\%$, $10,12\%$ e $8,90\%$ b.u., respectivamente.

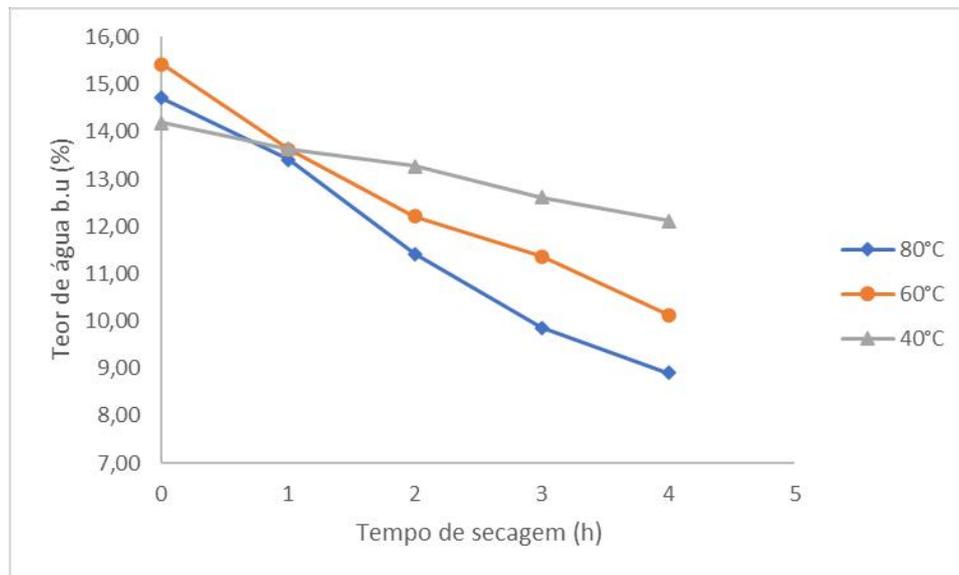


Figura 7 -Curvas de Secagem

A Figura 8 ilustra as imagens de alguns grãos capturadas pelo smartphone e o resultado do processamento realizado pelo software onde observa-se a retirada das bandas RGB e a vetorização das imagens.

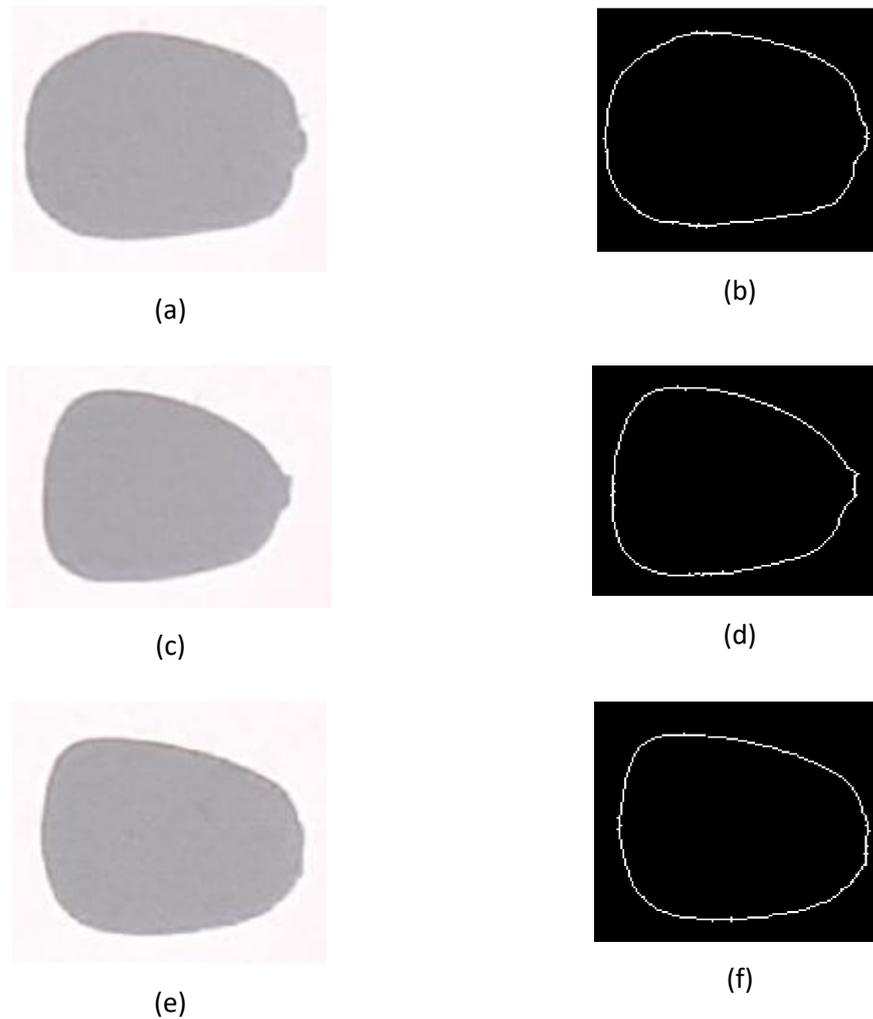


Figura 8 - (a), (c) e (e) Imagens capturadas pelo smartphone sem tratamento; (b), (d) e (f) Imagens processadas e vetorizadas com uso do software octave.

Observa-se, nas Figuras 9, 10 e 11, o comportamento da circularidade do milho em função da variação do teor de água do produto e, nota-se que, são duas grandezas diretamente proporcionais o que indica que a medida em que o grão sofre redução no seu teor de água, a sua circularidade também é reduzida, ou seja, evidencia-se a contração volumétrica dos grãos, algo que coincide com as análises feitas por Oliveira Neto et al. (2012) que conseguiram constatar a redução nas dimensões dos eixos ortogonais nesse caso específico para o feijão. Essa avaliação também corrobora com as análises realizadas por Ajay, A., Rami Reddy, K.V.S. e Ashok Kumar, A. (2021) que, estudando essas propriedades, constataram que a perda de água influencia diretamente nas características físicas dos grãos e sementes tais como forma, tamanho, área de superfície, esfericidade e circularidade e, ressaltaram também a importância na

determinação dessas propriedades físicas para o dimensionamento adequado de equipamentos e máquinas agrícolas, podendo citar, por exemplo, as células das placas dosadoras de sementes.

