



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



Tertius Baldassari Vergueiro Neto

Biospeckle laser para avaliar o teor de água em grãos de café

CAMPINAS
2019



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



Tertius Baldassari Vergueiro Neto

Biospeckle laser para avaliar o teor de água em grãos de café

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrícola à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Orientadora: Prof. Dr. Juliana Aparecida Fracarolli

**CAMPINAS
2019**

RESUMO

O café é um dos produtos mais importantes para economia no Brasil, a produção chega a mais de 50 milhões de sacas de 60 kg por ano. Um dos processos mais importantes na produção do café é a secagem, esse processo vem se desenvolvido bastante ao longo dos anos. Para que haja uma evolução no processo é necessário que seja aplicada a ele novas tecnologia. Um método que vem se desenvolvendo ao longo dos ano é o *biospeckle laser*. Esse método se baseia em irradiar laser sobre o alvo de estudo e obter variação da atividade celular do alvo. Dessa forma o objetivo deste trabalho é avaliar a mudança nos resultados utilizando o *biospeckle* no *coffea arabica* cultivar Mundo Novo. Para avaliação foram utilizados 3 amostras em unidades diferentes, ou seja, foi analisado amostras ao longo do processo de secagem, uma no início, outra no meio e a terceira no final da secagem. Ao comparar os resultados obtidos de cada amostra o *biospeckle laser* se mostrou ser um bom parâmetro para avaliar a diferença de umidade em grãos de café

Palavras-chave: Biospeckle, Café, Umidade

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	4
2 - OBJETIVOS	6
2.1-OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 - MORFOLOGIA/CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA	7
3.1.1 - Coffea arabica	7
3.2 - BIOSPECKLE	8
3.2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O BIOSPECKLE	8
3.2.2 - APLICAÇÕES DOS MÉTODOS BASEADOS EM BIOSPECKLE NA AVALIAÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS	10
4 - MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
4.2 - MATERIAL	13
4.2.1 - MÉTODO DIELÉTRICO	13
4.3 - EXPERIMENTO	14
5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
5.1 - MÉTODO AVD	22
5.2 - MOMENTO DE INÉRCIA	28
6 - CONCLUSÃO	34
7 - REFERÊNCIAS	35

1 - INTRODUÇÃO

O café desde o período colonial, é uma das principais culturas que geram renda no Brasil, de acordo com Bliska et al., (2007). Atualmente o Brasil representa cerca de um terço da produção mundial de café, sendo o maior produtor de café no mundo, posto que ocupa a mais de 150 anos. Em torno de 153 milhões de sacas de 60 kg de café são produzidas anualmente em mais de 50 países. Em média mais de 60% da produção de localiza na América Central e do Sul, como dito anteriormente o Brasil lidera a produção de café com uma quantidade de 50 milhões de toneladas.

Mesmo estando em primeiro lugar no ranking de produção de café, o Brasil ainda tem muito a melhorar quando se trata no beneficiamento do café. Grande parte da produção é perdida nos processos, desde a lavagem até o ensacamento para um futuro transporte.

Um fator importante para a qualidade final do café é o processo de secagem. Alguns fatores durante esse processo devem se observados, e Matiello et al. (2005) destacam o teor de umidade como o principal fator. Diante disso novos processos para obtenção cada vez mais precisos e rápidos estão se desenvolvendo. Métodos ópticos estão cada vez mais comuns nesse meio.

Atualmente esses métodos ópticos são pouco aplicados para a cultura do café, em sua maioria a umidade é medida através da resistência elétrica do grão, já que a condutividade elétrica do grão varia de acordo com o seu teor de umidade. Outro método é o do dielétrico, a capacitância de um capacitor é alterada de acordo com as propriedades dielétricas dos materiais colocados entre as suas placas, assim, com essas variações é possível medir, indiretamente, o teor de água do material.

Um método óptico que tem se desenvolvido, não só para medições de umidade, mas também para viabilidade de sementes, é o *biospeckle*. De acordo com Fracarolli (2011) *biospeckle* é um “fenômeno óptico de interferência que carrega informações do material que está sendo exposto a uma fonte de luz coerente”. Esse método tem sido pesquisado por ser não destrutivo e ter a possibilidade de ser automatizado.

Neste contexto, e considerando a alta potencialidade do *biospeckle* na avaliação de materiais biológicos, o presente trabalho tem como objetivo utilizar o *biospeckle* como forma de medição de umidade de grãos de café.

2 - OBJETIVOS

Avaliar o teor de água em grãos de café arábica através do biospeckle.

2.1-OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter grãos de café em diferentes teores de água, obtidos ao longo do processo de secagem;
- Obter resultados com *biospeckle* através de diferentes processamentos;
- Obter o teor de água das amostras através de métodos tradicionais (Geole 600);
- Correlacionar os resultados de *biospeckle* com os valores de teor de água obtidos por métodos tradicionais.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - MORFOLOGIA/CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA

3.1.1 - *Coffea arabica*

O café ocupa um lugar importante na sociedade humana há pelo menos 1.200 anos. Depois do petróleo, o café tornou-se a segunda mercadoria mais valiosa em todo o mundo (BAE et al. 2014). Tal cultura, é explorada em cerca de 80 países em todo o mundo e envolve grandes negócios, cuja distribuição requer um alto grau de conhecimento sobre seu processamento (MURTHY; NAIDU, 2012). No Brasil, o café foi introduzido por volta do ano de 1730, sendo originário na América Central e na Guiana Francesa (MOREIRA, 2013).

Em virtude da importância econômica do cafeeiro, a cultura vem sendo objeto de muitas pesquisas que visam seu melhoramento genético (DUARTE, 2014). Além disto, também é de grande interesse, o aprimoramento e desenvolvimento de técnicas que visam otimizar a condução da cultura, de forma que resultem em incrementos de produtividade e melhores características do grão.

A planta do café pertence à família *Rubiaceae* e ao gênero *Coffea*. Em termos de classificação botânica, o café é uma planta arbustiva composta como a gardênia e a quina, contando com duas espécies mais conhecidas: *Coffea arabica*, considerada mais nobre e de melhor qualidade e sabor, e a espécie canéfora, robusta africana (MOREIRA, 2013). Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento, 80% da produção do café no Brasil é arábica (MAPA, 2017).

De maneira geral, a maior parte das variedades de *coffea arábica* apresenta 44 cromossomos somáticos, os quais, em meiose, se distribuem normalmente, gerando gametas com 22 cromossomos (KRUG; MENDES; CARVALHO, 1949; CARVALHO, 1952).

O cafeeiro é uma planta perene, dicotiledônea, de porte arbustivo ou arbóreo, de caule lenhoso, folhas persistentes e flores hermafroditas. No caso da espécie arábica, esta, apresenta-se com altura média de 3 a 5 metros, podendo

chegar a 10 metros. O tronco tem de 8 a 10 centímetros de diâmetro e suas raízes podem chegar até 1,5 m de profundidade, sendo que as flores possuem fragrância de jasmim e seus frutos vão do verde ao vermelho quando maduros, passando pelo amarelo (CLARKE; MACRAE, 1989). A parte mais importante do grão, do ponto de vista econômico e fisiológico é o endosperma e tem sido objeto de diversos estudos ao que compete à sua composição química.

O café arábica (*Coffea arábica*) leva cerca de dois anos para completar seu ciclo fenológico de frutificação, ao contrário da maioria das plantas que completam o ciclo reprodutivo no mesmo ano (CAMARGO; CAMARGO, 2001). De acordo com Gouveia (1984 *apud* Camargo e Camargo, 2001, p. 66), no primeiro ciclo, formam-se os ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós, durante os meses de dias longos. Em janeiro, quando os dias começam a se encurtar, as gemas vegetativas axilares são induzidas por fotoperiodismo em gemas reprodutivas.

Ainda para Camargo e Camargo (2001) a esquematização das diferentes fases fenológicas do cafeeiro arábica é de grande valor ao que objetiva-se facilitar e racionalizar as pesquisas e observações na cafeicultura, dado que esta é uma metodologia a qual permite detectar fases que exigem mais água facilmente disponível no solo, bem como aquelas nas quais torna-se conveniente ocorrer um pequeno estresse hídrico, para proporcionar uma florada abundante. Desta forma, tal feito (esquematização), auxilia, entre outras coisas, o reconhecimento das melhores épocas de aplicação de tratamentos fitossanitários e a execução das operações agrícolas na condução do cafeeiro.

3.2 - BIOSPECKLE

3.2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O BIOSPECKLE

O nome *biospeckle*, de acordo com Amaral et al. (2013) é uma derivação do termo "speckle dinâmico", de acordo com Asakura e Takai (1981), que também pode ser associado às "flutuações speckle" por Briers (1993) e Ross, Dhadwal e Foulkes (1983). Conforme trazido por Enes (2011), por tratar-se de uma tecnologia dinâmica (RABELO, 2000), o *biospeckle* necessita ser relacionado às técnicas de

processamento de imagens e tratamento estatístico, haja vista que a observação visual permite apenas a detecção da existência de um fenômeno, não sendo possível qualificá-lo (RABAL et al. 1996; RABAL; TRIVI; ARIZAGA, 1996).

Chiang e Kin (1982) introduziram o conceito de fotografia speckle de elétrons, através do qual speckles submicron e nanômetro foram criados por meio de um processo de deposição física de vapor, cuja gravação foi realizada por um microscópio eletrônico. Como resultados, a resolução da fotografia speckle foi aumentada em várias ordens de grandeza. Com o avanço das técnicas de speckle digital, o método agora é totalmente automatizado (CHIANG, 2006; HWANG et al. 2012).

Atualmente, muitas técnicas de processamento de imagens têm sido empregadas para quantificar o nível de atividade de materiais biológicos e correlacionar esses níveis com padrões de qualidade em culturas agrícolas (BRAGA et al., 2007; ENES, 2011; ZDUNEK et al. 2013). Vale ressaltar, porém, que os dados processados do *biospeckle* podem ser utilizados em diversos campos do conhecimento, como na medicina, por exemplo, monitorando a microcirculação e, na maioria dos casos, em abordagens on-line com resultados de baixa definição (SENG; PAUL, 2004; PIEDERRIÈRE et al. 2006).

A atividade aparente do *biospeckle* é resultante do movimento físico das partículas dentro das células e é afetada pela variação da absorção de luz pelos pigmentos dos tecidos. Portanto, esta operação é capaz de fornecer informações sobre vários processos vivos que ocorrem dentro de uma célula. Todavia, o método é considerado “não destrutivo”, já que nenhum resultado visível da interação do tecido com a luz foi relatado até o momento, quando os lasers de baixa potência foram utilizados em pesquisas (PIEDERRIÈRE et al. 2006).

