



Universidade de Aveiro
2021

Departamento de química

**ANTÓNIO FRANCISCO
LOURENÇO SOUTO**

**CARACTERIZAÇÃO DE VARIEDADES DE ARROZ
COM VISTA AO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS
PRODUTOS ALIMENTARES**

Ano Letivo 2020/2021

outubro 2021



Universidade de Aveiro
2021

Departamento de química

**ANTÓNIO FRANCISCO
LOURENÇO SOUTO**

**CARACTERIZAÇÃO DE VARIEDADES DE
ARROZ COM VISTA AO DESENVOLVIMENTO
DE NOVOS PRODUTOS ALIMENTARES**

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Bioquímica – Ramo Bioquímica Alimentar, realizado sob a orientação científica do Doutor Manuel António Coimbra Rodrigues da Silva, Professor Associado com Agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e supervisão em ambiente empresarial do Dr. Diogo Lemos, Diretor de Qualidade da empresa Novarroz – Produtos Alimentares S.A..

o júri

Presidente

Professor Doutor Brian James Goodfellow
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Fernando Hermínio Ferreira Milheiro
Nunes
Professor Associado com Agregação da Universidade de Trás-os-
Montes e Alto Douro

Professor Doutor Manuel António Coimbra Rodrigues da
Silva
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Diogo Lemos, por toda a confiança em mim depositada, por todos os conhecimentos transmitidos durante o estágio e pela disponibilidade que sempre demonstrou.

Agradeço também à empresa Novarroz que me acolheu durante o estágio, nomeadamente a todos os colaboradores do Departamento de Qualidade por todo o apoio transmitido, em especial à Anita Gomes que sempre me apoiou durante o trabalho.

Ao professor Manuel A. Coimbra agradeço toda a disponibilidade e ajuda demonstrada ao longo deste trabalho.

Quero agradecer também, às investigadoras Silvia Petronilho e Idalina Gonçalves por toda a ajuda, disponibilidade e conhecimentos transmitidos que permitiram a realização do presente trabalho.

Por fim, agradeço aos que sempre estiveram do meu lado durante todo este caminho, a minha família, e sem o apoio da qual nada disto teria sido possível.

A todos um grande obrigado!

palavras-chave

Arroz, amido, amilose, amilopectina, *Oryza sativa indica*, *Oryza sativa japonica*, viscosidade, perfil de textura

resumo

O arroz encontra-se entre os cereais mais produzidos e consumidos mundialmente, sendo constituído essencialmente por amido, nas formas de amilose e amilopectina. Com os processos de descasque e branqueamento do arroz, o teor de lípidos, vitaminas e minerais sofre uma grande quebra. O amido presente no arroz encontra-se na forma de grânulos de forma circular e semi-cristalina. Aquando do cozimento do arroz, a água entra nos grânulos gelatinizando o amido provocando a sua rutura. Durante o arrefecimento as cadeias de amilose e amilopectina voltam a organizar-se influenciando as suas propriedades reológicas.

No presente trabalho foram avaliadas as características físico-químicas e reológicas das variedades de arroz carolino, agulha, médio, redondo, risoto e de rejeitado. Dependendo do teor de amilose presente em determinado tipo de arroz, verifica-se um comportamento reológico diferente. Através de análises de PCA e correlações de Pearson, verificou-se que para o arroz agulha (indica) existem correlações entre o teor de amilose e outros parâmetros, como a resistência à deformação das estruturas, maior elasticidade e viscosidade mais baixa, comparativamente ao arroz das outras variedades estudadas, todos da subespécie japonica. O arroz das amostras da subespécie japonica apresentam um teor mais baixo de amilose, tendo tendência a incorporar mais água, com uma maior extensão da degradação dos grânulos e aumento da viscosidade. Este amido é menos resistente a deformações e apresenta maior adesão entre os grânulos. Sendo o arroz uma boa fonte de energia, foi ainda estudada a possibilidade da sua utilização como base de produtos extrudidos. Dos ensaios de extrusão realizados, conclui-se que a utilização de arroz seria uma boa base para estes produtos, no entanto, é ainda necessário a realização de mais ensaios para avaliação da influência do teor de humidade, bem como a de incorporação de outros alimentos.

keywords

Rice, starch, amylose, amylopectin, *Oryza sativa indica*, *Oryza sativa japonica*, viscosity, texture profile

abstract

Rice is among the most produced and consumed cereals in the world, being essentially made up of starch, in the form of amylose and amylopectin. With the manufacturing of the rice, lipids, vitamins and minerals content suffers a big decrease. The starch present in rice is in the form of circular and semi-crystalline granules. When the rice is cooked, the water penetrates the granules and, by gelatinizing the starch, leads to their rupture. During the cooling, the chains of amylose and amylopectin organize and influence their rheological properties.

In the present work the physicochemical and rheological characteristics of carolino, needle, medium, round, risotto and rejected rice types were evaluated. Depending on the amylose content present in the rice, there is a different rheological behavior. Through PCA analysis and Pearson's correlations, it was verified for needle rice (*indica*) a correlation between the amylose content and, the higher resistance to deformation, greater elasticity, and lower viscosity, when compared with rice from the other types studied, all from the *japonica* subspecies. Rice from the *japonica* subspecies samples have a lower amylose content, tending to incorporate more water, with a greater extent of granule degradation and increased viscosity. This starch is less resistant to deformation and has greater adhesion between the granules. Since rice is a good source of energy, the possibility of its use as a base for extruded products was also studied. From the extrusion tests carried out, it is concluded that the use of rice would be a good basis for these products. However, it is still necessary to carry out more tests to evaluate the influence of moisture content, as well as the incorporation of other foods.

Lista de Abreviaturas

BRC – British Retail Consortium

IFS – International Features Standards

TPA – Texture Profile Analyser

RVA – Rapid Visco Analyser

GC-FID – Cromatografia gasosa com detetor de ionização de chama do inglês Gas Chromatography with Flame Ionization Detection

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Logótipo da empresa Novarroz – Produtos Alimentares S.A. ⁽⁵⁾ | 1 |
| Figura 2 – Equipamentos laboratoriais de processamento de arroz: descascador (A), branqueador (B) e trior (C) | 3 |
| Figura 3 - Gráfico demonstrativo do consumo mundial de arroz durante o ano de 2019 ⁽²⁾ | 6 |
| Figura 4 - Estrutura de um grão de arroz ⁽¹²⁾ | 6 |
| Figura 5 - Grãos de arroz das subespécies japonica (A) e indica (B)..... | 8 |
| Figura 6 - Estruturas químicas de amilose (A) e de amilopectina (B) ⁽³⁶⁾ | 11 |
| Figura 7 – Níveis de estruturação das cadeias de amilose e amilopectina nos grãos de arroz ⁽¹⁹⁾ | 12 |
| Figura 8 - Gráfico de viscosidade do arroz ao longo do tempo e gráfico da temperatura ao longo do tempo ⁽¹⁹⁾ | 13 |
| Figura 9 - Equipamento VIBE para análise de dimensões e cores de amostras de arroz..... | 19 |
| Figura 10 – Amostras de farinha de arroz na estufa para a determinação da humidade | 19 |
| Figura 11 – Bloco de aquecimento..... | 21 |
| Figura 12 - Cromatógrafo de GC-FID utilizado na determinação do teor de açúcares..... | 22 |
| Figura 13 – Soluções padrão de amilose de diferentes concentrações para a elaboração da reta padrão..... | 23 |
| Figura 14 – Soluções das amostras analisadas para leitura da absorvância | 23 |
| Figura 15 – Texturómetro com sonda de extrusão de arroz | 24 |
| Figura 16 – Amostras de arroz antes e depois da cozedura..... | 24 |
| Figura 17 – Sonda de compressão usada na análise de TPA..... | 25 |
| Figura 18 – Equipamento de RVA para análises de viscosidade | 26 |
| Figura 19 – Extrusora utilizada nos ensaios de extrusão de farinha de arroz..... | 29 |
| Figura 20 – Características biométricas das várias amostras de arroz: a) comprimento e largura; b) relação comprimento/largura..... | 31 |
| Figura 21 – Valor médio do teor de humidade, expresso em percentagem, registado para cada uma das amostras de arroz analisadas ($p < 0,05$)..... | 32 |
| Figura 22 – Valor médio do teor de proteína, expresso em percentagem, registado para cada uma das amostras analisadas ($p < 0,05$)..... | 33 |
| Figura 23 – Cromatograma ilustrativo da análise do teor de açúcares neutros | 33 |
| Figura 24 – Percentagem média de açúcares (glucose) nas amostras analisadas ($p < 0,05$)..... | 34 |
| Figura 25 – Percentagem média de amilose, em massa seca, para as amostras analisadas ($p < 0,05$). | 35 |