Ainda nessa linha de pesquisa, outros autores investigando as propriedades físicas dos grãos, também concluíram que estas são influenciadas e sofrem alterações pela perda ou ganho de água, e que essas alterações implicam também em sobre outras propriedades, além das físicas como, por exemplo, a mudança na ação de deslizamento ou o grau de rigidez, o que afeta o ângulo de repouso da massa de grãos ou ainda para o coeficiente de fricção e de coesão aparente da superfície dos grãos que sofrem um aumento, conforme Mousaviraad, M., & Tekeste, M. Z. (2020). Já, para a porosidade e ângulo de repouso, a tendencia é de tornarem-se menores com a perda do teor de água, enquanto as massas específicas, aparente e real, sofrem um aumento (Neto et al., 2012).

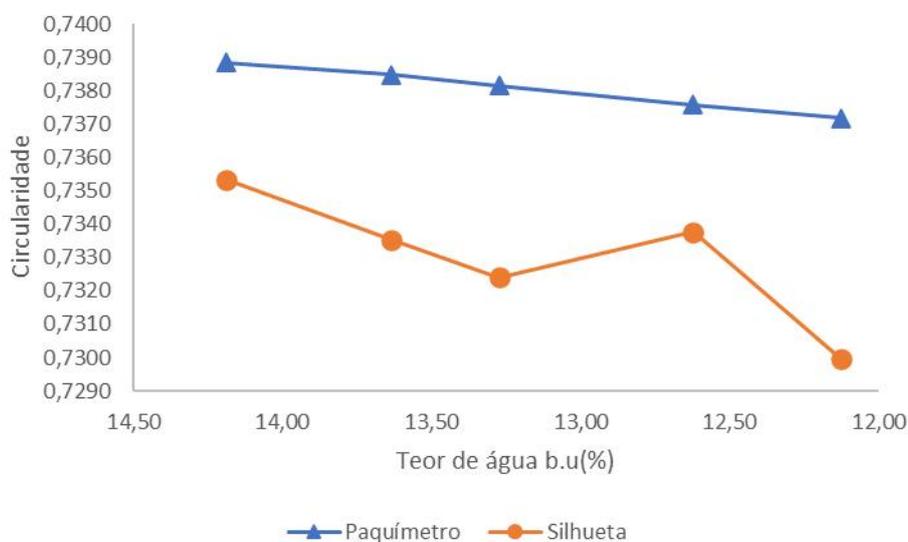


Figura 9 - Circularidade em função do teor de água b.u (%) na secagem à temperatura de 40°C

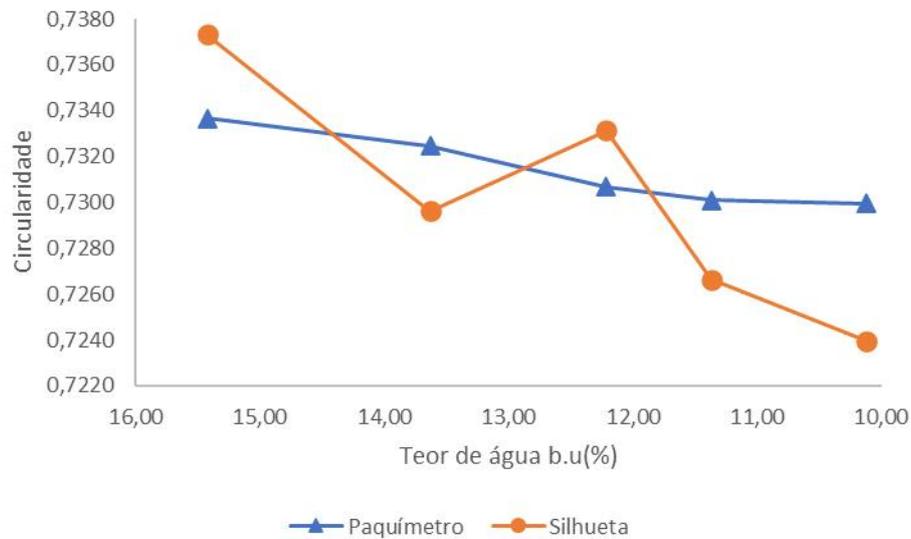


Figura 10 -Circularidade em função do teor de água b.u.(%) na secagem à 60°C

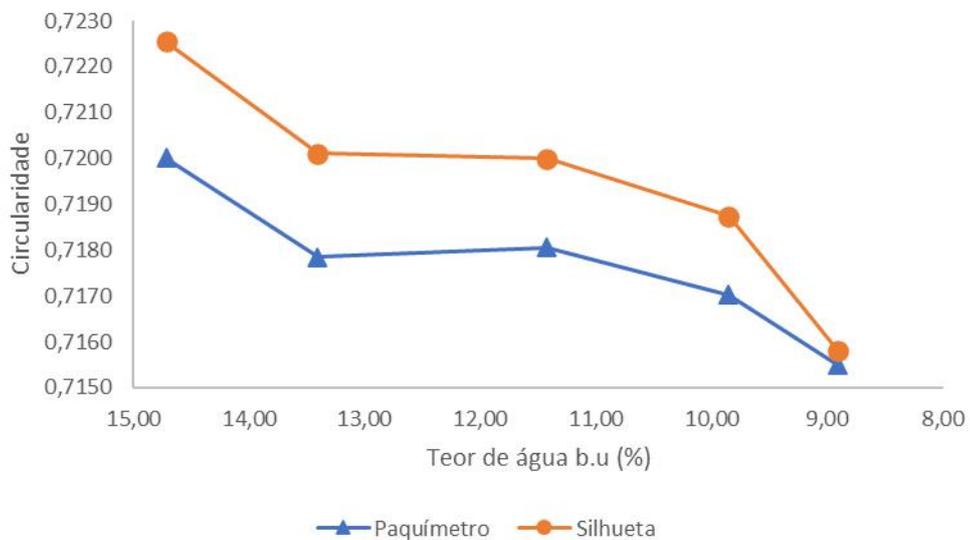


Figura 11 -Circularidade em função do teor de água b.u.(%) à 80°C

É possível observar que, nas leituras realizadas pela técnica da silhueta para as temperaturas de 40°C e 60°C nas horas 3 e 2, respectivamente, há um comportamento que difere das leituras obtidas pelo paquímetro, isso pode ter sido ocasionado pela função de foco da câmera do smartphone utilizado, já que este, possui em suas funções a opção de foco automático e que não foi desabilitado durante o experimento, o que não