O *biospeckle* pode ser considerado um fenômeno óptico de interferência advinda da incidência de luz. A interação da luz com a matéria pode apresentar os fenômenos de absorção, transmissão, dispersão, reflexão e espalhamento, que é fundamental na formação do *speckle*. Deste modo: “Quando a superfície é lisa, ou seja, com rugosidade inferior ao comprimento de onda incidente, a reflexão especular é dominante. Já uma superfície rugosa, com rugosidade da ordem de

grandeza do comprimento de onda, a reflexão é do tipo difusa (FRACAROLLI, 2011, p.20).

Como já definido por Rabelo, 2000, p. 12: “o padrão temporal do “speckle” (STS) constitui-se de uma manipulação das diversas imagens obtidas da superfície do objeto iluminado pelo laser. De cada imagem conseguida, retira-se uma linha que é colocada ao lado da linha da imagem subsequente, formando uma imagem de 512x512 “pixels” denominada de STS”. Neste contexto, o mesmo autor explica que os movimentos do material a ser investigado são transmitidos para a figura do “speckle” formado.

A chamada técnica de *speckle* photography tornou-se uma importante ferramenta metrológica, análise de tensão e mecânica de fluidos, a qual irá depender do tamanho dos *speckles* empregados (CHIANG, 2006). Desta forma, a atividade do *biospeckle* relacionada aos processos bioquímicos é possível em decorrência ao envelhecimento e o prazo de validade das amostras botânicas, que são acompanhados por vários processos bioquímicos. Neste ensejo, a atividade observada do *biospeckle* é capaz de refletir a dinâmica das alterações relacionadas ao metabolismo no tecido das plantas, por exemplo. Entretanto, vale ressaltar, porém, que a interpretação da atividade do *biospeckle* a partir desse ponto de vista, ainda é muito escassa (ZDUNEK et al., 2013).

3.2.2 - APLICAÇÕES DOS MÉTODOS BASEADOS EM BIOSPECKLE NA AVALIAÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS

A análise das imagens do *biospeckle* permite a extração de informações sobre a atividade que ocorrem na área iluminada por meio de métodos online e offline, bem como por resultados numéricos e gráficos (GODINHO et al. 2012).

Biospeckle permite identificar defeitos mecânicos e de doença de um fruto, por exemplo, e assim, pode ser utilizado para previsão da janela de colheita de frutas, por exemplo (ZDUNEK et al. 2013). De acordo com Fracarolli (2011) a aplicação da metodologia a qual compete o *biospeckle* em sementes é tocante às

avaliações do teor de água, diferenciação dos níveis de atividade metabólica do tecido vegetal, além da detecção de patógenos. Isto ocorre, pois, a quantidade de água está diretamente relacionada com a intensidade do processo metabólico das sementes, sendo que estes, têm influência na variação temporal dos pontos de interferência do *biospeckle*, ou seja, para um mesmo teor de água, é possível distinguir sementes vivas de sementes que tiveram seu potencial reduzido em função da formação de cristais de água (RODRIGUES et al. 2005).

Sabe-se que para atender a competitividade dos compradores de grãos, seja no mercado interno e/ou externo, altos padrões de qualidade são exigidos e, portanto, exige-se o controle direto das etapas de produção e sementes (MARCOS FILHO; CÍCERO; SILVA, 1987). Desta forma, de acordo com Vidal e Silva (2008) o fenômeno *biospeckle* pode ser considerado como técnica inovadora, haja vista que pode ser utilizada para análise da qualidade, vigor e viabilidade de sementes.

A interpretação sobre a atividade de um material biológico através do *biospeckle* pode ser feita por diferentes métodos (NASCIMENTO et al. 2007; FRACAROLLI, 2011). A pesquisa de Nascimento et al. (2007) buscou desenvolver um modelo para o *biospeckle* na análise de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), a partir de hipóteses simples sobre como o tecido biológico difrata a luz coerente e qual o efeito da atividade biológica sobre a difração. Para a condução de tal estudo, os resultados foram comparados a partir da simulação do modelo com resultados experimentais obtidos de sementes.

Como resultados, a mesma pesquisa supracitada de Nascimento et al. (2007) apresentou um modelo que ajustado por comparação entre os resultados de simulações computacionais e resultados reais obtidos em sementes de três diferentes condições de umidade. O modelo apresentado pelos autores, apesar de simples, conseguiu reproduzir qualitativamente bem as curvas de autocorrelação dos padrões de *speckle* experimentais.

Diante a temática que envolve os distintos métodos de análise do *biospeckle*, podem ser citados os modelos: Fujii e Diferenças Generalizadas (DG). De acordo com Fracarolli (2011, p. 24) além destes modelos, “há também métodos que geram resultados numéricos, tais como: Momento de Inércia (MI), Método do Contraste e Autocorrelação”.

O cálculo do Momento de Inércia (MI), por exemplo, foi eficiente na pesquisa de Fracarolli (2011) a qual objetivou-se investigar a aplicação da técnica óptica de *biospeckle* como ferramenta de caracterização do potencial germinativo das sementes de ipê-roxo. Neste estudo, foi possível diferenciar as sementes que sofreram dano térmico causado por baixa temperatura daquelas que não sofreram através do *biospeckle* quantificado pelo cálculo do (MI). De acordo com a autora, é possível diferenciar as sementes viáveis das inviáveis através do *biospeckle*, podendo ser esta considerada uma técnica capaz de detectar a redução de viabilidade e vigor das sementes.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os experimentos foram realizados nos Laboratórios de Máquinas Agrícolas, de Pós-Colheita e de Óptica da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Os procedimentos experimentais podem ser divididos nas seguintes etapas.

- Obtenção da umidade das amostras através de um Geole 600;
- Ensaios ópticos para correlacionar a umidade dos grãos com o Biospeckle.

4.2 - MATERIAL

Para realização do experimento foram obtidas as sementes de café da fazenda Guarani da cidade de Espírito Santo do Pinhal/SP. Neste local os frutos foram coletados e trazidos para UNICAMP para posterior análise. Todos os grãos de café foram descascados e despulpados antes do processo de secagem. O processo utilizado para a secagem foi o uso convencional de terreiro, realizado na fazenda. Esse procedimento consiste em depositar o café em uma superfície para ser exposto ao sol para retirar a umidade dos grãos.

Nos ensaios ópticos foram utilizados: um laser diodo de 632 nm de comprimento de onda (vermelho) e 10 mW de potência, uma câmera filmadora digital SAMSUNG® Galaxy Camera 2 com taxa de aquisição de 60 Hz, um computador tipo PC com processador Intel(R) Core(TM) i5-2410M com softwares para o processamento das imagens, Octave, biospeckle tools, ImageJ versão 1.51p.

4.2.1 - MÉTODO DIELÉTRICO

As propriedades dielétricas dos materiais biológicos dependem, quase em sua maioria, da quantidade de água presente neles, ou seja, dependendo do teor de umidade presente no grão ele terá uma constante dielétrica diferente.

Quando materiais biológicos são colocados entre duas placas de um capacitor eles alteram a constante dielétrica do meio, alterando assim a capacitância do capacitor. Assim, determinando essas variações da capacitância pode-se indiretamente determinar a umidade dos grãos através da seguinte fórmula:

$$U = D \times C \quad U = D \times C$$

(4-2)

Onde:

U = Teor de umidade do grão;

D = Constante dielétrica do meio;

e C = Constante que depende do aparelho e do material biológico que está sendo aferido.

Figura 1 – Amostras utilizadas nos experimentos.



4.3 - EXPERIMENTO

Para a avaliação do teor de umidade em diferentes níveis de secagem foram separadas 3 amostras de 200 gramas cada. Antes do processo de secagem, uma

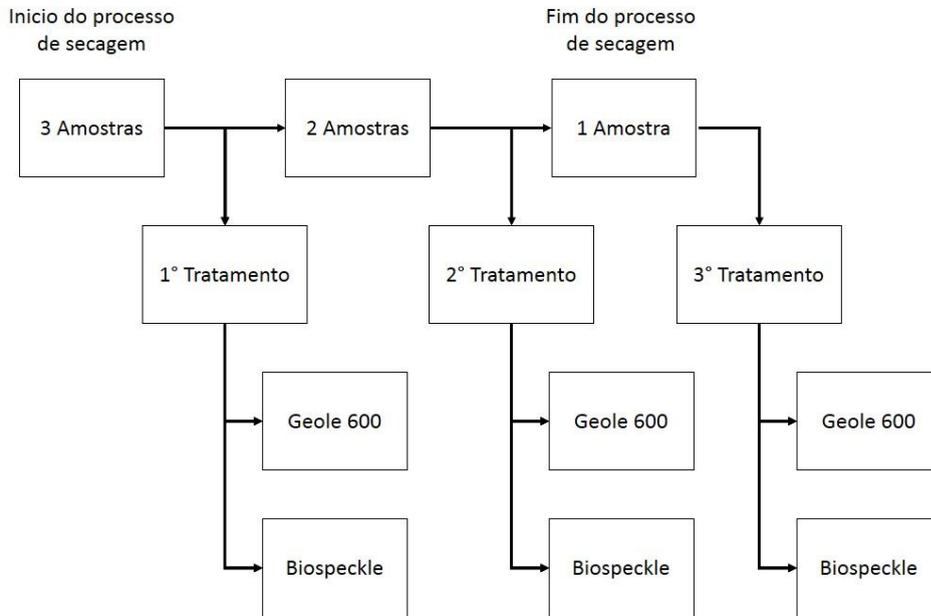
amostra foi submetida ao medidor de umidade e em seguida foi realizado o biospeckle em 5 grãos.

Figura 2 – Amostras utilizados nos experimentos



As amostras restantes passaram pelo processo de secagem. A umidade final do café para comercialização é em torno de 11,5%, diante disso foi retirado uma amostra na metade do processo de secagem, essa amostra passou pelo medidor de umidade e dessa amostra, 5 grãos passaram pelo biospeckle.

Figura 3 – Fluxograma do experimento



Para a realização do ensaio com *biospeckle* cada grão de café foi fixado em um recipiente de plástico retangular. A figura 4 ilustra a disposição dos grãos.

5 grãos de cada tratamento foram iluminados pelo laser, durante a iluminação foram feitos filmes de 10 segundos para cada grão.

Figura 4 – Configuração experimental adotada nos ensaios.