| | |
|--|----|
| Figura 26 – Gráfico representativo da força exercida em função do tempo nos ensaios de extrusão de arroz cozido | 36 |
| Figura 27 – Valor médio de força de extrusão para as amostras de arroz cozido analisadas ($p < 0,05$). | 37 |
| Figura 28 – Gráfico representativo do ensaio de compressão de arroz cozido | 37 |
| Figura 29 – Gráficos representativos dos parâmetros referentes à análise dos parâmetros de textura: dureza, gomosidade, adesividade, coesividade, resiliência, elasticidade e mastigabilidade ($p < 0,05$). | 39 |
| Figura 30 - Gráfico representativo dos parâmetros da análise de RVA (pico de viscosidade, vala, <i>breakdown</i> , viscosidade final e <i>setback</i>) ($p < 0,05$)..... | 41 |
| Figura 31 – Gráficos de RVA de quatro amostras de arroz basmati, para avaliação de parâmetros reológicos durante armazenamento de 6 ou 12 meses | 43 |
| Figura 32 – Gráficos de RVA de duas amostras de arroz jasmim, para avaliação de parâmetros reológicos durante armazenamento de 6 ou 12 meses | 44 |
| Figura 33 – Gráficos de RVA de quatro amostras de arroz agulha para avaliação dos parâmetros reológicos durante o armazenamento de 6 meses | 45 |
| Figura 34 - Gráficos de RVA de duas amostras de arroz japônica, carolino e médio, respetivamente, para avaliação dos parâmetros reológicos durante o armazenamento de 6 meses | 46 |
| Figura 35 – <i>Heatmap</i> com os <i>scores</i> e <i>loadings</i> das nove amostras analisadas | 47 |
| Figura 36 – Gráfico de <i>scores</i> de PCA das nove amostras de arroz em estudo | 48 |
| Figura 37 – Gráfico de <i>scores</i> e <i>loadings</i> de PCA relativo às nove amostras de arroz em estudo... | 49 |
| Figura 38 – Gráfico das correlações de Pearson, entre os parâmetros analisados | 50 |
| Figura 39 – Saída do produto extrudido do equipamento de extrusão..... | 51 |
| Figura 40 – Produto obtido da extrusão de farinha de arroz | 52 |
| Figura 41 – Pasta de farinha de arroz depois de tomar forma e antes de ir ao micro-ondas | 52 |
| Figura 42 – Produtos obtidos da expansão em micro-ondas | 53 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Composição química do arroz integral, ou em película, e do arroz branqueado ^(13,14) | 9 |
| Tabela 2 - Dimensões dos grãos definidos para cada tipo de arroz na legislação portuguesa | 14 |
| Tabela 3 – Dados definidos na legislação portuguesa relativos a dados de viscosidade (pico de viscosidade e setback) e de teor de amilose nas duas categorias de arroz longo (carolino e agulha) | 15 |
| Tabela 4 – Dados relativos a cada uma das amostras analisadas (tipo, ano e local de produção e respetiva foto)..... | 17 |
| Tabela 5 – Dados relativos a cada uma das amostras analisadas por RVA durante o tempo de armazenamento | 28 |

Índice

| | |
|---|----|
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Enquadramento do estágio | 1 |
| 1.1.1. Novarroz – Produtos Alimentares S.A. | 1 |
| 1.1.2. O processo industrial de produção de arroz | 2 |
| 1.2. A estrutura e composição química do arroz | 5 |
| 1.2.1. O arroz e a estrutura do seu grão | 5 |
| 1.2.2. Tipos de arroz..... | 7 |
| 1.2.3. Composição química | 8 |
| 1.2.4. Propriedades reológicas..... | 12 |
| 1.2.5. Legislação portuguesa | 14 |
| 1.3. O arroz como matéria-prima para o desenvolvimento de novos produtos | 15 |
| 1.4 Objetivos do trabalho..... | 16 |
| 2. Materiais e métodos | 16 |
| 2.1. Amostras | 16 |
| 2.2. Caracterização das propriedades físico-químicas dos diferentes tipos de arroz..... | 18 |
| 2.2.1. Determinação das características biométricas | 18 |
| 2.2.2. Determinação do teor de humidade..... | 19 |
| 2.2.3. Determinação do teor de proteína | 20 |
| 2.2.4. Determinação do teor de açúcares..... | 20 |
| 2.2.5. Determinação do teor de amilose | 22 |
| 2.3. Caracterização das propriedades reológicas dos diferentes tipos de arroz..... | 24 |
| 2.3.1. Determinação da força de extrusão | 24 |
| 2.3.2. Determinação do perfil de textura | 25 |
| 2.3.3. Determinação da viscosidade | 26 |
| 2.4. Influência do tempo de armazenamento na viscosidade | 27 |
| 2.5. Análise estatística..... | 28 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.6. | Ensaio de extrusão e expansão | 29 |
| 3. | Resultados e discussão | 30 |
| 3.1. | Caracterização das propriedades físico-químicas dos diferentes tipos de arroz..... | 30 |
| 3.1.1. | Determinação das características biométricas do arroz..... | 30 |
| 3.1.2. | Determinação do teor de humidade..... | 32 |
| 3.1.3. | Determinação do teor de proteínas..... | 33 |
| 3.1.4. | Determinação do teor de açúcares..... | 33 |
| 3.1.5. | Determinação do teor de amilose | 34 |
| 3.2. | Caracterização das propriedades reológicas dos diferentes tipos de arroz..... | 36 |
| 3.2.1. | Determinação da força de extrusão | 36 |
| 3.2.2. | Determinação do perfil de textura | 37 |
| 3.2.3. | Determinação da viscosidade | 40 |
| 3.3. | Influência do tempo de armazenamento na viscosidade | 43 |
| 3.4. | Análise estatística | 46 |
| 3.5. | Experiências de extrusão e expansão | 51 |
| 4. | Conclusões | 53 |
| 5. | Referências..... | 56 |
| 6. | Anexos..... | 59 |

1. Introdução

1.1. Enquadramento do estágio

O desenvolvimento do trabalho seguidamente apresentado foi elaborado tendo em conta um estágio em ambiente empresarial na empresa Novarroz. O trabalho foi realizado em período de pandemia Covid-19, tendo por essa razão sido realizado nos primeiros três meses na empresa, possibilitando um conhecimento abrangente de todo o processo de fabrico do arroz bem como das análises e procedimentos realizados no âmbito da segurança e qualidade do produto.

1.1.1. Novarroz – Produtos Alimentares S.A.

A Novarroz é uma empresa familiar do ramo alimentar direcionada à manipulação e fabrico de arroz para consumo, fundada em 1979. Este negócio de família remonta aos anos 60 do século passado e a um moinho de água localizado na beira do rio Ul, onde se elaborava um processo de produção tradicional e rudimentar de arroz e outros cereais ⁽⁵⁾. Na Figura 1 encontra-se representado o logótipo da empresa Novarroz – Produtos alimentares S.A.



Figura 1 - Logótipo da empresa Novarroz – Produtos Alimentares S.A. ⁽⁵⁾

Desde a sua fundação até à atualidade tem havido um investimento no crescimento da empresa, quer na sua capacidade de produção e de armazenamento, quer seja na melhoria e reconhecimento da mesma a nível nacional e internacional, tornando-se assim, numa das principais produtoras de arroz da Europa nas diferentes vertentes, incluindo no volume de produção e na qualidade do produto.

A preocupação com a qualidade do produto apresentado ao cliente, leva a Novarroz a um acompanhamento de todo o processo de produção de arroz, começando com uma escolha criteriosa das melhores sementes de cada uma das variedades e acabando na escolha do melhor embalagem de modo a obter um produto pronto a ir para o mercado de consumo. Deste modo, é estabelecido contacto entre a empresa e os orizicultores de modo a poder acompanhar todo o processo desde o cair das sementes na terra até à sua colheita, incluindo os produtos usados e os trabalhos desenvolvidos durante o cultivo de modo a garantir a qualidade e a segurança do arroz. Esta preocupação ao nível da qualidade e segurança alimentar levou a Novarroz a obter as certificações BRC: Global Standard for Food Safety e a IFS: International Features Standards.

A Novarroz apresenta aos seus clientes uma ampla diversidade de variedades de arroz tais como arroz dos tipos carolino, agulha, médio, redondo, risoto, basmati e jasmim, bem como de arroz integral e de arroz vaporizado.