prejudicou os resultados, Em seu experimento, Santos et al. (2018) Propôs que o uso de equipamentos melhores e maior número de repetições nas testagens é possível obter melhor precisão com resultados mais próximos daqueles obtidos no paquímetro e ainda na determinação de um fator de correção adequado. Quanto a metodologia utilizada na determinação da circularidade dos grãos, observou-se nos Gráficos 2, 3 e 4 que os valores de circularidade das leituras de ambos os métodos foram significativamente próximos, assim, para se ter uma confirmação estatística, foi utilizado o software R para uma análise de variância ANOVA que foi capaz de fornecer para essa investigação o grau de significância dos fatores e interações aplicados ao método proposto. Devido aos grãos já estarem com um baixo teor de água a análise foi feita considerando o tempo de secagem como o primeiro fator para os três tratamentos sendo estes; 40°C, 60°C e 80°C, o segundo fator foram as leituras obtidas pelo método direto com uso do paquímetro digital e comparando-os com o método da determinação da circularidade pela técnica silhueta, em que as medidas foram obtidas pelo processamento das imagens, sem o uso do paquímetro. Os resultados mostraram que para o fator leitura e de acordo com o teste F a 5% de significância, os valores das médias desse fator foram estatisticamente iguais nos três tratamentos e o mesmo resultado foi obtido levando em consideração o fator tempo de secagem. Estes resultados corroboram com a investigação realizada por Pierre, Bianca Soares et al (2019) que analisando a contração volumétrica do feijão da cultivar BRSMG Realce concluíram que é viável o uso das técnicas de imagens na determinação das dimensões ortogonais. Os resultados podem ser avaliados nos dados apresentados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1 -Resultado ANOVA para temperatura de 40°C; Fator 1: Leitura, Fator 2 Tempo; CV= 2,15%.

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Leitura	1	0.0001905	2	0.76532	0.39205
Tempo	4	0.0000395	5	0.03964	0.99675
Leitura*Tempo	4	0.0000140	4	0.01402	0.99958
Resíduo	20	0.0049786	3		
Total	29	0.0052226	1		

Tabela 2 -Resultado ANOVA para temperatura de 60°C; Fator 1: Leitura, Fator 2 Tempo; CV= 2,13%.

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Leitura	1	0.0000113	3	0.046718	0.83106
Tempo	4	0.0002640	5	0.273262	0.89174
Leitura*Tempo	4	0.0001021	4	0.105617	0.97921
Resíduo	20	0.0048312	2		
Total	29	0.0052086	1		

Tabela 3 -Resultado ANOVA para temperatura de 80°C; Fator 1: Leitura, Fator 2 Tempo; CV= 2,36%.

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Leitura	1	0.0000232	4	0.080920	0.77898
Tempo	4	0.0001019	5	0.088751	0.98493
Leitura*Tempo	4	0.0000046	3	0.004007	0.99996
Resíduo	20	0.0057420	2		
Total	29	0.0058717	1		

Tabela 4 -Média das circularidades na temperatura de 40°C obtidas pelos métodos da Silhueta e Paquímetro Digital.

	Repetição	Circularidade	Umidade (%)
S	R0	0,7353	14,19
	R1	0,7335	13,64
	R2	0,7324	13,27
	R3	0,7338	12,62
	R4	0,7299	12,12
P	R0	0,7389	14,19
	R1	0,7385	13,64
	R2	0,7382	13,27
	R3	0,7376	12,62
	R4	0,7372	12,12

Tabela 5 -Média das circularidades na temperatura de 60°C obtidas pelos métodos da Silhueta e Paquímetro Digital.

	Repetição	Circularidade	Umidade (%)
S	R0	0,7373	15,42
	R1	0,7296	13,63
	R2	0,7331	12,22
	R3	0,7266	11,37
	R4	0,7240	10,12
P	R0	0,7337	15,42
	R1	0,7325	13,63
	R2	0,7307	12,22
	R3	0,7301	11,37
	R4	0,7300	10,12

Tabela 6 -Média das circularidades na temperatura de 80°C obtidas pelos métodos da Silhueta e Paquímetro Digital.

	Repetição	Circularidade	Umidade (%)
S	R0	0,7225	14,71
	R1	0,7201	13,41
	R2	0,7200	11,42
	R3	0,7187	9,85
	R4	0,7158	8,90
P	R0	0,7200	14,71
	R1	0,7178	13,41
	R2	0,7181	11,42
	R3	0,7170	9,85
	R4	0,7155	8,90

Analisando as leituras de circularidades coletadas pelo paquímetro digital e o uso da técnica de silhueta nas Figuras 12, 13 e 14, buscou-se ainda encontrar o coeficiente de determinação R^2 que numa regressão linear simples tendo o eixo $x =$ Técnica da Silhueta como a variável explanatória e ajustando o modelo para encontrar a variável repostada $y =$ Paquímetro digital, pode fornecer em porcentagem o grau de variabilidade de x e y , assim quanto mais próximo de 1 o R^2 estiver, melhor é a resposta, Martins, E. G. M. (2018).

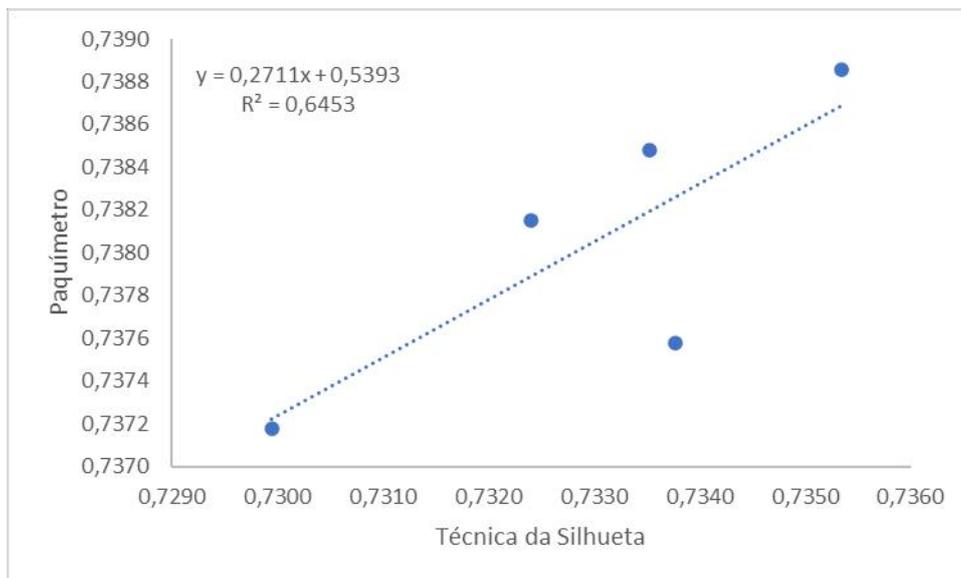


Figura 12 - Coeficiente de determinação R^2 e modelo de ajuste para leituras feitas nos métodos do Paquímetro e Silhueta na temperatura de 40°C