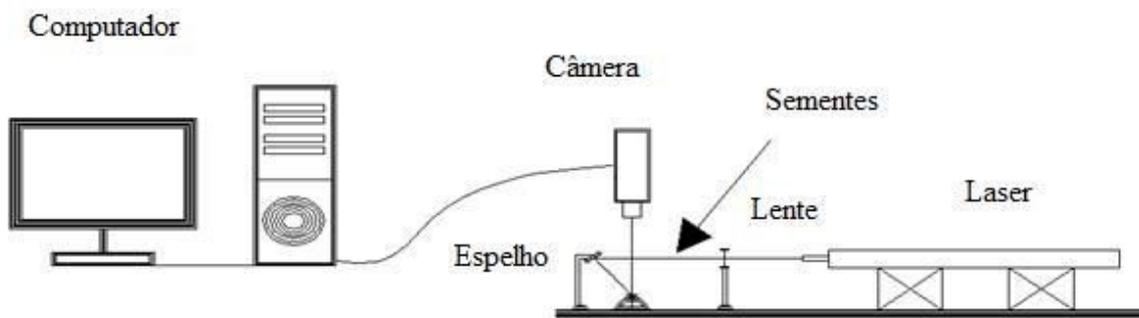


Figura 5 – Configuração experimental adotada na captura de imagens para o teste do biospeckle



Foi feito um vídeo de 10 segundos por grão, no total foram 3 tratamentos com 5 repetições (grãos) cada uma. Esse vídeo foi fragmentado em 228 frames. Para os procedimentos do *biospeckle* laser são necessários 128 frames, então foram descartados os 50 primeiros e os últimos 50 frames, só utilizando os frames intermediários do vídeo. Os requisitos para o tratamento dos frames nos procedimentos do biospeckle são: imagens em no máximo 640 x 480 e em 8 bits.

Todos os frames de todas as amostras foram tratados para se adequar aos requisitos do procedimento, para isso foi utilizado o software ImageJ.

Para o tratamento de *biospeckle* foi utilizado o Octave, dentro do octave foram utilizados diversos métodos gráficos desenvolvidos por Braga et al. (2005) Average Difference, Fujii Method, Generalized Difference Method, LASCA (Temporal Speckle Contrast), Standard Deviation, Mean's Method e Inertia Moment Method.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como dito anteriormente foi feito 7 métodos gráficos para 5 repetições (grãos) de cada tratamento, totalizando 15 imagens de cada método. Além do Biospeckle as amostras passaram por um medidor de umidade, o Geole 600. Tomando como umidade o resultado mostrado no equipamento.

Tabela 1 – Umidade medidas no Geole 600 para cada amostra.

Amostra	Umidade (%)
1	18,1
2	13,7
3	11,7

Figura 6 – Método gráfico AVD da primeira repetição do tratamento 1.

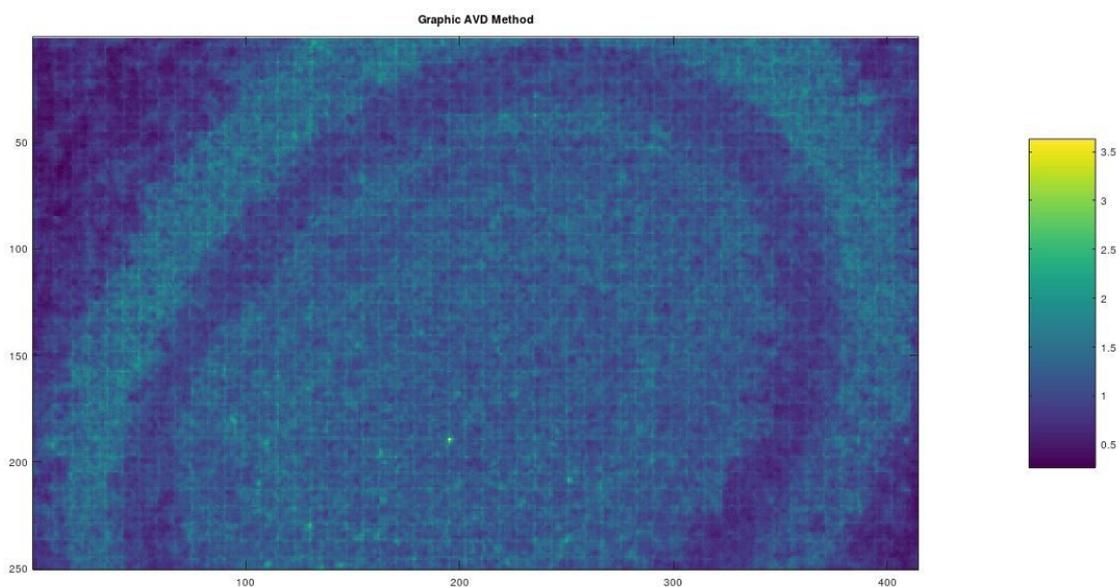


Figura 7 – Método gráfico Fujii da primeira repetição do tratamento 1.

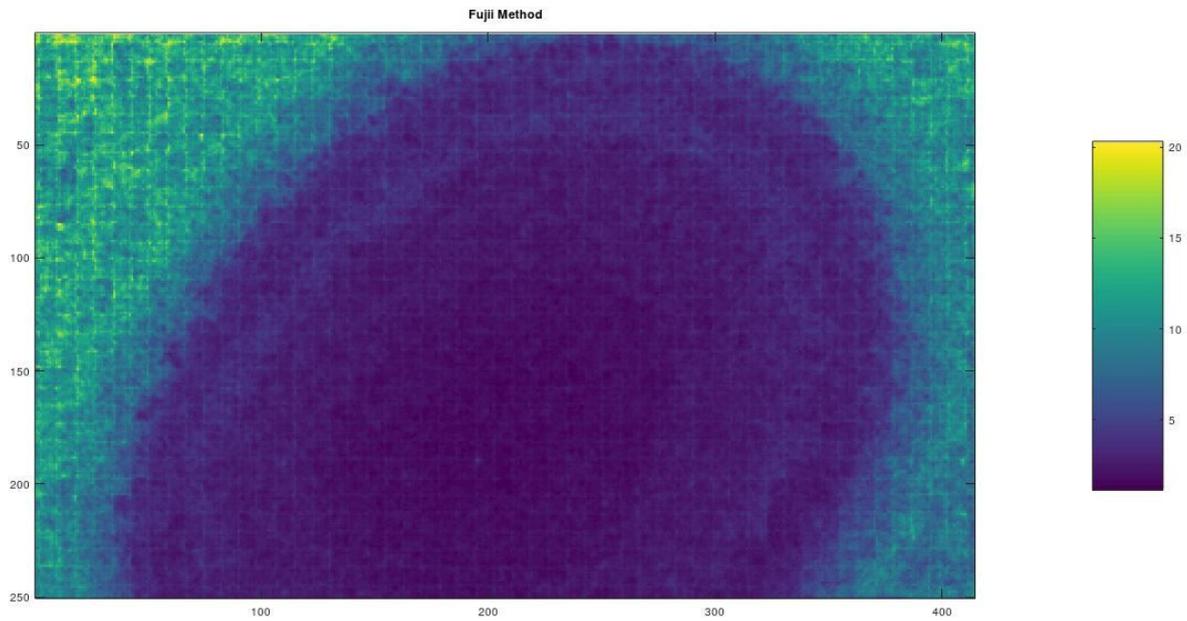


Figura 8 – Método gráfico das diferenças generalizadas da primeira repetição do tratamento 1.

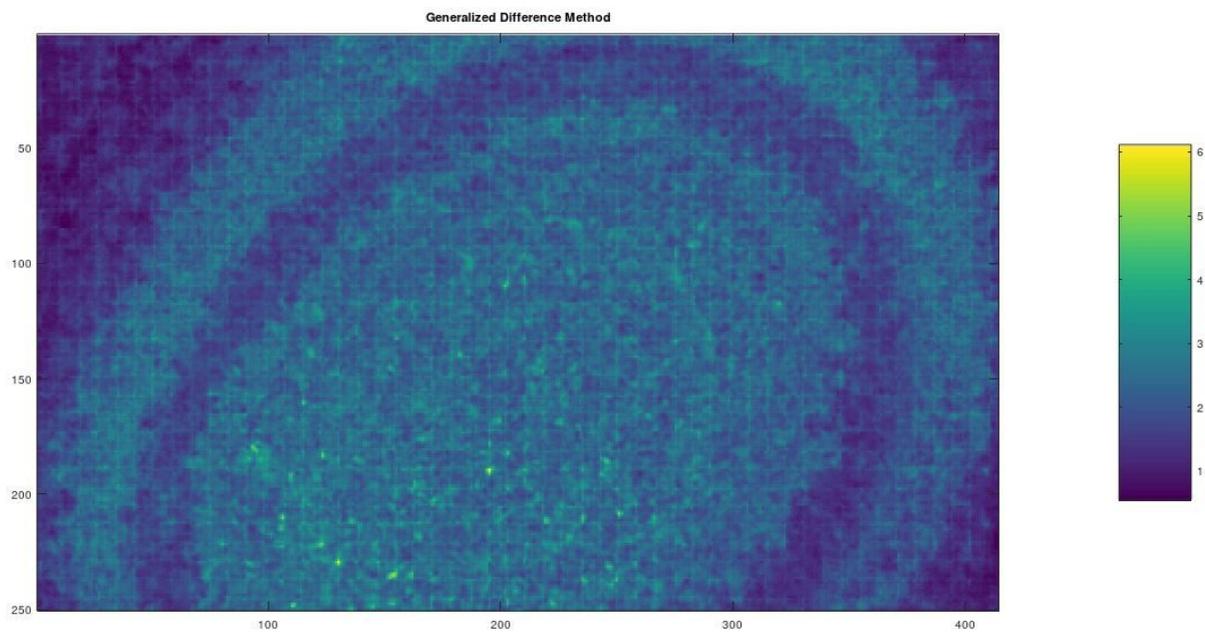


Figura 9 – Método gráfico do momento de inércia

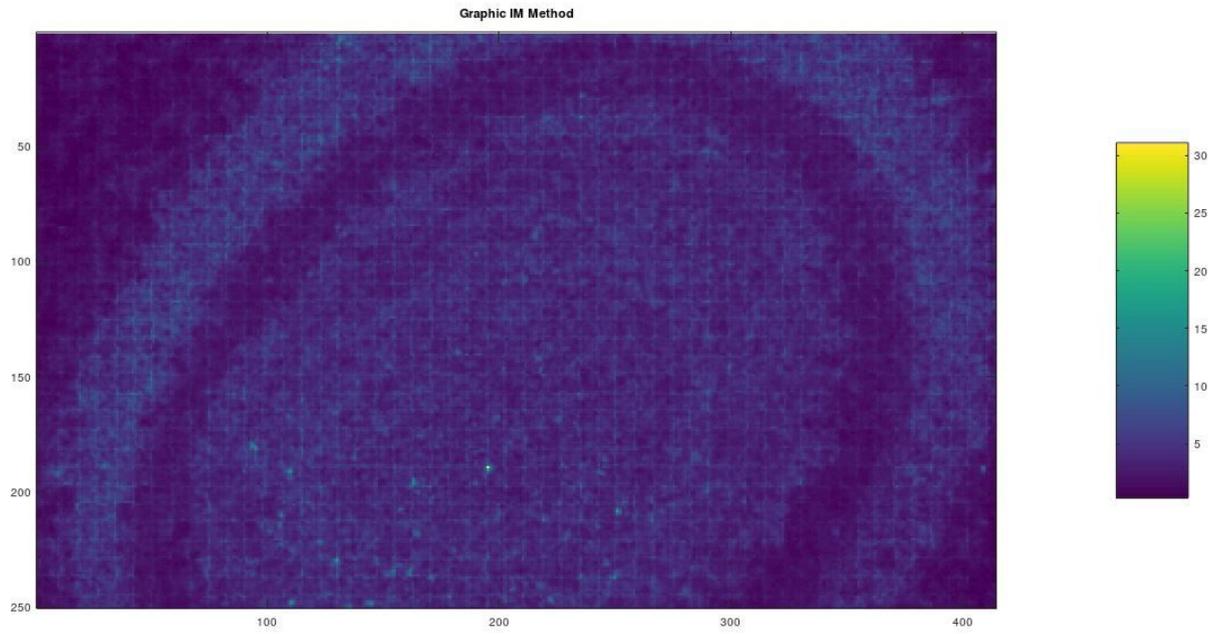


Figura 10 – Método gráfico LASCA da primeira repetição do tratamento 1.