1.1.2. O processo industrial de produção de arroz

Para que o arroz que consumimos nos chegue com as características que conhecemos tem de passar por um processo industrial, no qual se torna o grão de arroz que foi apanhado no campo no grão de arroz que consumimos, cumprindo todas as normas da legislação e de qualidade e segurança alimentar.

O processo industrial da produção de arroz na empresa Novarroz começa com a chegada do arroz em casca ou película à empresa, proveniente dos produtores, de onde é recolhida uma amostra que segue para análise em laboratório, de modo a verificar a qualidade dos grãos de arroz, replicando em menor escala o processo de produção que o arroz irá sofrer, bem como a verificação da humidade do arroz. Durante o armazenamento do arroz é efetuado um controlo de temperatura no interior dos silos de modo preventivo, para manter a qualidade do arroz e para evitar o desenvolvimento de microrganismos e a ocorrência de fermentação do arroz, o que impossibilitaria a sua utilização para produção, daí ser também muito importante a verificação da humidade do arroz no laboratório, pois quanto maior for a humidade presente no arroz, maior a probabilidade de ocorrer a sua fermentação ⁽³⁵⁾.

O processo produtivo do arroz começa com a sua entrada, ainda com casca, na linha de produção onde vai sofrer vários processos até chegar ao produto final. Este arroz em

casca passa por uma tarara que vai promover a retirada de impurezas, nomeadamente ervas secas ou parte do caule da planta de arroz, seguindo depois para uma outra máquina responsável pela remoção de pedras que se encontrem misturadas com o arroz. O arroz ainda com casca segue para os descascadores que através da fricção de rodas giratórias entre as quais passam os grãos de arroz, levam à remoção da casca do arroz (Figura 2A). Com o descasque do arroz obtemos o arroz em película, ou seja, que ainda contém as camadas da cariopse, que pode ser comercializado assim, sendo designado por arroz integral, e a casca do arroz como subproduto.

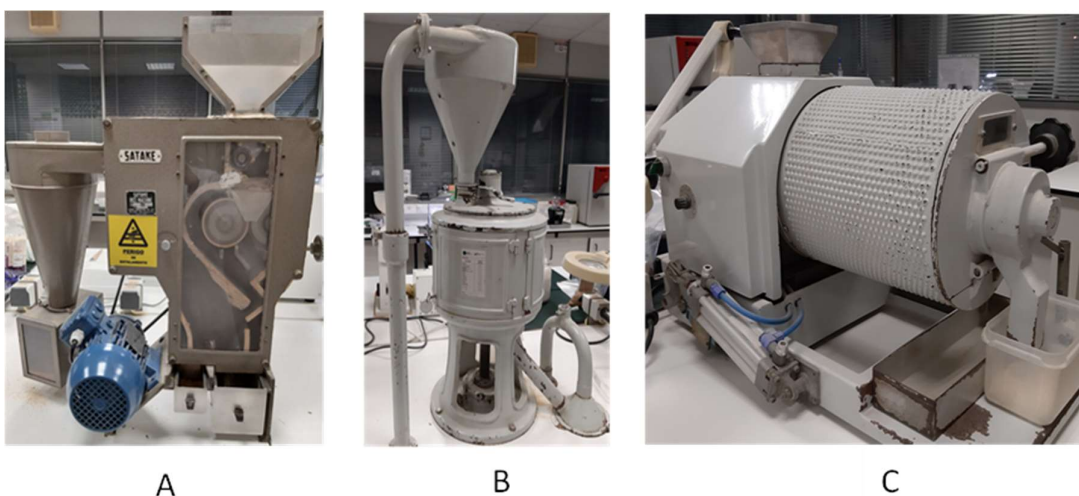


Figura 2 – Equipamentos laboratoriais de processamento de arroz: descascador (A), branqueador (B) e triador (C)

Não se designando à comercialização, o arroz em película segue para a máquina de branqueamento (Figura 2B) onde pela passagem dos grãos de arroz em contacto com uma mó se vai extraindo as camadas exteriores da cariopse como o pericarpo, bem como a remoção da parte correspondente ao embrião obtendo-se assim um arroz branqueado. Dependendo da variedade, para que os grãos de arroz tenham determinado grau de brancura, o tempo que se encontram no branqueador vai variar, sendo necessário fazer ajustes na máquina de branqueamento de arroz dependendo da variedade em produção. Com este processo de branqueamento obtém-se novamente um subproduto, a sêmea de arroz, constituído pela película retirada dos grãos de arroz.

O arroz já branqueado, que passou por dois processos de desgaste, segue para um outro equipamento, designado por triador (Figura 2C), responsável pela separação dos grãos

inteiros dos grãos que se encontram partidos devido aos processos de desgaste anteriores. Este grão partido tem como designação trinca e dependendo do seu tamanho pode ser denominada de forma diferente, sendo a mais pequena considerada trinca miúda e a de maiores dimensões trinca grada.

Como parte final do processo de produção de arroz e antes do seu embalamento, o arroz passa ainda por outro equipamento, uma seletora, que é responsável pela separação dos grãos pelas suas cores, isto é, o arroz que entra em produção contém grãos em diferentes estados de maturação, grãos defeituosos ou com outras alterações de cor para além do característico bago branco. Esta separação por cor vai permitir retirar os grãos imaturos, de coloração verde ou branco opaco, os grãos defeituosos de coloração preta ou castanha, os grãos ambarinos e amarelos indicativos de degradação química dos mesmos e os grãos estriados vermelhos que apresentam estrias vermelhas ao longo do bago, sendo também estes grãos considerados um subproduto da produção do arroz.

Após estas etapas, o arroz encontra-se pronto a poder ser embalado, sendo armazenado em silos ou tulhas até ao seu embalamento. Aquando do embalamento do arroz, este entra nas linhas de embalamento, no caso de embalagens de menor quantidade (0,5, 1 e 2 kg), ou de ensaque, no caso de embalagens de maior quantidade (5, 10, 20 e 25 kg). Antes de seguir para o armazenamento, as embalagens passam ainda por um detetor de metais que descarta a embalagem em caso de deteção de algum metal, garantindo assim uma maior segurança no produto.

Para além do controlo feito aquando da chegada do arroz ainda em casca, é também feito um controlo diário dos parâmetros de humidade e brancura do arroz que é produzido, bem como de todo o arroz que é embalado de modo a verificar se cumpre todas as características necessárias. Para além do controlo da qualidade do arroz é ainda feito um controlo da presença de gorgulho no arroz durante o seu armazenamento, quer em casca quer após branqueamento.

Os diferentes subprodutos obtidos durante o processo de produção de arroz (casca, farelo, trinca e grãos rejeitados) são comercializados para alimentação animal e, no caso da trinca, também para alimentação humana, minimizando assim os desperdícios.

1.2. A estrutura e composição química do arroz

1.2.1. O arroz e a estrutura do seu grão

O cultivo e conseqüente consumo de cereais está espalhado por todo o mundo, sendo os principais cereais, tanto ao nível de cultivo como de consumo, o milho, o trigo e o arroz. De entre estes três principais cereais o arroz é consumido maioritariamente em grão, enquanto o milho e o trigo têm um grande consumo em farinha, sendo que, parte do consumo destes cereais é também para consumo animal o que não acontece com o arroz que é quase exclusivamente consumido por humanos.^{2,6}

Tal como muitos dos cereais, o arroz pertence à família *Gramineae*, e ao seu género *Oryza* dentro do qual existem vinte e uma espécies de arroz, sendo que, entre estas, apenas duas são cultiváveis, a *Oryza glaberrina*, cultivada no oeste de África, e a *Oryza sativa* de origem asiática com cultivo por todo o mundo e por isso com maior consumo^(1-4,6). O arroz teve origem há cerca de 130 milhões de anos, tendo o seu consumo iniciado há cerca de 5 000 anos, com a domesticação deste cereal na Índia e mais tarde na China.⁷ Atualmente, o arroz encontra-se espalhado por todos os cantos do mundo quer seja para cultivo quer seja para consumo. Ao longo dos anos, a disseminação do arroz pelo mundo levou ao aumento do seu consumo por parte de toda a população, sendo que nas últimas décadas, com o aumento significativo da população, houve uma preocupação para tentar obter as quantidades necessárias, o que traz a tecnologia, de modo a obter maiores quantidades e alterações na composição dos grãos para torná-los nutricionalmente melhores. Os dados relativos ao ano de 2019/2020 (Figura 3) davam conta de cerca de 500 milhões de toneladas métricas produzidas sendo os principais exportadores de arroz a Índia a Tailândia e o Vietname. Por outro lado, entre os principais importadores de arroz encontram-se a China e a União Europeia, no entanto, os maiores consumidores continuam a ser os países asiáticos incluindo a Índia e a China.^{1-4,6}