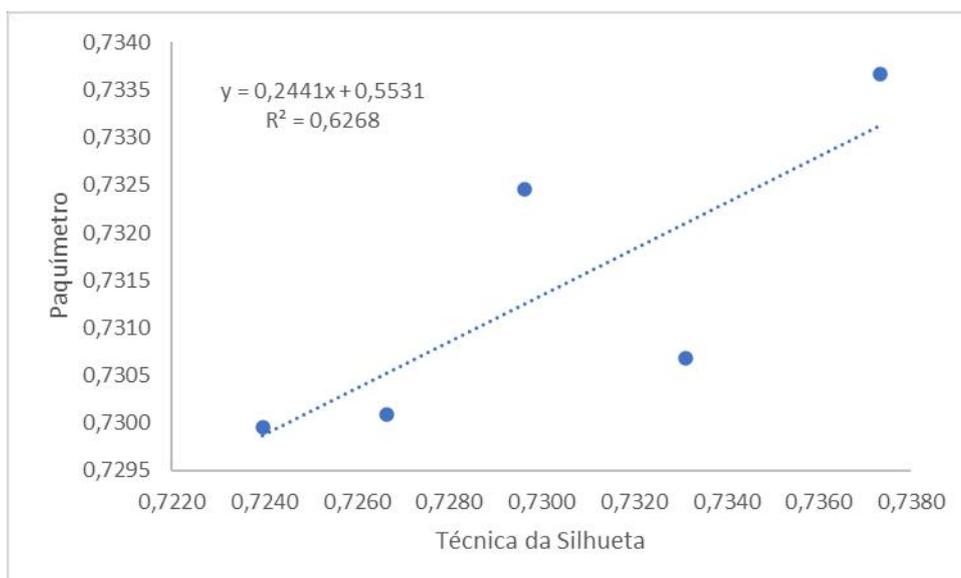


Figura 13 Coeficiente de determinação R^2 e modelo de ajuste para leitura feitas nos métodos do Paquímetro e Silhueta na temperatura de 60°C

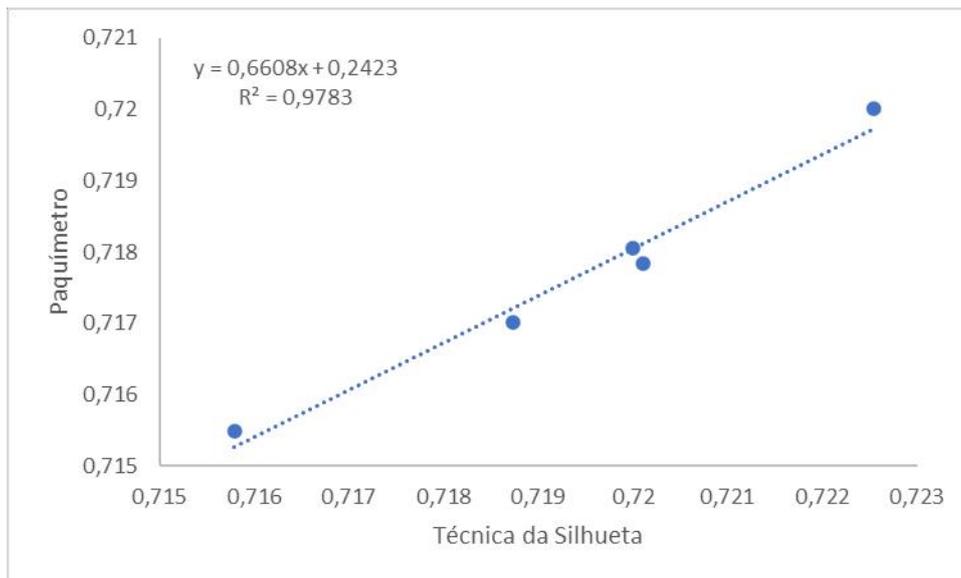


Figura 14 - Coeficiente de determinação R^2 e modelo de ajuste para leitura feitas nos métodos do Paquímetro e Silhueta na temperatura de 80°C

Nota-se no comportamento do gráfico que existe uma tendência linear sendo que o melhor resultado obtido foi no tratamento a temperatura de 80°C com o $R^2 = 97,83\%$ para as temperaturas de 40°C e 60°C a resposta do R^2 foram boas, chegando a $64,53\%$ e $62,68\%$ respectivamente.

Nas análises individualizadas das dimensões dos eixos ortogonais tais como comprimento e largura aqui chamados de eixo A e eixo B as Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 mostram o comportamento das leituras realizadas entre os dois métodos.

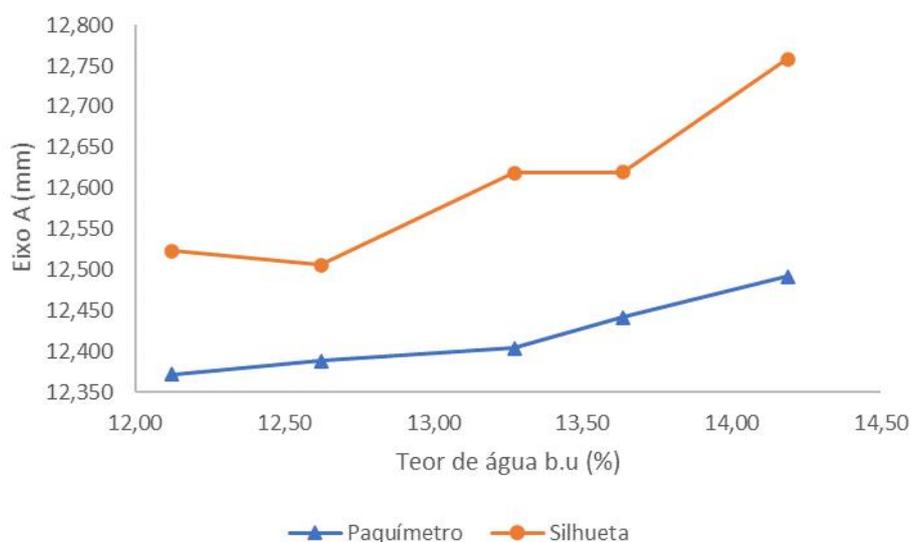


Figura 15 - Curva da contração do eixo A em função do teor de água para a temperatura de 40°C com leituras feitas pelos métodos do Paquímetro e Técnica da silhueta.