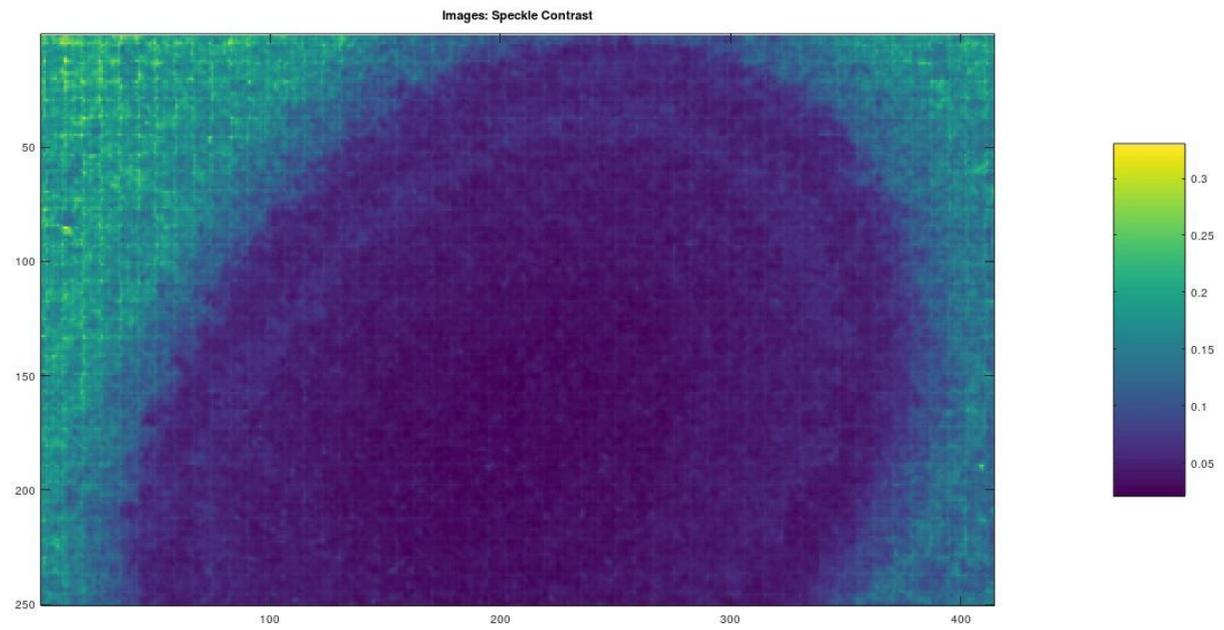


Figura 11 – Método gráfico Speckle Mean da primeira repetição do tratamento 1.

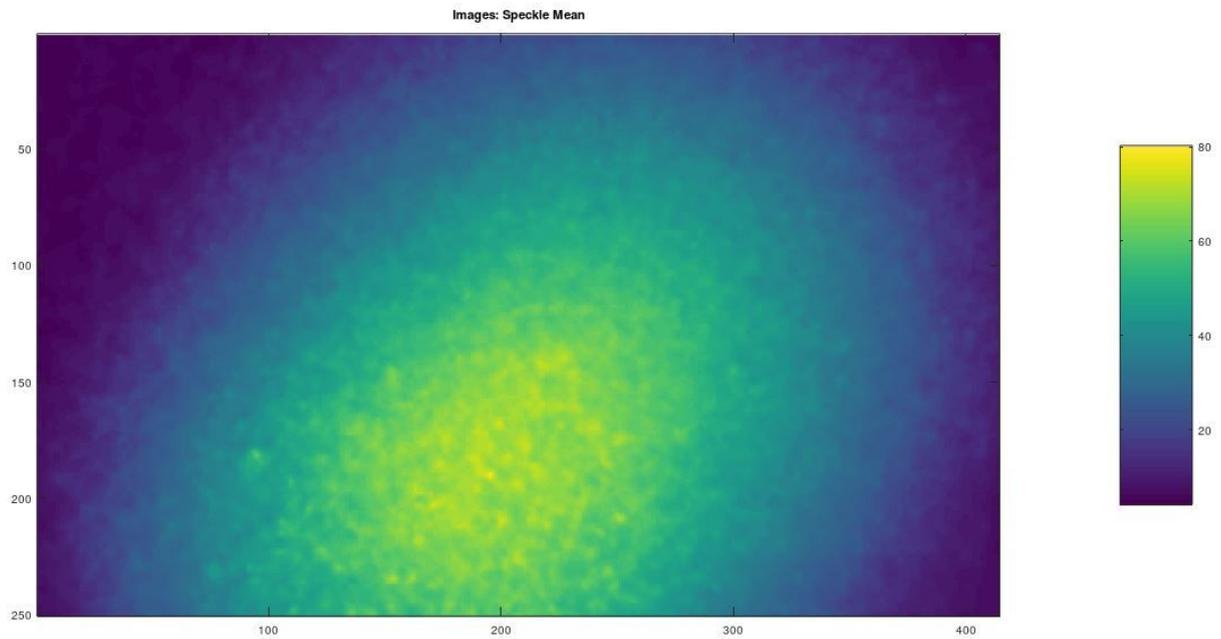
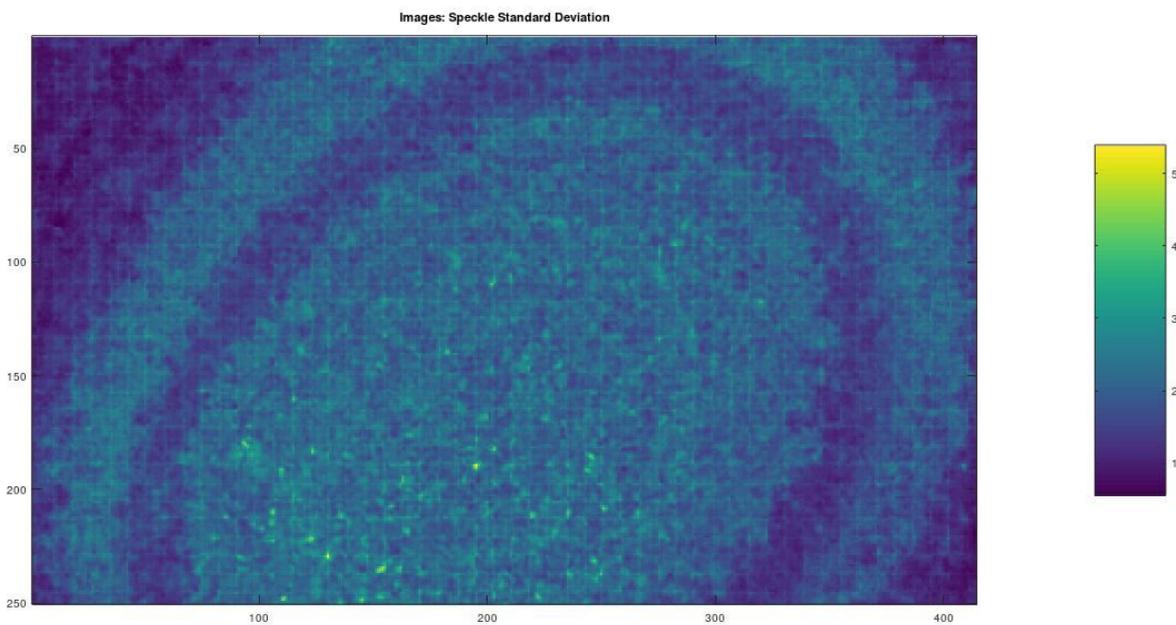


Figura 12 – Método gráfico Speckle Standard Deviation da primeira repetição do tratamento 1.



As imagens anteriores são todos os resultados obtidos utilizando os métodos citados anteriormente com base no mesmo banco de imagem, todos da primeira repetição do primeiro tratamento. Ao avaliar todas as repetições de um tratamento

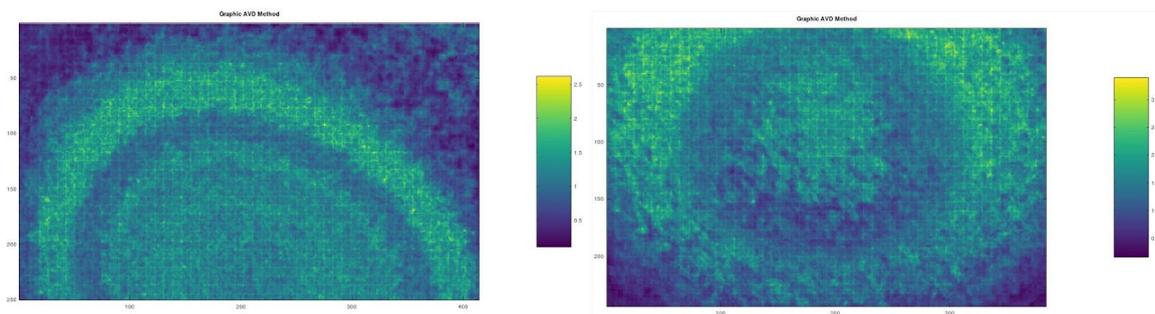
podemos observar que não houve uma grande variação entre todas as repetições do mesmo tratamento.

Através da comparação entre as imagens geradas de cada tratamento, nota-se uma diferença entre as imagens geradas, isso se dá graças a diferença de umidade entre os tratamentos. Dentre todos os métodos utilizados o valor absoluto das diferenças generalizadas (AVD) e o Momento de Inércia foram o que obtiveram um maior contraste quando comparada com os outros métodos.