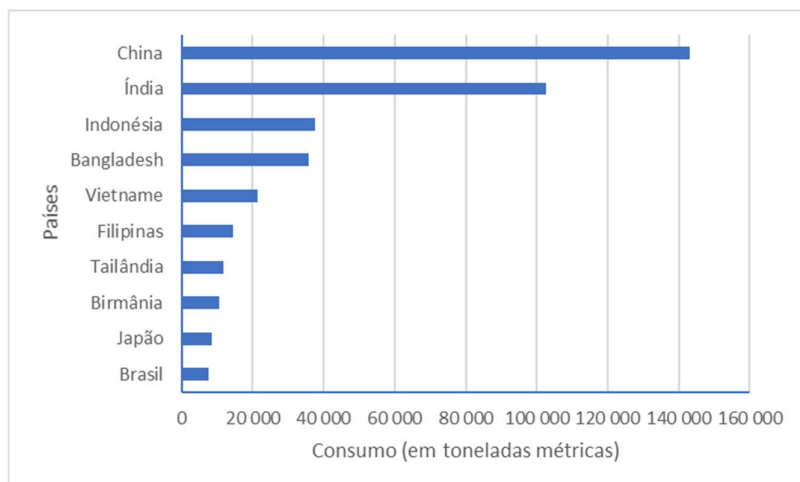


Figura 3 - Gráfico demonstrativo do consumo mundial de arroz durante o ano de 2019 ⁽²⁾

O cultivo de arroz ocorre nos mais diversos locais espalhados pelo mundo desde o sopé dos Himalaias até ao delta de diversos rios. Existem vários métodos para o cultivo do arroz tais como por irrigação, em planícies alimentadas por chuva, em planaltos ou em terrenos propensos a inundações, sendo que, de entre todos, o mais utilizado é por irrigação muito devido à maior produtividade. As características quer fisiológicas, quer reológicas são influenciadas primeiramente a nível genético e depois durante o processo de desenvolvimento da planta devido às condições do solo, da disponibilidade de água e de sol. O arroz desenvolve-se melhor em condições de temperatura amena, daí consoante o país e a variedade em questão, a cultura possa ser anual ou sazonal.⁶

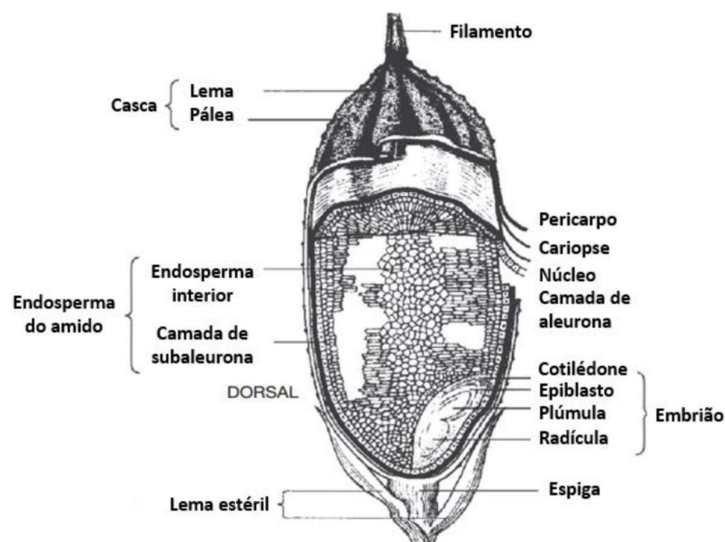


Figura 4 - Estrutura de um grão de arroz ⁽¹²⁾

O grão de arroz é constituído por diversas camadas que podem ser agrupadas em duas partes a casca e a cariopse (Figura 4). A casca é constituída pela pálea e pela lema, que formam a camada mais exterior de proteção do grão, e que representam cerca de 20 a 25% do peso do grão.^{8,9} A cariopse, que constitui o arroz em película ou integral, é composta por diversas camadas, divididas em três partes, sendo estas a película, o endosperma e o embrião, cada uma dividida nas suas várias camadas. Dentro da película encontram-se o pericarpo, a pele da semente e o núcleo, que representam cerca de 5-8% da massa de arroz integral. Por fim, o endosperma reúne duas camadas de aleurona e endosperma interior, sendo esta última a mais representativa pois constitui cerca de 89 a 94% do peso do grão integral.⁹

1.2.2. Tipos de arroz

Devido à domesticação da espécie *Oryza sativa* L. esta apresenta uma grande variedade de subespécies com diferenças quer a nível físico quer a nível reológico. Existem cerca de 120 000 variedades de arroz diferentes espalhadas por todo o mundo, sendo que grande parte destas tem origem na Índia e na China.⁶ O facto de haver tantas variedades de arroz prende-se com diversos fatores de entre os quais as características dos grãos de arroz que como dito anteriormente podem sofrer diversas alterações, com o período de crescimento da planta ou com a sua tolerância a vários fatores ambientais, como o frio.

De forma a facilitar a classificação das variedades estas foram distribuídas por três subespécies: a japonica, a indica e a javanica. As subespécies japonica e indica são as mais comuns sendo provenientes de dois locais distintos. A subespécie japonica é proveniente do sul da China e sudoeste asiático, tendo sido depois levada para a Coreia, Japão, Indonésia e anos mais tarde introduzida pelos portugueses em África e no Brasil e pelos espanhóis noutros países da América Latina. A subespécie indica é proveniente da Índia, tendo-se espalhado para o Afeganistão e Irão e mais tarde para os países mediterrânicos e sudoeste da Ásia.⁶

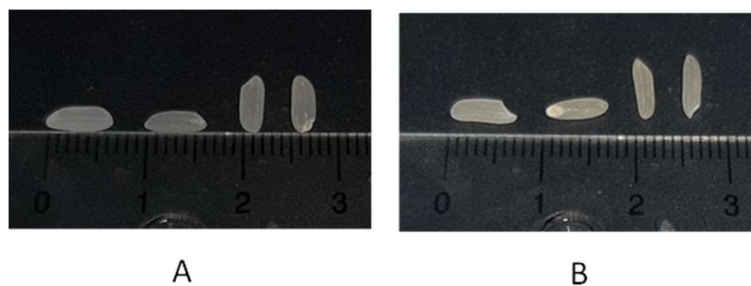


Figura 5 - Grãos de arroz das subespécies japonica (A) e indica (B)

A subespécie japonica (Figura 5A) apresenta grãos mais curtos e mais largos, quando comparado com a subespécie indica (Figura 5B) que apresenta grãos mais longo e estreitos. Para além desta característica visual apresentam também diferenças ao nível do comportamento reológico, ou seja, durante o cozimento o grão da subespécie japonica absorve mais água do que o da indica e apresenta uma consistência gelatinosa, enquanto na subespécie indica essa consistência é mais firme e o grão mais solto. Esta diferença, está relacionada com os teores de amilose e amilopectina presentes no endosperma dos grãos, sendo que o teor de amilose no arroz japonica é inferior ao do da indica e que este último apresenta um teor de amilopectina mais baixo.^{8,9} De entre as variedades incluídas na subespécie japonica encontram-se, o arroz carolino, o médio, o redondo e o risoto, enquanto na subespécie indica se pode encontrar o arroz agulha e as variedades aromáticas como o basmati e o jasmim.

1.2.3. Composição química

Os compostos presentes no arroz encontram-se espalhados pelas casca e cariopse e assim sendo é natural que com o processamento do arroz para consumo, existam perdas de alguns dos seus componentes. Para além dessas perdas podem ocorrer também diferenças nas quantidades dos componentes de acordo com as diferentes tipologias de arroz.

A casca é o primeiro constituinte do grão de arroz que é eliminado na sua produção e tem na sua constituição uma grande percentagem de celulose, cerca de 38%, bem como a presença de lenhina (cerca de 22%), hemiceluloses (cerca de 18%) e ainda outros compostos, tais como cinzas⁽⁷⁻⁹⁾.