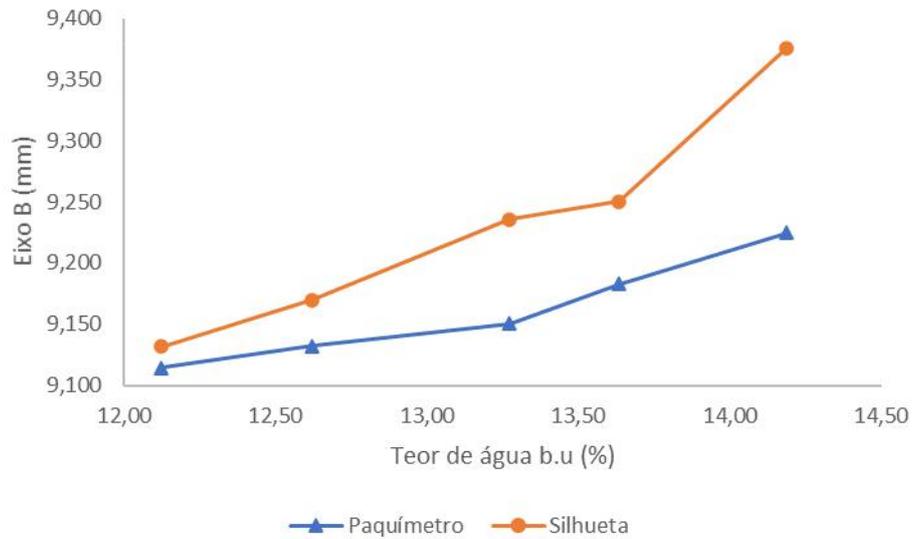


Figura 16 - Curva da contração do eixo B em função do teor de água para a temperatura de 40°C com leituras feitas pelos métodos do Paquímetro e Técnica da silhueta.

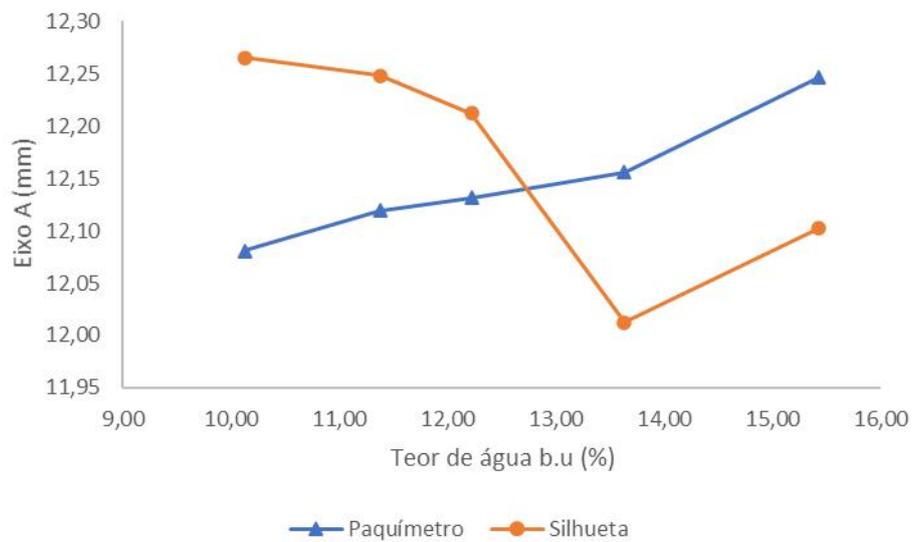


Figura 17 - Curva da contração do eixo A em função do teor de água para temperatura de 60°C com leituras feitas pelos métodos do Paquímetro e Técnica da silhueta.

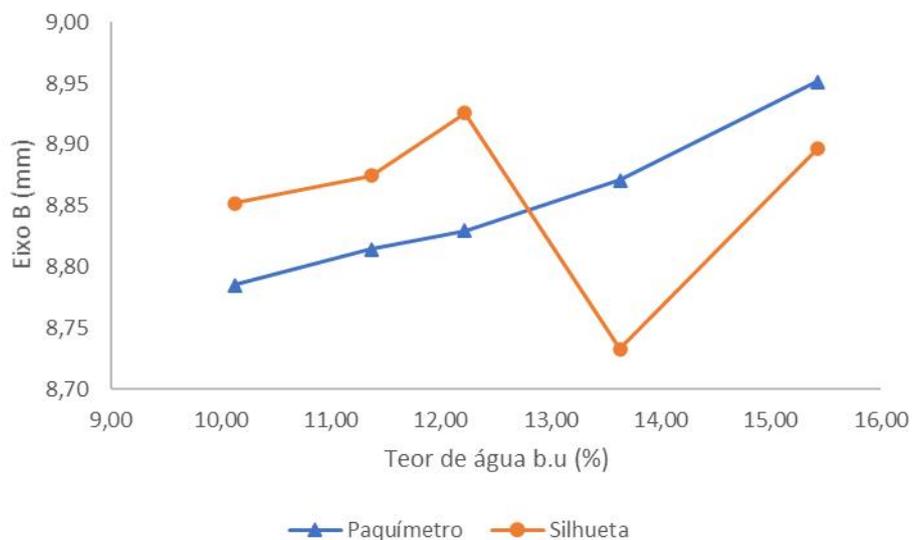


Figura 18 - Curva da contração do eixo B em função do teor de água para temperatura de 60°C com leituras feitas pelos métodos do Paquímetro e Técnica da silhueta.

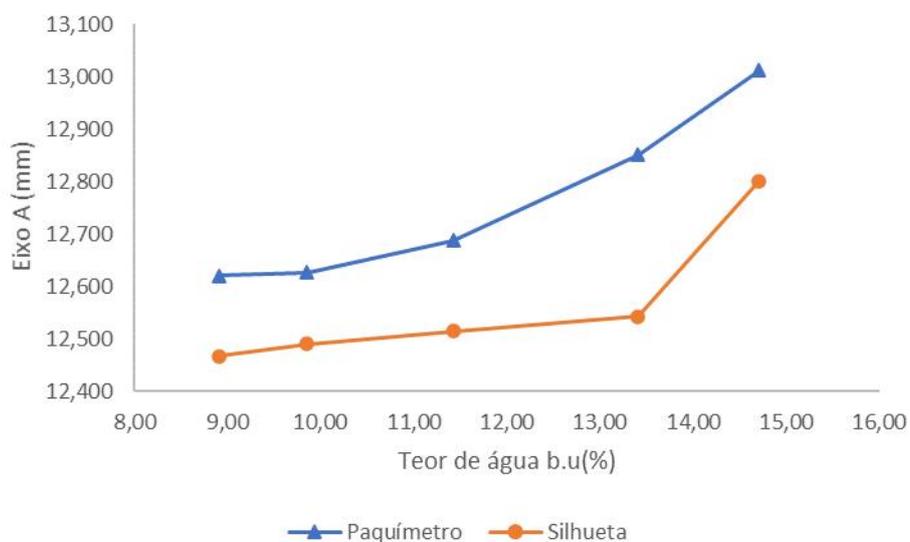


Figura 19 - Curva da contração do eixo A em função do teor de água para temperatura de 80°C com leituras feitas pelos métodos do Paquímetro e Técnica da silhueta.