5.1 - MÉTODO AVD

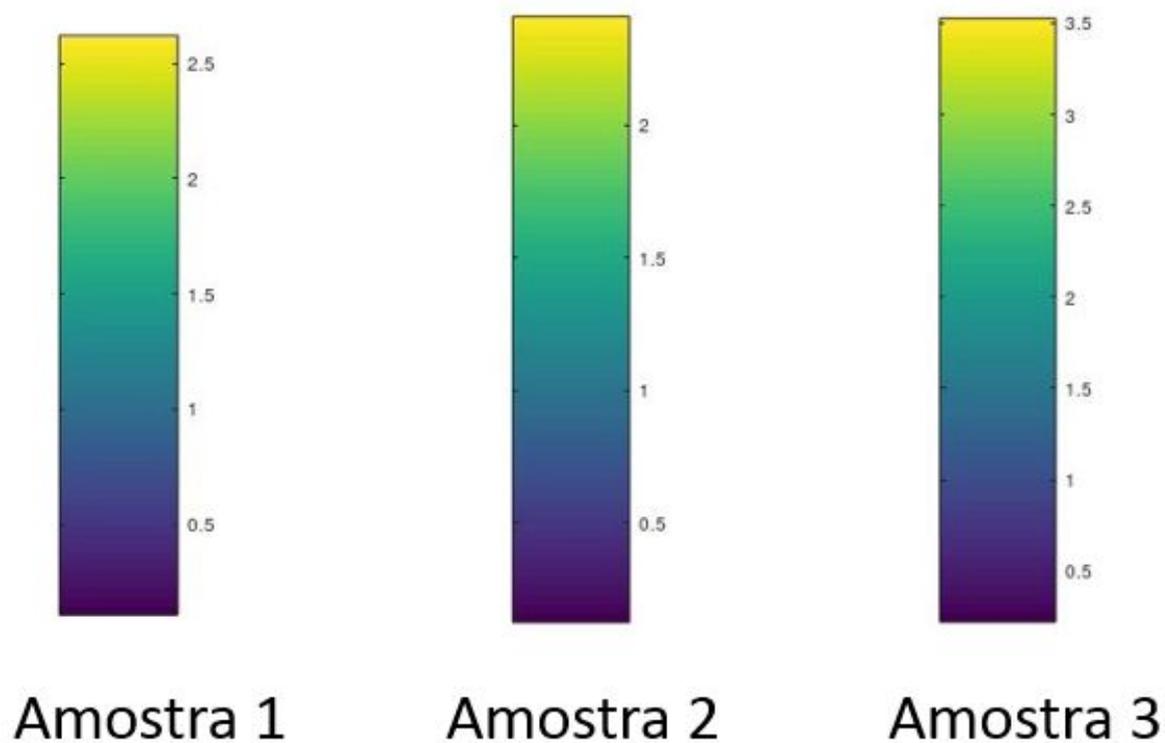
O método do valor absoluto da diferença generalizadas (AVD) diferencia as regiões do material que apresentaram níveis diferentes de atividade relacionada a variações da imagem do *speckle* observado. O método analisa a variação de cada pixel dos frames utilizados, e monta uma imagem gráfica com o valor absoluto da variação dessa intensidade.

Figura 13 – Comparativo entre o método AVD da primeira repetição do tratamento 1 com a primeira repetição do tratamento 3.



Ao analisar as imagens notamos que são bem similares, porém a escala da primeira amostra mostra um valor máximo do AVD de 2,6 enquanto a da terceira amostra vai até um máximo de 3,6. De acordo com os valores obtidos pelo Geole 600 essas amostras apresentam uma diferença de 6,4%, essa diferença fica evidente através das análises das imagens.

Figura 14 – Comparativo entre as barra de cores primeira repetição da amostra 1 com a primeira repetição amostra 3.



Para facilitar a quantificação das diferenças das escalas foi feito o método numérico do AVD, que gera como resultado 5 valores, chamados de AV1, AV2, AV3 e AV4.

Tabela 2 – Valores dos AV1, AV2, AV3 e AV4 para todas as repetições de todos os tratamentos.

Valores do AVD para cada repetição de cada tratamento				
		Tratamento 1 - 18,1%	Tratamento 2 - 13,7%	Tratamento 3 - 11,7%
Repetição 1	AVD 1	1,1112	0,44375	1,2428
	AVD 2	3,3063	0,69384	3,1848
	AVD 3	2,0714	0,49692	1,6401
	AVD 4	89,6970	26,06300	76,761
Repetição 2	AVD 1	1,1604	0,89573	0,858
	AVD 2	3,4315	2,47050	1,7725
	AVD 3	2,0849	1,66820	1,0363
	AVD 4	91,3360	48,07500	79,907
Repetição 3	AVD 1	1,1718	0,65252	0,89231
	AVD 2	3,5344	1,3212	1,8319
	AVD 3	2,1612	0,8954	1,0356
	AVD 4	97,9150	40,3650	61,9770
Repetição 4	AVD 1	1,1035	0,4742	12,1500
	AVD 2	3,1701	0,6916	3,0928
	AVD	1,9525	0,4668	1,6166

	3			
	AVD 4	86,9580	11,2810	61,7040
Repetição 5	AVD 1	1,1450	0,5363	0,9544
	AVD 2	3,4145	0,9578	1,9683
	AVD 3	2,1036	0,6702	1,0575
	AVD 4	95,4680	25,3910	78,1480

Com os valores numéricos gerados pelo método do AVD foi feito o gráfico 1.

Tabela 3 – Valores da média e desvio padrão do AV1, AV2, AV3 e AV4 para todas as repetições de todos os tratamentos.

Tratamento 1	Média AV1	1,138	Desvio Padrão AV1	0,030
	Média AV2	3,371	Desvio Padrão AV2	0,139
	Média AV3	2,075	Desvio Padrão AV3	0,076
	Média AV4	92,275	Desvio Padrão AV4	4,410
Tratamento 2	Média AV1	0,600	Desvio Padrão AV1	0,183
	Média AV2	1,227	Desvio Padrão AV2	0,741
	Média AV3	0,839	Desvio Padrão AV3	0,494
	Média AV4	30,235	Desvio Padrão AV4	14,327
Tratamento 3	Média AV1	1,032	Desvio Padrão AV1	0,183
	Média AV2	2,370	Desvio Padrão AV2	0,706
	Média AV3	1,277	Desvio Padrão AV3	0,321
	Média AV4	71,699	Desvio Padrão AV4	9,069

Gráfico 1 – Média e desvio padrão do AV1 de todas as repetições de cada tratamento.

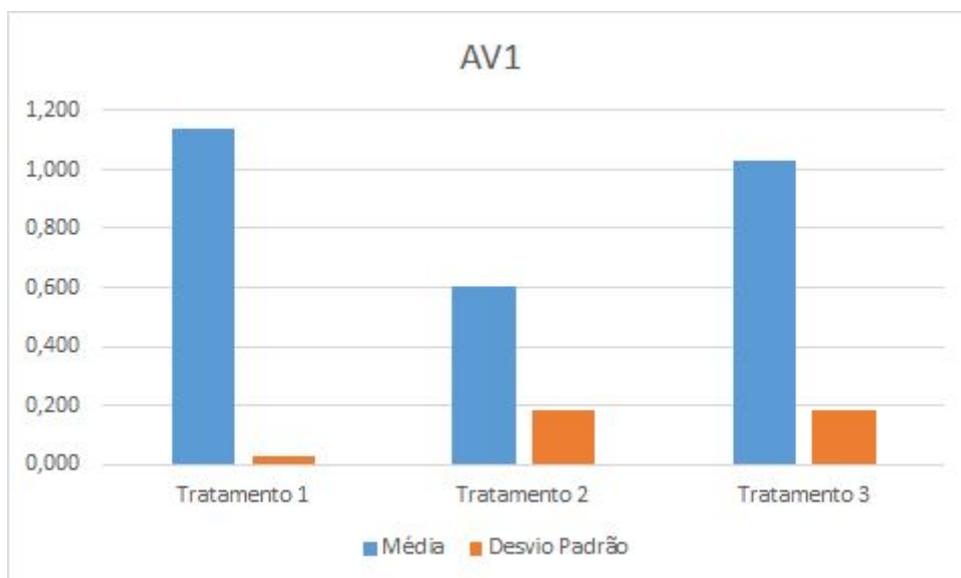


Gráfico 2 – Média e desvio padrão do AV2 de todas as repetições de cada tratamento.

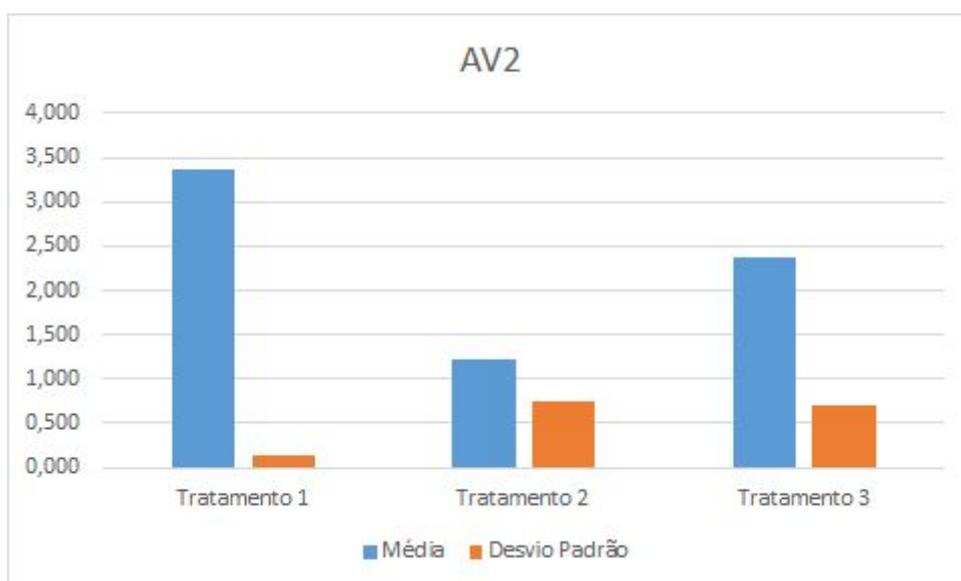


Gráfico 3 – Média e desvio padrão do AV3 de todas as repetições de cada tratamento.