Depois de retiradas as camadas mais externas do grão de arroz, obtém-se o arroz integral que ainda contém o pericarpo e camadas de aleurona juntamente com o embrião,

componentes estes que são ricos em proteínas, lípidos, vitaminas e minerais para além da presença de hidratos de carbono ⁽⁷⁻⁹⁾. Os hidratos de carbono presentes no arroz integral são os mesmos presentes na casca, no entanto como componentes minoritários, sendo o amido o componente maioritário. De entre as proteínas, que representam cerca de 14%, encontra-se predominantemente a albumina e a globulina ⁽⁷⁻⁹⁾. A classe dos lípidos presentes é constituída essencialmente por três ácidos gordos, o palmítico, o oleico e o linoleico podendo estar na forma de glicerolípidos, lípidos de esteroide e esfingolípidos, que formam corpos lipídicos ou esferossomas. A presença de ácidos gordos livres nesta camada, faz com que o arroz integral comercializado tenha maior propensão a rançar, em comparação com o arroz branco, devido à oxidação dos ácidos gordos. A abundância de vitaminas e minerais nas camadas exteriores do grão é muito significativa, representando grande percentagem do total destes compostos presente no grão, sendo de maior destaque as vitaminas tiamina, riboflavina e niacina e os minerais fósforo, potássio e magnésio ⁽⁷⁻⁹⁾.

Tabela 1 - Composição química do arroz integral, ou em película, e do arroz branqueado ^(13,14)

| Componentes | Arroz integral (g) | Arroz branqueado (g) |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Hidratos de carbono | 71,6 | 78,1 |
| Proteínas | 8,6 | 6,7 |
| Lípidos | 2,5 | 0,4 |
| Fibra | 3,8 | 2,1 |
| Água | 12,2 | 13,9 |
| Outros | 1,3 | -- |

Com todo o processo abrasivo decorrente no arroz, obtém-se o seu endosperma que apresenta diferenças composicionais, em comparação com o arroz integral, em grande parte dos componentes com exceção do teor de amido. Observando a composição química do arroz branqueado verifica-se que cerca de 3/4 correspondem a hidratos de carbono (Tabela 1), dos quais cerca de 90% é amido e os restantes 10% referentes a açúcares livres e fibra ^(8,9). O conteúdo proteico do arroz branqueado representa cerca de 4.5-15.9%, das quais fazem parte albumina, globulina, prolamina e glutelina, para todas as variedades de arroz. Estas proteínas presentes no endosperma estão maioritariamente agregadas em forma de corpos proteicos esféricos ricos em prolamina e em corpos proteicos cristalinos ricos em glutelina ^(7-9, 16). O conteúdo lipídico representa 0.2-2% do arroz branqueado

(Tabela 1) e pode ser dividido em lípidos de amido e sem amido, estando presentes em maiores quantidades os lípidos de amido. Os lípidos presentes no endosperma podem ser encontrados de duas formas, a) associados aos grânulos de amido, através de interação entre as cadeias de ácidos gordos e um complexo em forma de hélice formado por amilose, ou b) formando corpos lipídicos. De entre os ácidos gordos destacam-se o oleico, o palmítico e o linoleico, que estão presentes nos diversos componentes lipídicos como lípidos neutros, glicolípidos e fosfolípidos. Os minerais e vitaminas presentes nesta fração do grão de arroz são de menor quantidade visto que grande parte deles se encontram nas camadas mais exteriores do grão dos quais se destacam o fósforo, o potássio e o magnésio e vitaminas do complexo B e α -tocoferol ⁽⁷⁻⁹⁾.

As percentagens de cada componente no arroz podem apresentar pequenos desvios consoante determinadas condições como a variedade ou as condições de cultivo e de processamento. Por exemplo, no caso do arroz vaporizado, os teores de minerais e vitaminas migram para o interior do grão durante o processo de vaporização, fazendo com que os seus valores sejam mais elevados do que no arroz que não sofre este processo.

Para além destes compostos, existem também compostos voláteis no arroz, com maior incidência no arroz designado de aromático, pois as quantidades destes mesmos compostos são significativas o suficiente para conferirem um aroma a este tipo de arroz. O desenvolvimento destes compostos está também relacionado com o clima onde este é cultivado, tendo duas designações, basmati ou jasmim consoante o composto que lhe confere o aroma. No caso do arroz basmati, o composto responsável pelo aroma é o 2-acetil-1-pirolina que também se encontra presente nas outras variedades, mas em quantidades dez vezes menores que neste tipo de arroz. No arroz jasmim, os compostos responsáveis pelo aroma floral é o hexanal seguido do nonanal entre outros compostos voláteis. A presença destes compostos traz também alguns problemas nomeadamente relacionados com o armazenamento, isto porque tal como acontece com o arroz integral que tem propensão a sofrer oxidação lipídica, estes compostos, alguns derivados de lípidos, também se encontram vulneráveis à oxidação dando origem a outros compostos responsáveis por odores desagradáveis também designados por *off-flavors* ^(17,18).

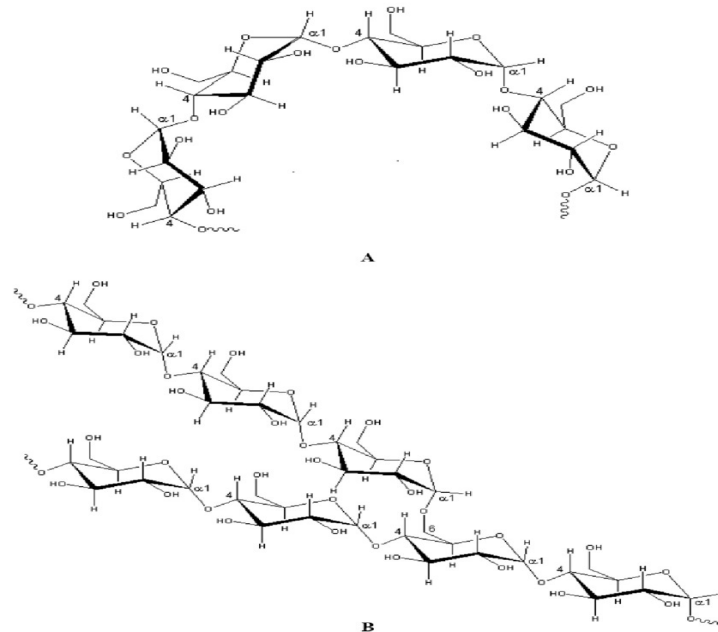


Figura 6 - Estruturas químicas de amilose (A) e de amilopectina (B) ⁽³⁶⁾

O amido é o componente principal no arroz. É composto por amilose e amilopectina.

A amilose é um polissacarídeo constituído por uma cadeia essencialmente linear de resíduos de glucose em ligação ($\alpha 1 \rightarrow 4$), enquanto a amilopectina é um polissacarídeo constituído por resíduos de glucose em ligação ($\alpha 1 \rightarrow 4$) e com ramificações em ($\alpha 1 \rightarrow 6$) (Figura 6). As quantidades de amilose e amilopectina presentes em cada variedade variam, levando ao aparecimento de características reológicas diferentes consoante o teor de cada uma das interações que estabelecem entre si ^(19,36).

O amido apresenta-se na forma de grânulos que consistem em estruturas organizadas de interação das estruturas de amilose e amilopectina.

Essa estruturação pode ser dividida em seis níveis, que podem ser observados na Figura 7:

- Nível 1 – cadeias lineares de resíduos de glucose em ligações ($\alpha 1 \rightarrow 4$)
- Nível 2 – adesão de cadeias lineares com ligações ($\alpha 1 \rightarrow 4$) e ($\alpha 1 \rightarrow 6$) formando as estruturas de amilose e amilopectina
- Nível 3 – agregação das ramificações das cadeias de amilopectina adjacentes, em intervalos de 7-10 nm, em dupla hélice formando zonas cristalinas que são alternadas por zonas amorfas onde as cadeias de amilose se introduzem

- Nível 4 – crescimento em disposição de anel formando uma estrutura semicristalina
- Nível 5 – estrutura dos grânulos de amido com dimensões entre 3-8 μm
- Nível 6 – estrutura do grão de arroz em que os grânulos interagem com proteínas, lípidos e açúcares livres. ⁽¹⁹⁾