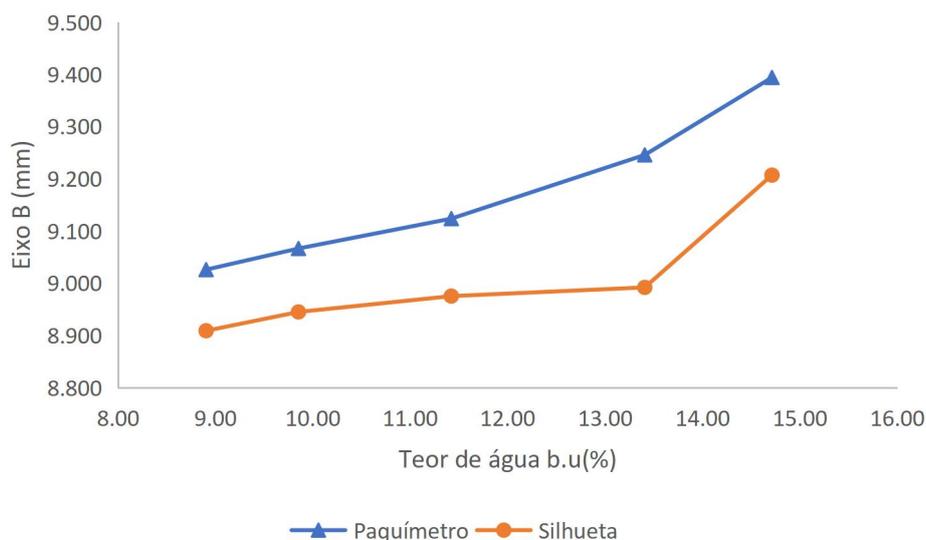


Figura 20 - Curva da contração do eixo B em função do teor de água para temperatura de 80°C com leituras feitas pelos métodos do Paquímetro e Técnica da silhueta.

Observa-se que as leituras das médias feitas individualmente nas dimensões dos eixos A e B das amostras testadas na secagem e nas temperaturas de 40°C e 80°C com o uso das duas técnicas, ocorreu a contração volumétrica dos grãos a medida em que se perde teor de água. Nota-se ainda que para as leituras feitas com a técnica de silhueta na temperatura de 60°C, não houve a continuidade na tendência a qual seguiu o paquímetro, o que indica que para esse tratamento pode ter ocorrido alguma falha na coleta de imagens, ainda assim os valores lidos através das imagens são muito próximos das leituras feitas pelo paquímetro digital onde o maior erro obtido pela método da silhueta foi de $\pm 0,31\text{mm}$ e o menor erro foi de $\pm 0,018\text{mm}$, essa proximidade pode ser avaliada nas Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 - Leituras feitas pelo método do Paquímetro (P) e Silhueta (S) das dimensões A e B na temperatura de 40°C.

	Repetição	A (mm)	B (mm)
P	R0	12,491	9,225
	R1	12,442	9,183
	R2	12,404	9,151
	R3	12,388	9,132
	R4	12,372	9,114
S	R0	12,758	9,376
	R1	12,620	9,251
	R2	12,619	9,236
	R3	12,505	9,170

Tabela 8 - Leituras feitas pelo método do Paquímetro (P) e Silhueta (S) das dimensões A e B na temperatura de 60°C.

	Repetição	A (mm)	B (mm)
P	R0	12,25	8,95
	R1	12,16	8,87
	R2	12,13	8,83
	R3	12,12	8,81
	R4	12,08	8,79
S	R0	12,10	8,90
	R1	12,01	8,73
	R2	12,21	8,93
	R3	12,25	8,87
	R4	12,26	8,85

Tabela 9 - Leituras feitas pelo método do Paquímetro (P) e Silhueta (S) das dimensões A e B na temperatura de 80°C.

	Repetição	A (mm)	B (mm)
P	R0	12,801	9,207
	R1	12,542	8,992
	R2	12,514	8,976
	R3	12,490	8,945
	R4	12,466	8,909
S	R0	13,011	9,394
	R1	12,851	9,246
	R2	12,687	9,124
	R3	12,627	9,067
	R4	12,620	9,026

Na análise do coeficiente de determinação R^2 para as leituras com uso do método direto e da técnica de silhueta dos eixos ortogonais individualizados, obteve-se que para as temperaturas de 40°C e 80°C, o R^2 para o eixo A foi de 88,9% e 84,8%, respectivamente e para o eixo B os valores de R^2 foram de 95,8% e 88,14%, respectivamente. Para a leituras das médias feitas na temperatura de 60°C não foi possível estimar o coeficiente de determinação por motivos já explicados anteriormente, conforme apresentados nas Figuras 21, 22, 23, 24, 25 e 26.

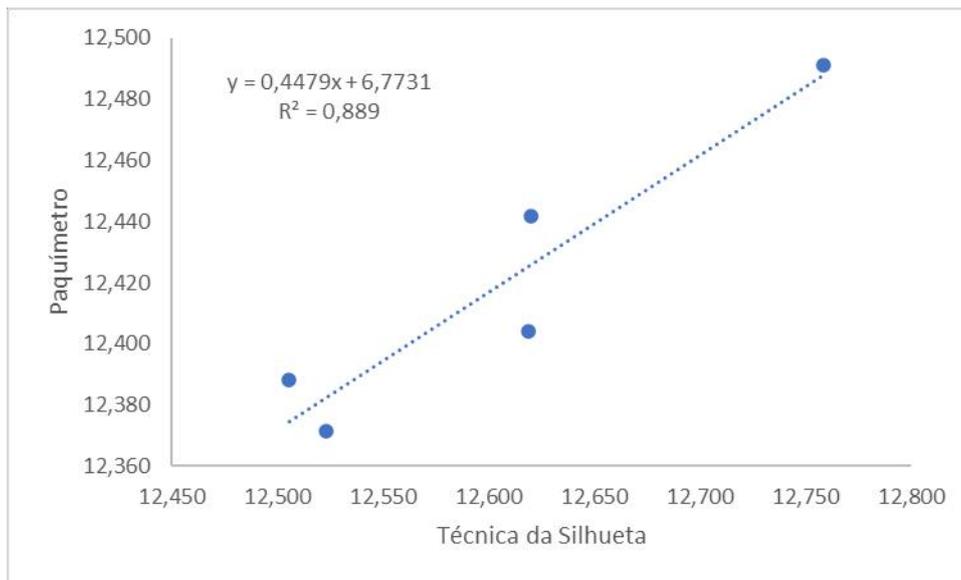


Figura 21 - Coeficiente de determinação R^2 e modelo de ajuste para leituras feitas nos métodos do Paquímetro de Silhueta do eixo A na temperatura de 40°C