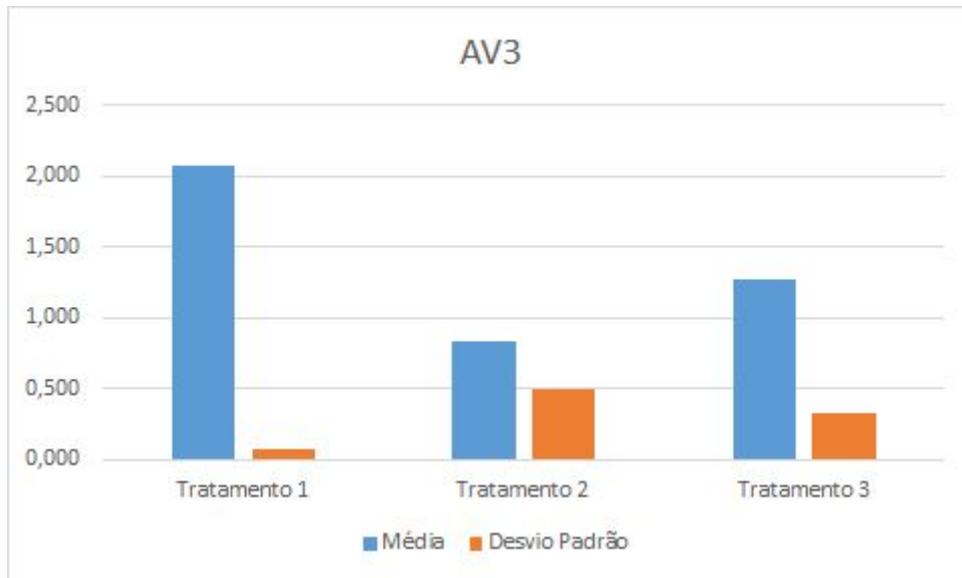


Gráfico 4 – Média e desvio padrão do AV4 de todas as repetições de cada tratamento.

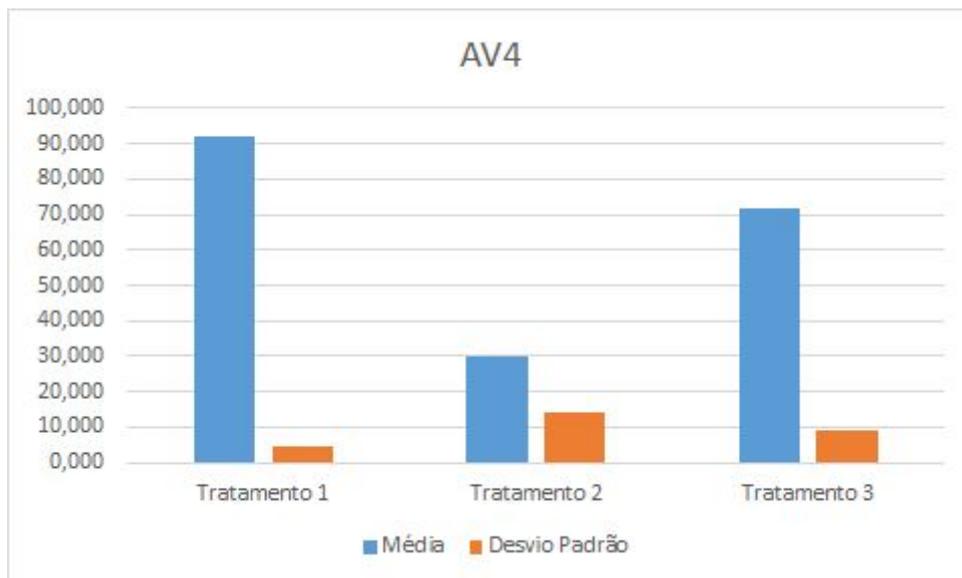
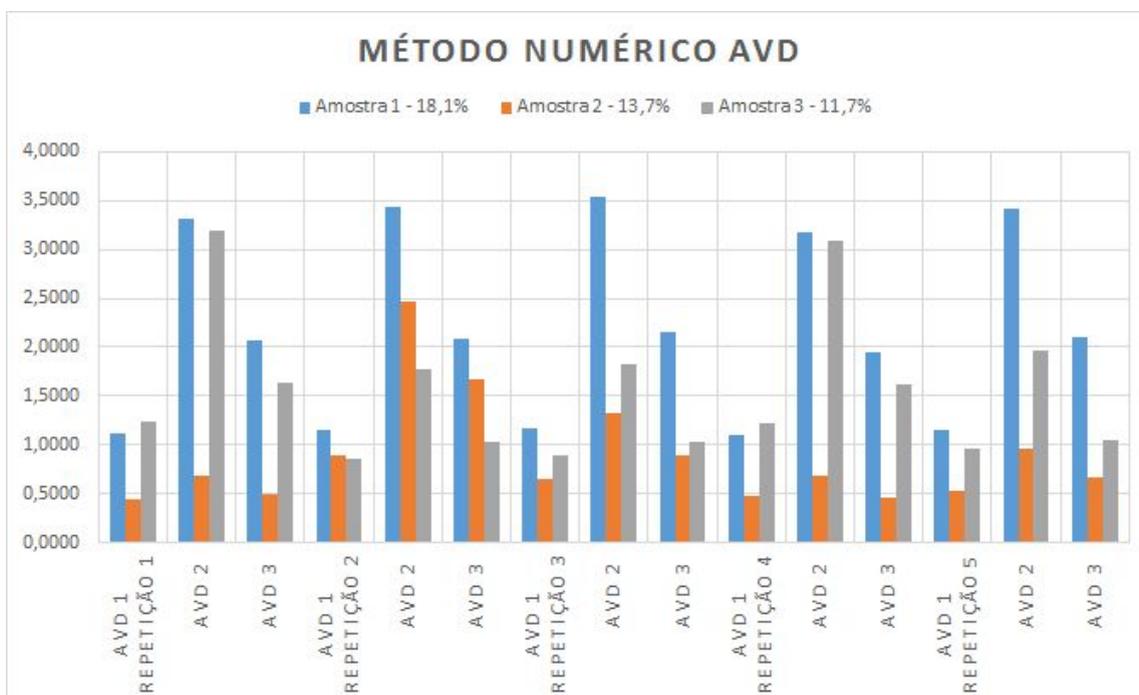


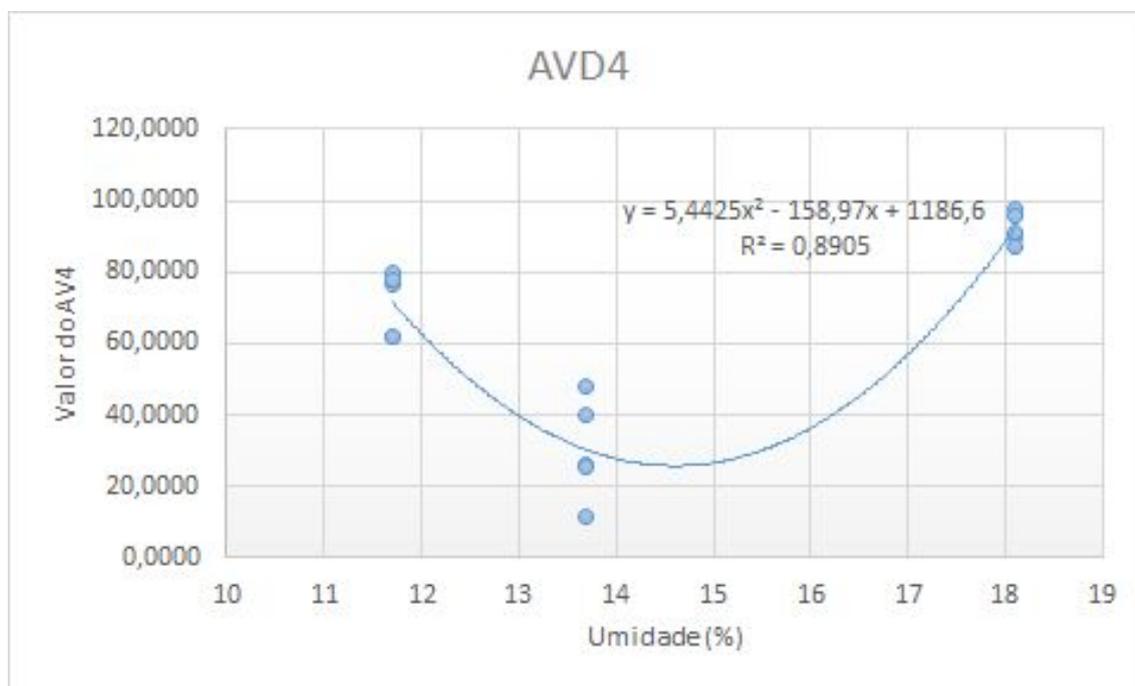
Gráfico 5 – Valores do AVD para todas as 5 repetições de cada amostra.



O gráfico foi feito descartando o valor do AV4, pois ele difere muito quando comparado aos outros valores. O eixo X representa cada AVD, de 1 a 3 são as AVD 1, 2 e 3 da primeira repetição, de 4 a 6 são as AVD 1, 2 e 3 da segunda repetição e assim por diante. Analisando o gráfico gerado conseguimos observar um certo padrão nos valores dos AVD's, conseguindo assim diferenciar os valores de umidade com os valores de cada AVD. Para se obter valores mais precisos seria necessário realizar mais experimentos com amostras em umidades mais dispersas e com mais repetições a fim de diminuir os possíveis erros durante o experimento.

Para todos os AVDs foi feita uma análise para enquadrar os valores em uma equação, os valores do AV1, AV2 e AV3 não obtiveram valores satisfatório, os coeficientes de correlação foram muito baixos então fica inviável aproximar esse pontos a uma equação. Já o AV4 teve uma resposta melhor que os outros valores obtendo um coeficiente de correlação de 0.89.

Gráfico 6 – Equação aproximada para os valores do AV4 com a umidade do grão

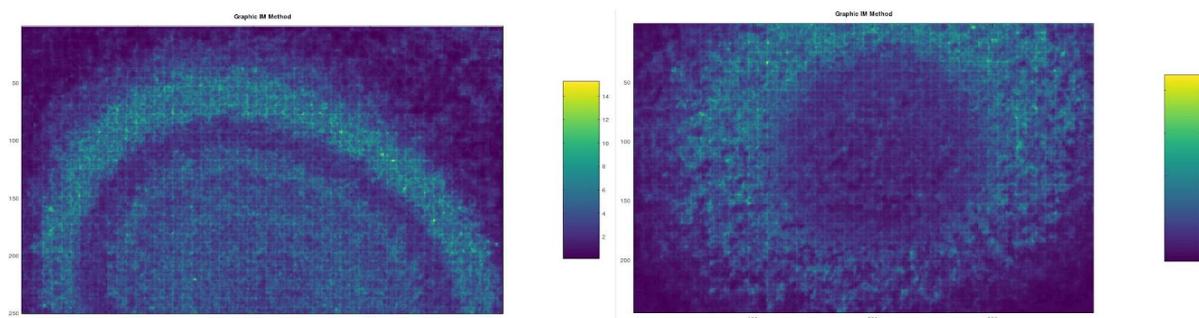


Com isso podemos obter um valor aproximado de umidade através de um valor do AVD4, apesar de obtermos dois valores para um valor do AVD podemos analisar o aspecto do grão, grãos com umidade acima de 18% possuem uma coloração mais amarelada enquanto os mais próximos de 11% são mais verdes.