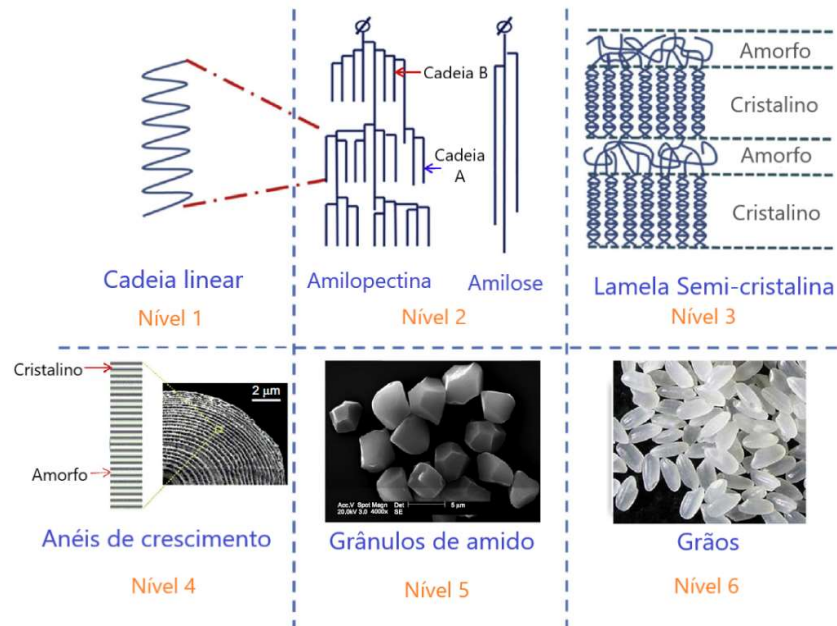


Figura 7 – Níveis de estruturação das cadeias de amilose e amilopectina nos grãos de arroz ⁽¹⁹⁾

A quantidade de amilose está diretamente relacionada com as características que o arroz apresenta depois de cozido, pois quanto maior for o teor de amilose mais firme é a textura que o arroz apresenta, enquanto que, se o teor de amilose for mais baixo, os grãos apresentam-se mais macios e pegajosos devido a uma maior absorção de água por parte dos grânulos de amido. Tendo em conta esta característica, os grãos de arroz pertencentes à subespécie indica tendem a ter um comportamento concordante com uma maior presença de amilose, enquanto que os grãos da subespécie japonica absorvem mais água e ficam mais pegajosos o que indica uma menor presença de amilose ^(19,21).

1.2.4. Propriedades reológicas

O conhecimento das características e do comportamento dos alimentos durante a sua confeção permite obter produtos de melhores qualidades e de acordo com o mercado ao qual estão destinados. Uma das características que pode ser analisada no caso do arroz é

a textura que está muito associada a uma análise sensorial, através da reologia, uma ciência que estuda deformações e tensões exercidas sobre os alimentos e que permite completar os dados relacionados com uma análise sensorial ⁽⁴¹⁾.

Embora o teste de TPA (Texture Profile Analyser) permita obter uma informação complementar à análise sensorial, não fornece informações relativas a uma das características ocorridas no interior dos grânulos de amido e que é responsável pela textura do arroz depois de cozido, devido à ocorrência de um fenómeno designado por gelatinização do amido, a viscosidade.

O comportamento viscoelástico do arroz e a gelatinização do seu amido pode ser observado através de diversos equipamentos de entre os quais o Rapid Visco Analyser (RVA) que avalia a viscosidade da amostra ao longo do tempo com variação da temperatura (Figura 8).

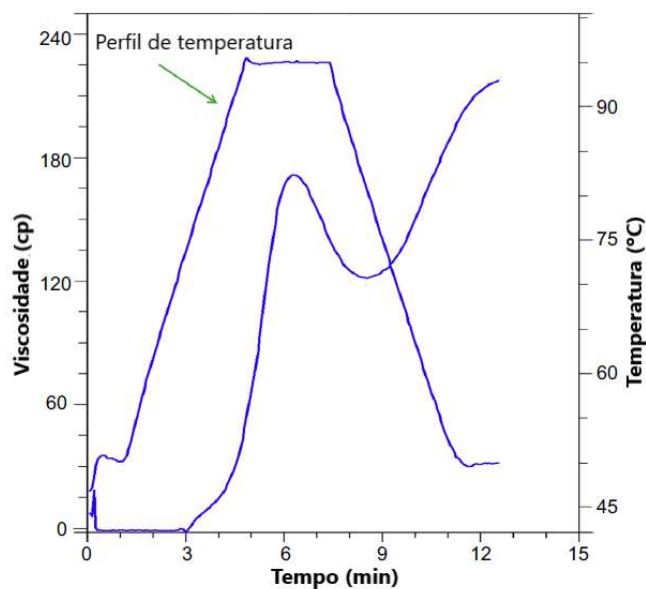


Figura 8 - Gráfico de viscosidade do arroz ao longo do tempo e gráfico da temperatura ao longo do tempo ⁽¹⁹⁾

Durante a análise da viscosidade as estruturas que compõem o amido do arroz, nomeadamente a amilose e a amilopectina, sofrem alterações relativas à organização das mesmas nas estruturas do arroz. No arroz cru, a amilose e amilopectina encontram-se numa forma organizada estratificada, no entanto, com o aumento da temperatura e na presença de excesso de água ocorre uma contínua transferência de calor e de água para o interior do grão levando a um dismantelamento da estrutura cristalina, proporcionando um

comportamento viscoelástico do amido com formação de uma pasta, levando ao aumento do tamanho dos grânulos. A destruição dos grânulos de amido faz diminuir a viscosidade da pasta, no entanto, com a diminuição da temperatura ocorre novamente uma alteração nas estruturas de amido. A diminuição da temperatura permite uma organização das estruturas de amilose e amilopectina em estruturas com a cristalização da amilose e a recristalização da amilopectina, interagindo entre elas formando um gel de amido hidratado, ocorrendo a gelatinização do amido. A organização das estruturas durante o arrefecimento é designada de retrogradação ou *setback*, levando esta a um aumento da viscosidade final da amostra ^(21,37-38).

1.2.5. Legislação portuguesa

O comércio de arroz, tal como o de qualquer produto alimentar segue um conjunto de normas definidas pelos diferentes governos e entidades competentes que tentam assegurar as melhores condições do produto para a sua comercialização. A legislação portuguesa relativa ao arroz está contida no Decreto de Lei nº 157/2017 de 28 de dezembro ⁽²⁹⁾, e define alguns parâmetros dos grãos de arroz, quer em termos de características físicas quer de características reológicas.

Entre os parâmetros referentes às características físicas dos grãos encontram-se o estado físico do grão, isto é, se é comercializado como arroz em casca, como arroz descascado, ou então com o estado físico mais comercializado, como arroz branqueado. Outro dos parâmetros físicos é o comprimento dos grãos que pretende estabelecer limites mínimos e máximos nas variedades de arroz comercializado de modo a obter uma maior homogeneidade dos tamanhos do grão (Tabela 2).

Tabela 2 - Dimensões dos grãos definidos para cada tipo de arroz na legislação portuguesa

| Tipo de arroz | Arroz redondo (japonica) | Arroz médio (japonica) | Arroz longo subcategoria A (carolino, japonica) | Arroz longo subcategoria B (agulha, indica) |
|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|--|
| Comprimento | ≤ 5,2 mm | ≥ 5,2 < 6 mm | > 6,0 mm | > 6,0 mm |
| Relação comprimento/largura | < 2 | < 3 | > 2,0 < 3,0 | ≥ 3,0 |

Os grãos de arroz podem apresentar diferentes cores, para além dos grãos brancos translúcidos, devido a alterações no desenvolvimento dos grãos, ou deformações e que por isso têm limites para a quantidade presente na comercialização. De entre esses grãos podem encontrar-se grãos de cor verde, devido à imaturidade dos mesmos, grãos deformados, danificados e fendidos devido a alterações nas características morfológicas destes, grãos de cor vermelha ou com estrias vermelhas devido à coloração alterada do pericarpo, grãos manchados e escuros que apresentam uma coloração escura em parte do grão e ainda grãos de cor amarela e ambarina, sem que tenham sofrido processo de vaporização, e que indicam uma detioração dos mesmos.

Para além das características físicas legisladas também existem parâmetros reológicos que devem ser seguidos, relativamente ao arroz longo extra, dividido em duas categorias, a categoria A que corresponde ao arroz carolino da subespécie japónica, e a categoria B que corresponde ao arroz Agulha da subespécie indica. Estes parâmetros reológicos em questão são o pico de viscosidade, que indica a viscosidade do arroz, o *setback* ou retrogradação que corresponde à altura em que os grânulos de amido se voltam a reorganizar depois da entrada de água, e o teor de amilose presente na amostra de arroz (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados definidos na legislação portuguesa relativos a dados de viscosidade (pico de viscosidade e setback) e de teor de amilose nas duas categorias de arroz longo (carolino e agulha)

| Tipo de arroz | Arroz Carolino | Arroz Agulha |
|---|-----------------------|---------------------|
| Pico de viscosidade | > 2600 | < 2500 |
| Retrogradação/Setback | < 600 | > 750 |
| Teor de amilose (matéria seca) | < 22% | > 25% |

1.3. O arroz como matéria-prima para o desenvolvimento de novos produtos

Cada vez mais, com o decorrer dos anos os snacks tornaram-se parte da alimentação mundial, no entanto a confeção deste tipo de alimento processado tem uma

base pouco saudável, com altos teores de açúcares, lípidos e sal. Este tipo de produtos é consumido por um vasto público de várias faixas etárias devido à grande praticidade dos mesmos devido ao seu consumo poder ser feito de forma simples e em qualquer lugar.