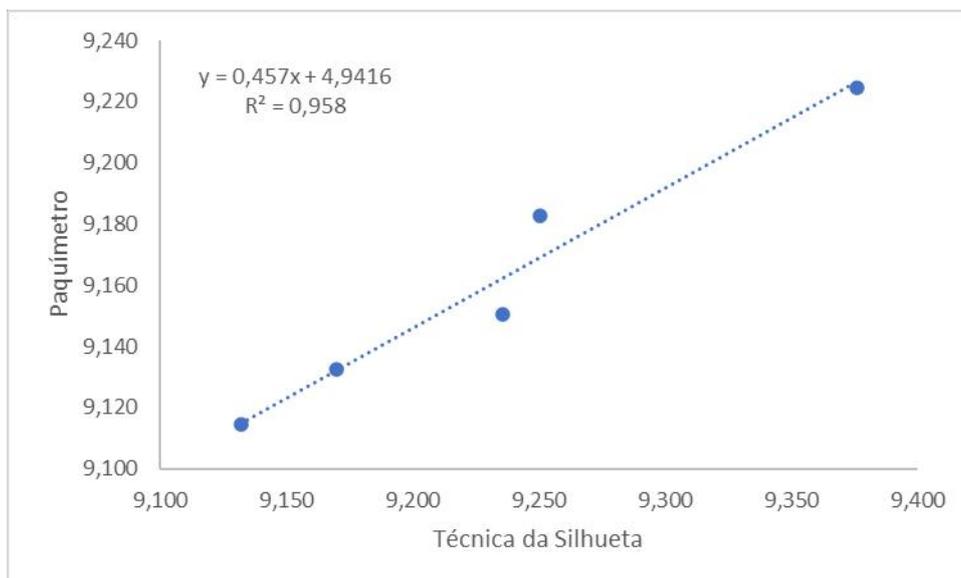


Figura 22 - Coeficiente de determinação R^2 e modelo de ajuste para leituras feitas nos métodos do Paquímetro de Silhueta do eixo B na temperatura de 40°C

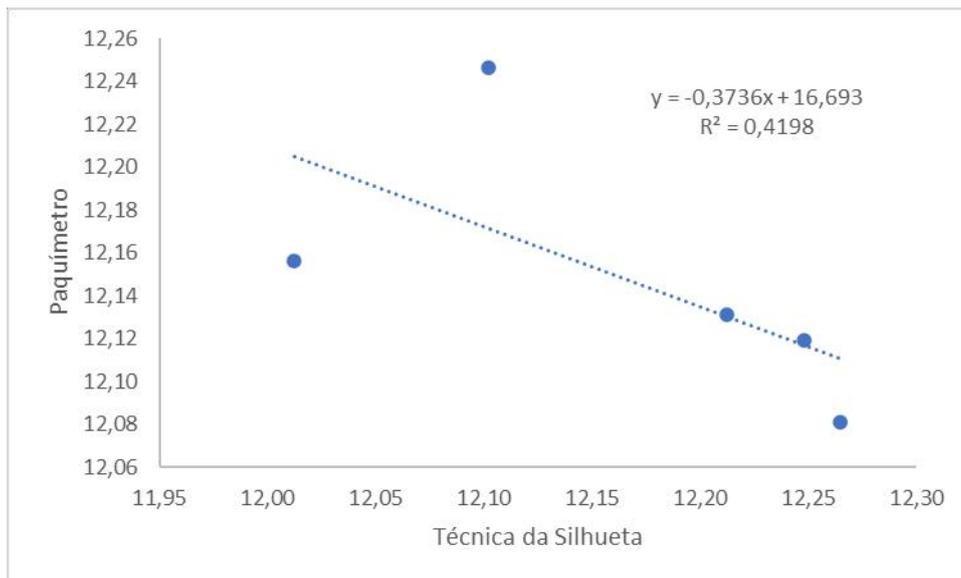


Figura 23 - Coeficiente de determinação R^2 e modelo de ajuste para leituras feitas nos métodos do Paquímetro de Silhueta do eixo A na temperatura de 60°C

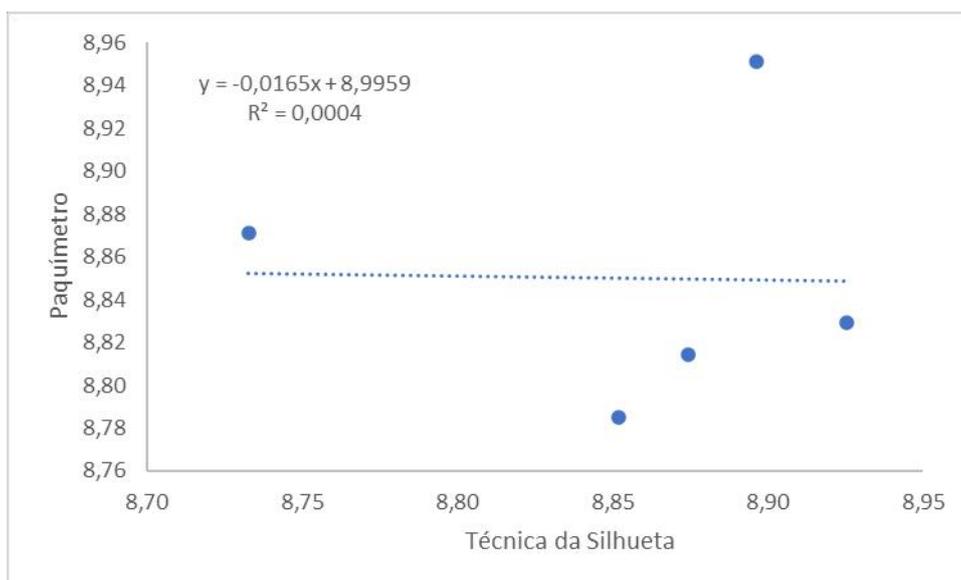


Figura 24 - Coeficiente de determinação R^2 e modelo de ajuste para leituras feitas nos métodos do Paquímetro de Silhueta do eixo B na temperatura de 60°C