5.2 - MOMENTO DE INÉRCIA

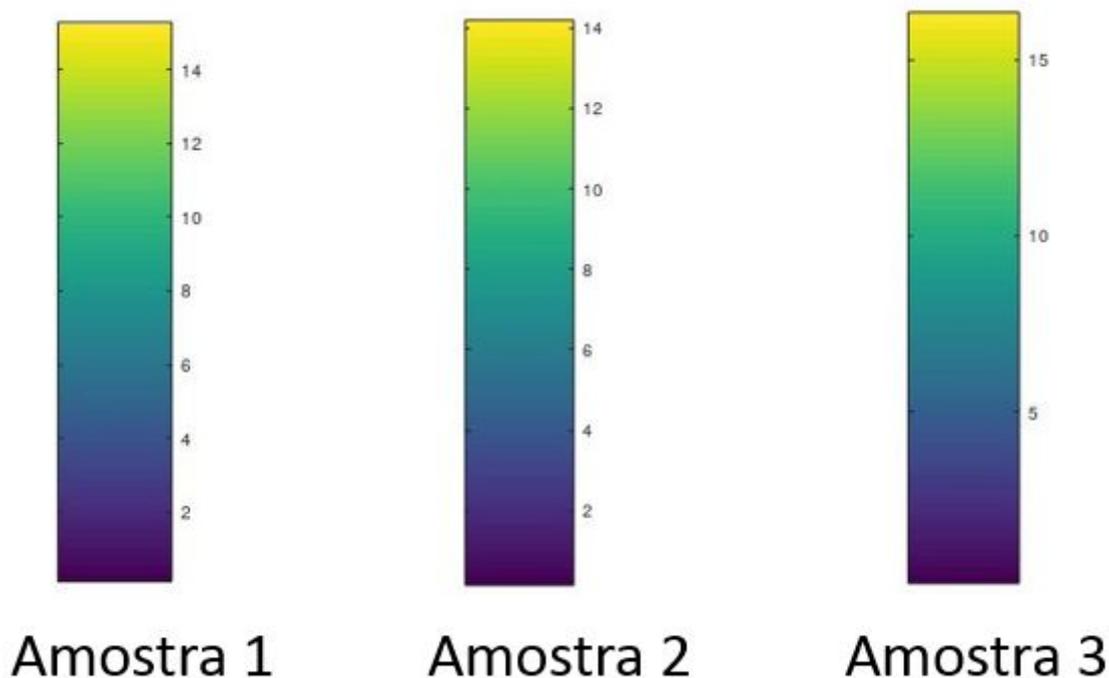
Assim como o AVD, as imagens gráficas do momento de inércia apresentaram os mesmos padrões.

Figura 15 – Comparativo do momento de inércia entre a primeira repetição do tratamento 1 e a primeira repetição do tratamento 3.



Assim como o AVD, as imagens gráficas do momento de inércia apresentaram os mesmo padrões. As imagens são parecidas mas as escalas são diferentes.

Figura 16 – Comparativo entre as barras de cores do momento de inércia entre a primeira repetição do tratamento 1 e a primeira repetição do tratamento 3.



Como feito no outro método o mesmo ocorreu com o momento de inércia.

Tabela 4– Valores dos IM1 e IM2 para todas as repetições de todas amostras.

Tabela com os valores de AVD				
		Tratamento 1 - 18,1%	Tratamento 2 - 13,7%	Tratamento 3 - 11,7%
Repetição 1	IM1	3,306	0,694	3,185
	IM2	335,200	153,620	515,750
Repetição 2	IM1	3,432	2,471	1,773
	IM2	303,880	223,050	641,220
Repetição 3	IM1	3,534	1,321	1,832
	IM2	343,030	285,240	359,710

Repetição 4	IM1	3,170	0,692	3,093
	IM2	264,860	375,630	259,430
Repetição 5	IM1	3,415	0,958	1,968
	IM2	319,400	147,030	562,270

Tabela 5—Média e desvio padrão dos valores dos IM2 e IM2 para todas as repetições de todos os tratamentos.

		Tratamento 1 - 18,1%	Tratamento 2 - 13,7%	Tratamento 3 - 11,7%
IM1	Média	3,37136	1,226992	2,37006
	Desvio Padrão	0,138562542	0,741369546	0,706091285
IM2	Média	313,274	236,914	467,676
	Desvio Padrão	30,96715809	95,89938128	155,2415118

Gráfico 7 – Média e desvio padrão do IM1 de todas as repetições de cada tratamento.

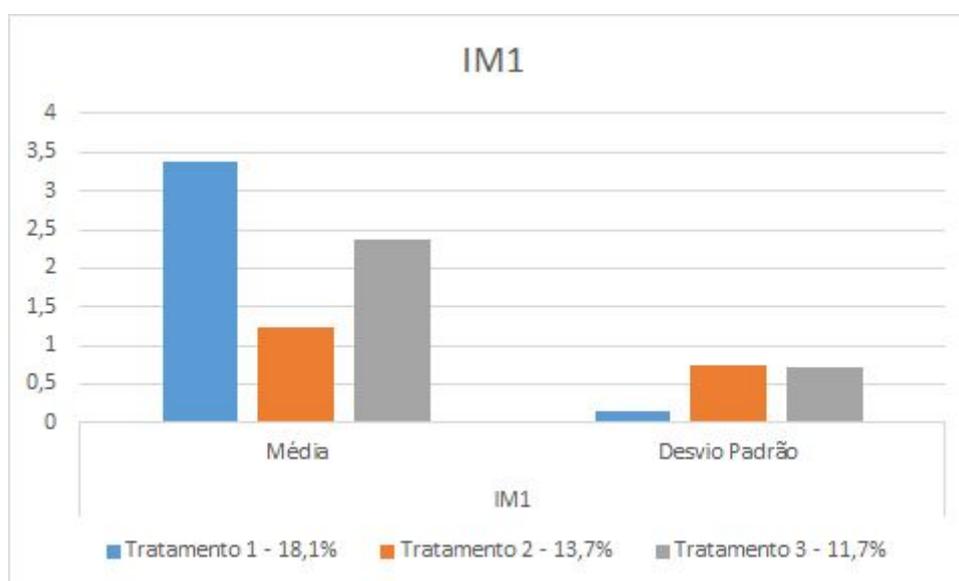
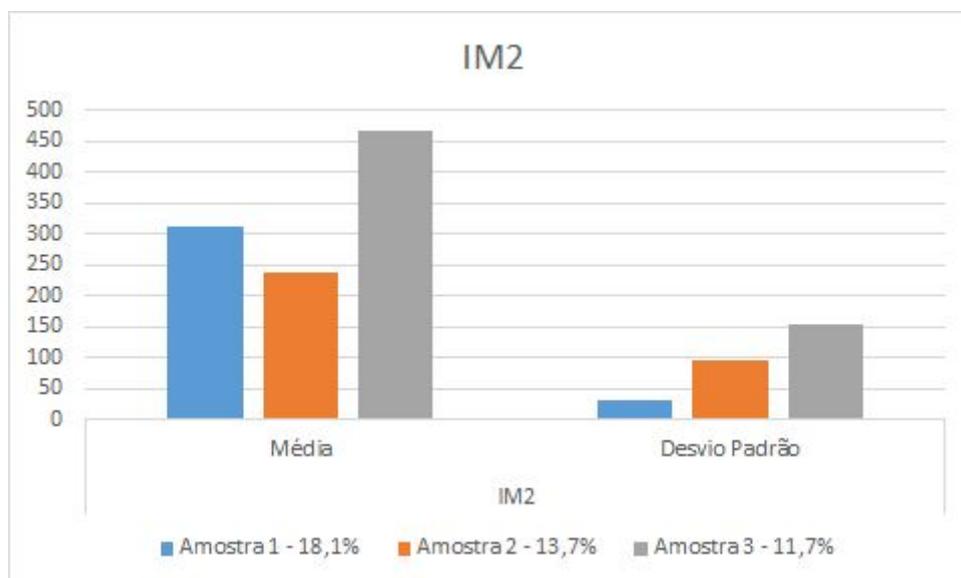


Gráfico 8 – Média e desvio padrão do IM2 de todas as repetições de cada tratamento.



Com os valores da tabela foi feito um gráfico para facilitar a visualização dos valores do momento de inércia.

Gráfico 9 – Valores do IM1 para todas as 5 repetições de cada amostra.

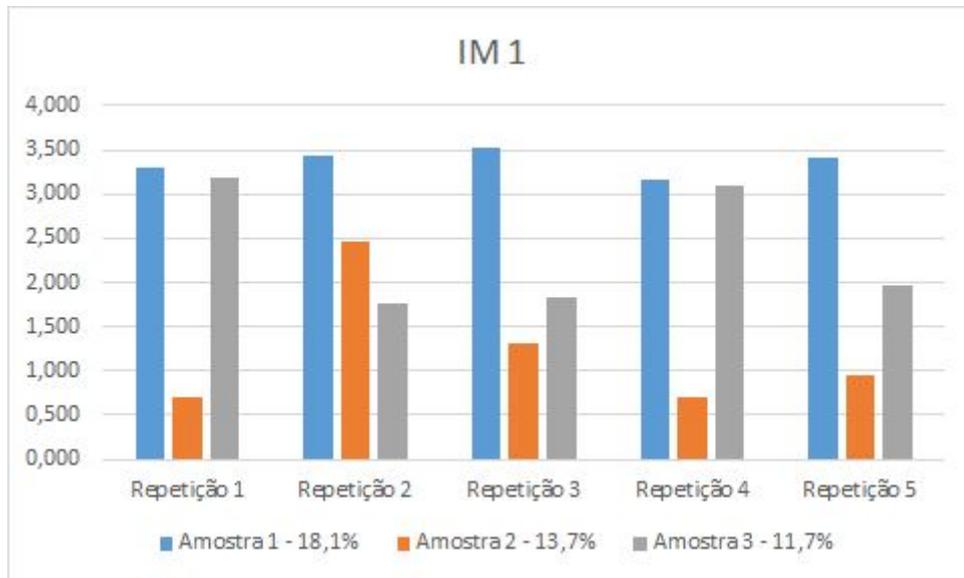
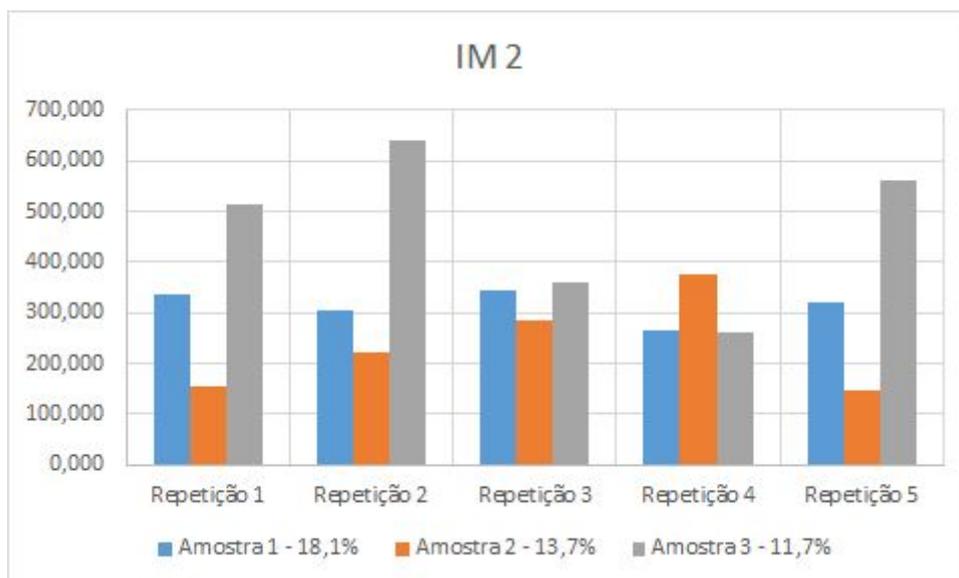