Na produção de alimentos como os snacks são utilizados equipamentos que introduzem alterações na estrutura e na composição química da base alimentar usada. De entre as técnicas de processamento alimentar a mais recorrente nesta fração alimentar é a extrusão.

O processo de extrusão consiste num processo que envolve a aplicação de temperaturas e pressão elevada e forças de cisão, a uma massa crua de um alimento. Durante o processamento os alimentos introduzidos na extrusora podem sofrer das mais diversas alterações quer seja a nível estrutural quer ao nível da sua composição. Neste processo, as condições de utilização levam a transformações estruturais, químicas e nutricionais, que em alguns casos podem levar à formação de compostos não desejáveis, devido à quantidade de transformações ocorridas. De entre as transformações que podem ocorrer durante o processo de extrusão encontram-se o aumento da biodisponibilidade mineral ou a solubilidade de fibras dietéticas, benéficas para o consumo, ou a degradação de amido e desnaturação de proteínas, como contrapartidas.²⁵⁻²⁸

1.4. Objetivos do trabalho

Este trabalho teve como objetivo caracterizar através de análises físico-químicas e reológicas para diferentes tipos de arroz da empresa Novarroz, complementadas por análise multivariada, permitindo definir melhor as suas potencialidades e aplicações. Foi também objetivo da presente dissertação a realização de ensaios de extrusão e de expansão em micro-ondas com vista no desenvolvimento de novos produtos.

2. Materiais e métodos

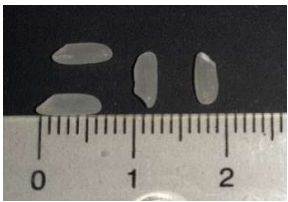
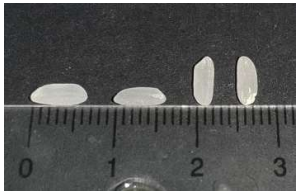


2.1. Amostras

Foram analisadas nove amostras de arroz branqueado pertencentes a diferentes tipos (carolino, agulha, médio, redondo e risoto), fornecidas pela empresa Novarroz, sendo estas provenientes de diferentes locais de produção (Tabela 4). As amostras de arroz branqueado foram armazenadas em sacos herméticos até posterior análise. O arroz em grão

foi ainda triturado, para obtenção de farinha, recorrendo ao equipamento de trituração Perten que permite obter um tamanho de partículas de cerca de 0,5 mm.

As nove amostras pertencentes a uma das duas subespécies de arroz (indica ou japónica) foram codificadas, devido aos termos de confidencialidade da empresa, de acordo com a variedade à qual pertencem, sendo que duas das amostras são referentes a arroz rejeitado durante o processamento industrial do arroz, tendo em conta a sua coloração, por não se encontrar dentro dos parâmetros de comercialização (Tabela 4).

Tabela 4 – Dados relativos a cada uma das amostras analisadas (tipo, ano e local de produção e respetiva foto)

| Amostra | Tipo | Subespécie | Ano | Local de produção | Foto |
|-------------------|-------------|-------------------|------------|--------------------------|---|
| Carolino 1 | Carolino | Japónica | 20/21 | Mondego – Portugal |  |
| Carolino 2 | Carolino | Japónica | 20/21 | Sado – Portugal |  |
| Agulha 1 | Agulha | Indica | 19/20 | Espanha |  |
| Agulha 2 | Agulha | Indica | 19/20 | América do Sul |  |

| | | | | | |
|--------------------|----------|----------|-------|-----------------|---|
| Médio | Médio | Japonica | 20/21 | Espanha |  |
| Redondo | Redondo | Japonica | 19/20 | Ásia |  |
| Risoto | Risoto | Japonica | 20/21 | Tejo – Portugal |  |
| Rejeitado 1 | Carolino | Japonica | 19/20 | Portugal |  |
| Rejeitado 2 | Carolino | Japonica | 19/20 | Portugal |  |

2.2. Caracterização das propriedades físico-químicas dos diferentes tipos de arroz

2.2.1. Determinação das características biométricas

As características biométricas das diferentes amostras em estudo foram realizadas utilizando o equipamento VIBE Imaging Analytics QM3 (Figura 9) que permite uma análise de imagem dos grãos de arroz. Embora o equipamento permita uma análise mais

detalhada de parâmetros, para o propósito deste trabalho apenas foi determinado o comprimento médio, a largura média e a relação comprimento largura. Para a realização desta análise foram pesadas cerca de 8 g de grãos inteiros, de cada uma das amostras, e dispersados na plataforma do equipamento para análise pelo software.



Figura 9 - Equipamento VIBE para análise de dimensões e cores de amostras de arroz

2.2.2. Determinação do teor de humidade

A determinação da humidade das diferentes amostras de arroz foi realizada pelo método convencional de secagem em estufa a 105°C, durante cerca de dezanove horas. Para esta determinação foi utilizada a farinha de cada uma das amostras tendo-se pesado aproximadamente 5 gramas para cada uma das três réplicas realizadas para cada amostra, tendo as mesmas sido colocadas em caixas de papel de alumínio e deixadas na estufa (Figura 10). Ao fim do tempo de secagem na estufa as amostras foram retiradas e deixadas a arrefecer em exsiccadores, pesadas novamente de forma a determinar o peso perdido durante a secagem, correspondente à água contida na amostra.



Figura 10 – Amostras de farinha de arroz na estufa para a determinação da humidade

2.2.3. Determinação do teor de proteína

A determinação do teor de proteína teve por base uma análise elementar realizada às amostras de farinha das diferentes variedades a analisar, previamente liofilizadas, utilizando o equipamento Truspec 630-200-200. Esta análise tem por base a detecção por combustão dos quatro elementos químicos (carbono, hidrogénio, nitrogénio e enxofre) permitindo a sua quantificação e, conseqüentemente, a quantificação de grupos constituintes presentes nos compostos químicos das amostras.

A análise pode ser dividida em três fases: a purga, a combustão e a análise. Na primeira fase, a amostra encapsulada é colocada no local de aquecimento e são removidos todos os gases presentes na cápsula devido à introdução da amostra. Na segunda fase, introduz-se a cápsula num forno a 1100 °C com uma quantidade controlada de oxigénio para aumentar o tempo e a combustão das amostras, sendo estas depois passadas para um segundo forno a 850 °C para oxidação, redução e remoção das partículas. Na fase final de análise, os gases provenientes da combustão passam por um coletor até ao detetor infravermelho de H₂O, seguindo, depois da remoção da humidade, para o detetor de CO₂ para a medição do carbono, e pelo detetor de SO₂ para a medição do enxofre. Finalmente, e depois de removidos o CO₂ e a H₂O é feita a medição do nitrogénio por condutividade térmica.

Para a realização da análise foram pesadas entre 1,4 g e 2,6 g das amostras de farinha de arroz para a análise, utilizando como temperatura de combustão do forno 1075 °C e como temperatura de pós-combustão 850 °C. O teor de proteína foi posteriormente estimado com base no teor de nitrogénio presente nas amostras analisadas e a sua multiplicação pelo fator de conversão 5,95, fator normalmente utilizado para o cálculo de proteína em arroz ⁽³⁴⁾.

2.2.4. Determinação do teor de açúcares

Para a determinação do teor de açúcares presente nas diferentes amostras de arroz, teve-se por base o protocolo mencionado nos artigos (31,32), tendo sido realizadas duas réplicas de cada uma das amostras. Neste procedimento partiu-se da farinha de arroz, à qual por processos de hidrólise, redução e acetilação, nos quais há a degradação dos

grânulos de amido e posteriormente das estruturas de amilose e amilopectina de modo a obter os resíduos de açúcares que serão detetados por GC-FID.