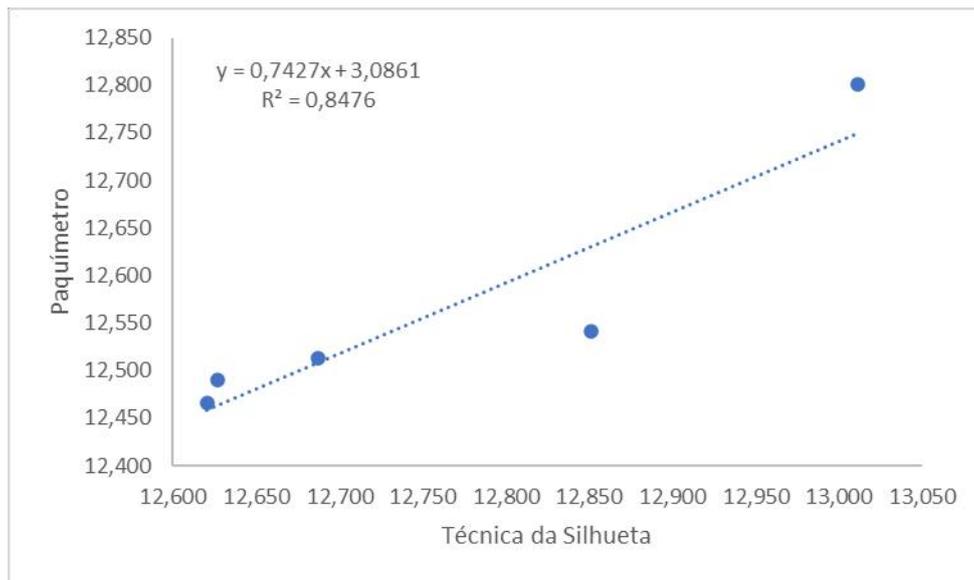


Figura 25 - Coeficiente de determinação R^2 e modelo de ajuste para leituras feitas nos métodos do Paquímetro de Silhueta do eixo A na temperatura de 80°C

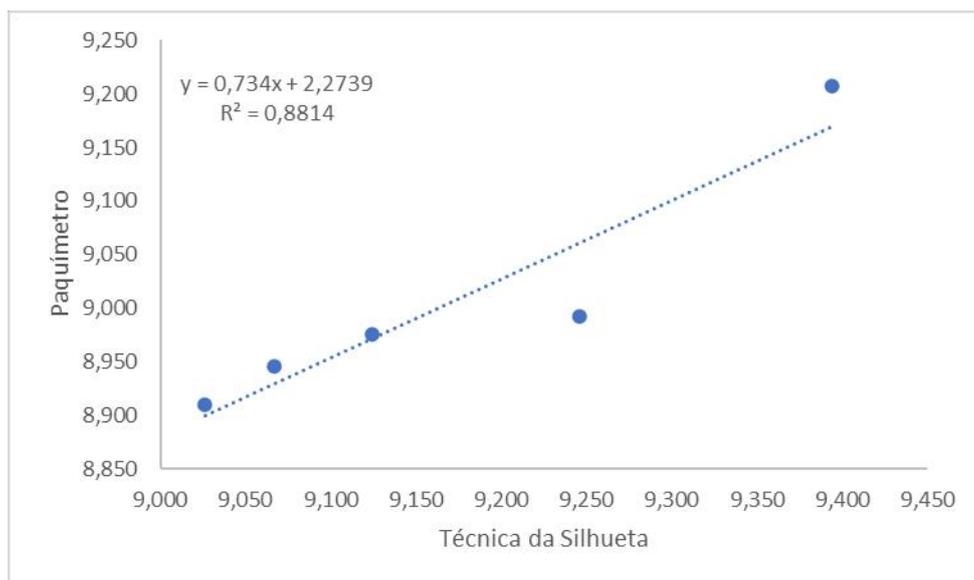


Figura 26 - Coeficiente de determinação R^2 e modelo de ajuste para leituras feitas nos métodos do Paquímetro de Silhueta do eixo B na temperatura de 80°C

4. CONCLUSÃO

Considerando-se as condições em que foi realizado o experimento, pode-se concluir que:

- a) A circularidade e a área projetada do milho diminuíram com a redução do teor de água;
- b) A Técnica de Silhueta pode ser utilizada para a determinação da circularidade e da área projetada do milho sem a necessidade do uso de um instrumento para a medição das dimensões dos grãos.
- c) Comparando-se os dois métodos com ANOVA e teste F a 5%, mostrou-se que os mesmos são estatisticamente iguais.

5. REFERÊNCIAS

AJAY, A.; REDDY, KVS Rami; KUMAR, A. Ashok. Study of Physical Properties of Zea mays in the Development of Seed Metering Unit. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, v. 14, n. 2, p. 159-163, 2021.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: primeiro levantamento, outubro 2021 – safra 2020/2021.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 27 out. 2021.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: primeiro levantamento, outubro 2021 – safra 2021/2022.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 27 out. 2021.

DEVILLA, Ivano Alessandro; OLIVEIRA NETO, Manoel Cândido de; REIS, Renata Cunha dos. Propriedades físicas de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade" Emgopa 201-Ouro. *Revista Agrotecnologia*, v. 1, n. 1, p. 99-110, 2012.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **USDA.gov** - United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 27 out. 2021.

MARTINS, E. G. M. Coeficiente de determinação. *Revista Ciência Elementar*, v. 6, n. 01, 2018.

MOHSEIN, N. N. - Physical properties of plant and animal materials. New York; Gordon and Breach, Science Publishers, 1986. 891p.

MORAIS, Wilker Alves et al. Shape and size of soybean grains under different moisture contents. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 39, n. 6, p. 2821-2834, 2018.

MOUSAVIRAAD, Mohammad; TEKESTE, Mehari Z. Effect of grain moisture content on physical, mechanical, and bulk dynamic behaviour of maize. *Biosystems Engineering*, v. 195, p. 186-197, 2020.

OLIVEIRA et al. Forma e tamanho dos grãos de milho da cultivar P3646 submetidos a diferentes condições de ar de secagem. *Nativa Sinop*, v02, n 03, p. 162-165 jul/set 2014. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1484>>, Acessado em: 31 outubro 2021

PIERRE, Bianca Soares et al. Aplicação do processamento digital de imagens na caracterização de propriedades físicas de feijão ‘brsmg realce’ durante a secagem e estudo da qualidade física de grãos de bico ‘brs cristalino’ armazenados em diferentes embalagens. 2019.

RESENDE, O.; Corrêa, P. C.; Goneli, A. L. D.; Ribeiro, D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 32, n. 1, p. 225-230, jan./fev., 2008.

SANTOS, J. E. B. Classificação de laranjas por forma através de técnicas ópticas. São Cristóvão: UFS, 2018. 52 p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Sergipe, 2018.