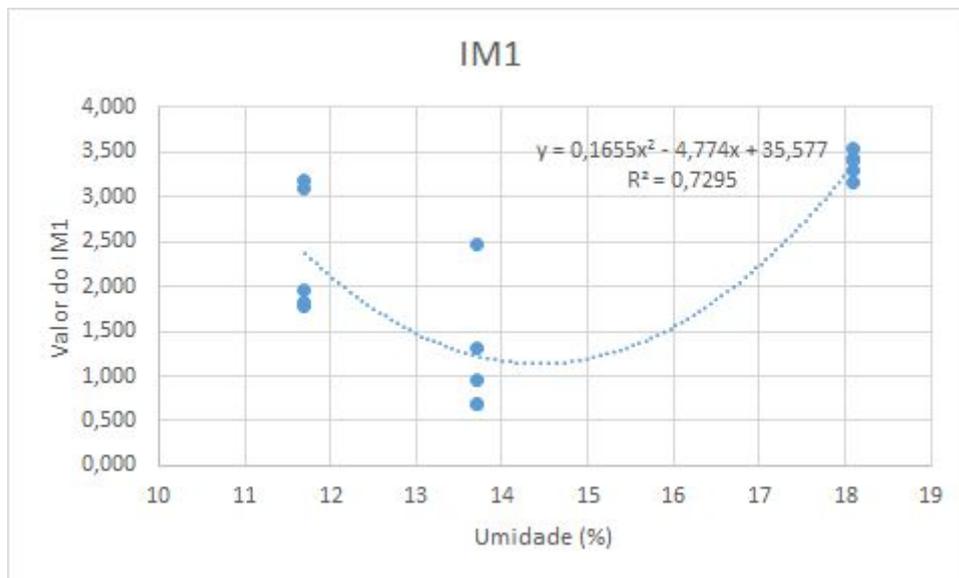
Gráfico 10 – Valores do IM2 para todas as 5 repetições de cada tratamento.



Ao observar a tabela das médias e os gráficos notamos que os valores do IM1 e IM2 mantiveram um padrão para cada umidade, apesar de terem algumas amostras que tiveram valores fora do esperado conseguimos estabelecer um intervalo aproximado de valores do momento de inércia para cada umidade. Ao plotar num gráfico os valores do momento de inércia e adequar uma equação o IM1

obteve um coeficiente de correlação maior do que o IM2, 0,73 para o IM1 e 0,50 para IM2, mas menor do que foi obtido com o AVD4.

Gráfico 11 – Equação aproximada para os valores do IM1 com a umidade do grão



Com isso fica mais adequado aproximar o valor de umidade através do AVD, pois obtiveram valores mais próximos e sem muitos valores fora do padrão.

6 - CONCLUSÃO

Com os gráficos mostrados anteriormente fica evidente que é possível quantificar o valor de umidade do café através do *biospeckle*. De todos os métodos utilizados o AVD e o Momento de Inércia foram o que tiveram um maior contraste entre as amostras. Dentre estes dois o método do AVD se destacou, sendo mais apto para ser correlacionado com a umidade.

Quando se faz algum experimento envolvendo o *biospeckle* é necessário se atentar aos erros que possam ocorrer durante o experimento. Para evitar que isto ocorra é aconselhável realizar várias amostras, com isso é possível determinar um intervalo do momento de inércia com a umidade do café. As amostras 2 e 3 possuem uma umidade muito próxima, menos 2% de diferença, e mesmo assim conseguimos determinar um intervalo de valores que determinam essa umidade. Para refinar esse intervalo seria aconselhável realizar mais amostras com umidades diferentes, com mais repetições.

7 - REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. M de M.; ALMEIDA, L. de A. Teor de umidade do café arábica produzido e comercializado em Lúna-ES. 2009. In: 35º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4384/doc_95_35-CBPC-2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 dez 2018.

AMARAL, I. C.; BRAGA Jr, R. A.; RAMOS, E. M.; RAMOS, A. L. S.; ROXAEL, E. A. R. Application of biospeckle laser technique for determining biological phenomena related to beef aging. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 1, p. 135-139, 2013.

ASAKURA, T.; TAKAI, N. Dynamic laser speckles and their application to velocity measurements of the diffuse object. **Applied physics**, v. 25, n. 3, p. 179-194, 1981.

BAE, J. H.; PARK, J. H.; IM, S. S.; SONG, D. K. Coffee and health. **Integrative medicine research**, v. 3, n. 4, p. 189-191, 2014.

BLISKA, FM de M. **Do grão a xícara: como a escolha do consumidor afeta cafeicultores e meio ambiente**. IAC, 2007.

BRAGA, R. A. et al. Speckle tool v 1.2. Available at:<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1760> , visited on 03/12/2014.

BRAGA, R. A.; HORGAN, G. W.; MIRON, D.; RABELO, G. F.; BARRETO FILHO, J. B. Biological feature isolation by wavelets in biospeckle laser images. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v. 58, n. 2, p. 123-132, Sept. 2007.

BRIERS, J D. Speckle fluctuations and biomedical optics: implications and applications. **Optical Engineering**, v. 32, n. 2, p. 277-284, 1993.

CAMARGO, A. P de; CAMARGO, M. B. P de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CARVALHO, A. Taxonomia de *Coffea arabica* L. VI: caracteres morfológicos dos haplóides. **Bragantia**, v. 12, n. 4-6, p. 201-212, 1952.

CHIANG, F. P.; KIN, C. C. Strain determination on curved surfaces using far-field objective laser speckles. **Optical Engineering**, v. 21, n. 3, p. 213441, 1982.

CHIANG, F. P. Electron speckle photography: some recent advances. In SPECKLE06: SPECKLES, FROM GRAINS TO FLOWERS, v. 6341, p. 63411, 2006. International Society for Optics and Photonics.

CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffee Chemistry**. v. 1. 1989.

DUARTE, K. S. **Análise funcional do gene órfão CcUNK8 de Coffea canéfora na transformação genética de setoria viridis**. 2014. 86 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal)- Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ENES, A. M. **Análise de frequência do biospeckle laser aplicada ao mapeamento de fenômenos em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)** 2011. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FAO. Faostat - Statistic Database. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat>>. Acesso em 20 de set. 2018

FRACAROLLI, J. A. **Utilização do Biospeckle laser na avaliação do potencial germinativo de sementes de Ipê- Roxo (*Tabebuia heptaphylla* (Vellozo) Toledo)**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HWANG, Yi-Yuh et al. **Method and system for positioning by using optical speckle**. U.S. Patent n. 8,144,339, 27 mar. 2012.

KRUG, C. A.; MENDES, JE Teixeira; CARVALHO, Alcides. Taxonomia de Coffea arabica L.: II-Coffea arabica L. Var. Caturra e sua forma Xanthocarpa. **Bragantia**, v. 9, n. 9-12, p. 157-163, 1949.

MAPA- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Página Inicial ... Assuntos.. Política Agrícola... Café ... Café no Brasil. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em 11 dez 2018.

MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S. M.; SILVA, W. R da. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: Fealq, 1987.

MATIELLO, J. B.;SANTINATO, R.;GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA,S.R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento, Brasília, DF (Brasil), 2005.

MOREIRA, M. E de C. **Avaliação do potencial farmacológico do café (*Coffea arabica* L.) verde e torrado**. 2013. 113 p. Tese (doutorado em Ciências dos Alimentos)- Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras/MG. 2013.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. Madhava. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. **Resources, Conservation and recycling**, v. 66, p. 45-58, 2012.

NASCIMENTO, A. D.; COSTA Jr., A.T.; RABELO, G. F.; BRAGA Jr, R. A. Desenvolvimento de um modelo para o biospeckle na análise de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciênc Agrotec**, v. 31, n. 2, p. 456-61, 2007.

PIEDERRIERE, Y.; BOULVERT, F.; LE BRUN, G.; LE JEUNE, B.; GUERN, Y.; CARIOU, J. Speckle and polarization for biomedical applications. In: SPECKLE06: SPECKLES, FROM GRAINS TO FLOWERS, v. 6341, p. 634106, September, 2006.

RABAL, H. J.; TRIVI, M. R.; ARIZAGA, R. Transient Phenomena Analysis Using Dynamic Speckle Patterns. **Optical Engineering**, [s.l], v. 35, p. 10 - 12, 1996.

RABAL, H. J.; ARIZAGA, R. A.; CAP, N. L.; TRIVI, M.; ROMERO, G.; ALANIS, E. Transient phenomena analysis using dynamic speckle patterns. **Optical Engineering**, v. 35, n.1, p. 57 -62, 1996.

RODRIGUES, S. et al. Efeito da Umidade na Determinação da Atividade Biológica de Sementes de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), Utilizando Imagens de Speckle Dinâmico. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 30, p. 135-139, 2005.

ROSS, D. A.; DHADWAL, S.; FOULKES, J.A. Laser measurement of the motility of bull spermatozoa in an egg-yolk diluent. **Journal Reprod. Fertil**, v. 67, p. 263- 268, 1983.

SENG, E. Y. Y.; PAUL, J. S. Statistical measures based on Laser Speckle Contrast Analysis (LASCA) for quantification of vascular flow and perfusion changes during cortical stimulation. **Biomed Eng**, v. 417, 2004.

SILVA, E. R. da . **Estudo das propriedades do Biospeckle e suas aplicações**. São Paulo, 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Departamento de Física Geral, Universidade de São Paulo.

VIDAL, M. C.; SILVA, F. T. C da. Biospeckle laser na determinação de atividade biológica em sementes de milho e soja. In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA UNEMAT. 2008. p. 513-517.

YARA. Home... Nutrição de plantas...Café...Produção mundial de café. Disponível em:
<<https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/cafes/producao-mundial-de-caffe>>. Acesso em: 20 set. 2018

ZDUNEK, A.; ADAMIAK, A.; PIECZYWEK, P. M.; KURENDA, A. The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: A review. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 52, p. 276-285, 2013.