Em cada tubo de cultura é pesada 1 g de farinha de arroz, previamente liofilizada de



Figura 11 – Bloco de aquecimento

modo a retirar a água nela contida, à qual são adicionados 200 μL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 72% e incubada, à temperatura ambiente, durante 3h. Seguidamente, é realizada a hidrólise dos polissacarídeos, através da adição de 2,2 mL de água destilada e deixada a hidrolisar a 100 $^\circ\text{C}$ num bloco de aquecimento (Figura 11) durante 2h30 ao fim dos quais se colocou num banho de gelo para

arrefecimento. Antes de avançar foi realizada uma diluição, com 400 μL da hidrólise e 1,8 mL de água destilada, de modo às concentrações dos açúcares e do padrão não apresentarem uma diferença muito significativa que possa interferir na determinação da concentração de açúcares.

Foram adicionados 200 μL de padrão interno de 2-desoxiglucose de concentração 1 mg/mL a cada tubo e de seguida foi transferido 1 mL da amostra de cada tubo para novos tubos de cultura onde se neutralizam com 200 μL de amoníaco (NH_3) a 25%. Para a reação de redução foi adicionado 100 μL de solução de boro-hidreto de sódio (NaBH_4) (15% m/V) e deixada a reagir em bloco de aquecimento a 30 $^\circ\text{C}$ durante 1h. Depois de arrefecidos em banho de gelo foi adicionado por três vezes 50 μL de ácido acético glacial de modo a remover o excesso de BH_4^- da reação de redução.

Depois de transferir 300 μL para tubos Sovirel e de os colocar num banho de gelo, foram adicionados 450 μL de 1-metilimidazol e 3 mL de anidrido acético e, depois de agitados, colocados num bloco de aquecimento a 30 $^\circ\text{C}$ durante 30 minutos. Com os tubos num banho de gelo adicionaram-se 3 mL de água destilada e 2,5 mL de diclorometano, que foram agitados e centrifugados durante 30 segundos a 3000 rpm. A fase aquosa foi removida por sucção tendo-se adicionado novamente 3 mL de água destilada e 2,5 mL de diclorometano à fase orgânica e agitado, centrifugado e removido novamente a fase aquosa. A fase orgânica foi depois lavada duas vezes com 3 mL de água destilada e agitada, centrifugada e removida a fase aquosa. Finalmente, foi evaporado todo o diclorometano, adicionado 1 mL de acetona anidra e evaporada, repetindo este último passo novamente, obtendo assim os acetatos de alditol.

Para a análise dos acetatos de alditol por GC-FID, estes foram dissolvidos em 50 µL de acetona anidra e analisados usando uma coluna capilar DB-225 num cromatógrafo Perkin Elmer – Clarus 400 (Figura 12). As condições utilizadas foram: 2 µL de velocidade de injeção, com uma temperatura do injetor de 220 °C e do detetor de 230 °C, um alcance de 1, atenuação de 6 e *split* de 10 minutos ^(31,32).



Figura 12 - Cromatógrafo de GC-FID utilizado na determinação do teor de açúcares

Através do método de GC-FID obtém-se um cromatograma, onde se observam os picos dos açúcares que compõem a amostra analisada, e o pico do padrão utilizado. Com as áreas obtidas dos picos e as massas de amostra e padrão calcula-se a concentração tendo por base a equação 1:

$$C_a = \frac{\frac{\text{Área Glc}}{\text{Área padrão}} \times m_{\text{padrão adic.}}}{m_{\text{amostra usada}}} \times \frac{\text{Mmolar Glc (desidratada)}}{\text{Mmolar Glc (monohidratada)}} \times f \quad (\text{equação 1})$$

Onde, C_a é a concentração final de glucose da amostra, **Área Glc** é a área correspondente ao pico da glucose, **Área padrão** é a área correspondente ao pico do padrão, $m_{\text{padrão adic.}}$ é a massa de padrão adicionado a cada amostra dada pelo produto do volume adicionado a cada amostra (mL) pela concentração do padrão, $m_{\text{amostra usada}}$ é a massa de farinha pesada inicialmente, **Mmolar Glc (desidratada)** é a massa molar da glucose desidratada, **Mmolar Glc (monohidratada)** é a massa molar da glucose monohidratada e f é o fator de diluição utilizado ^(31,32).

2.2.5. Determinação do teor de amilose

Na determinação do teor de amilose de cada uma das amostras analisadas foi utilizado o método colorimétrico descrito na norma ISO 6647 de 2017, com algumas alterações, tendo-se utilizado como base de análise a farinha de arroz. Esta análise tem por base a reação que ocorre entre a amilose e o complexo de iodo que através de análise por colorimetria permite quantificar a amilose presente nas amostras.

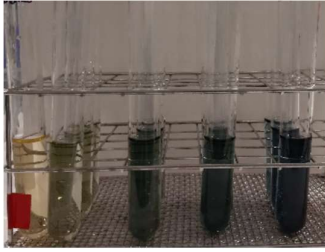


Figura 13 – Soluções padrão de amilose de diferentes concentrações para a elaboração da reta padrão

Para a realização deste ensaio foi necessário preparar uma reta de calibração através da qual é determinada a concentração de amilose. Assim foram preparadas cinco soluções padrão de amilose com concentrações conhecidas de 1, 2, 3, 4 e 5 mg/mL preparadas a partir de amilose comercial de milho e tendo-se aplicado o mesmo procedimento utilizado nas amostras a analisar (Figura 13).

A solução de iodo, preparada com 20 mg/mL de iodeto de potássio e 2 mg/mL de cristais de iodo utilizando água destilada como solvente, preparada na hora de utilização devido à possibilidade de degradação da mesma pela ação da luz. Para além da solução de iodo foi necessário preparar também uma solução de etanol a 95%, duas soluções de hidróxido de sódio (NaOH) de concentrações diferentes, uma de 1 M e outra de 0,09 M, e ainda uma solução de ácido acético de concentração 1 M.

Pesando 10 mg de farinha de cada uma das amostras a analisar para tubos de cultura, adicionou-se 100 μ L da solução de etanol e 900 μ L da solução de NaOH 1 M e depois aquecidos num banho a 100°C durante 10 minutos, tendo-se depois adicionado 9 mL de água destilada de modo a obter uma solução de 10 mL de volume. Desta solução foram depois retiradas três alíquotas de 500 μ L cada para tubos de ensaio, aos quais se adicionou 100 μ L de solução de ácido acético, 200 μ L de solução de iodo e 9,2 mL de água destilada (Figura 14).

Foi feita a leitura da absorvância a 620 nm recorrendo a um leitor de microplacas no qual se colocaram duas alíquotas de 300 μ L de cada um dos tubos de ensaio. Para além das amostras foi ainda preparado uma solução de branco, com 500 μ L de solução de NaOH 0,09 M, em vez dos 500 μ L de solução de amostra, seguindo depois o mesmo procedimento que as amostras com a adição das soluções de ácido acético e iodo e da água destilada.

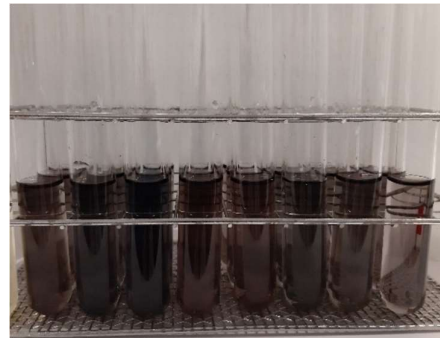


Figura 14 – Soluções das amostras analisadas para leitura da absorvância

2.3. Caracterização das propriedades reológicas dos diferentes tipos de arroz

2.3.1. Determinação da força de extrusão

A análise da força de extrusão foi realizada com base no método descrito na norma ISO 11747:2012 ⁽⁴⁴⁾, utilizando o texturómetro TA.XT.plus equipado com uma sonda de extrusão própria para arroz (Figura 15). Nesta análise, foi utilizado o grão de arroz inteiro, que foi cozido.



Figura 15 –
Texturómetro com
sonda de extrusão de
arroz

De acordo com o procedimento de cozedura estabelecido na norma ISSO 11747:2012, com algumas alterações. Na preparação das amostras de arroz cozido, procedeu-se à pesagem de 20 g de arroz branqueado em copos aos quais se adicionou 38 mL de água destilada, tendo sido depois devidamente tapados com papel de alumínio. Os copos foram depois colocados num banho termostaticado fechado, a 100 °C, num suporte que não permitisse o contacto dos copos com a água em ebulição, durante 20 minutos. Ao fim deste tempo, a fonte de calor foi desligada, tendo-se deixado os copos no interior do banho por mais 10 minutos, ao fim dos quais se retiraram os copos e se colocaram a arrefecer, virados ao contrário, durante pelo menos 1 hora (Figura 16). As amostras de arroz cozido foram depois pesadas (cerca de 17 g para cada amostra, num total de 3 réplicas) e armazenadas em sacos herméticos até à sua análise.

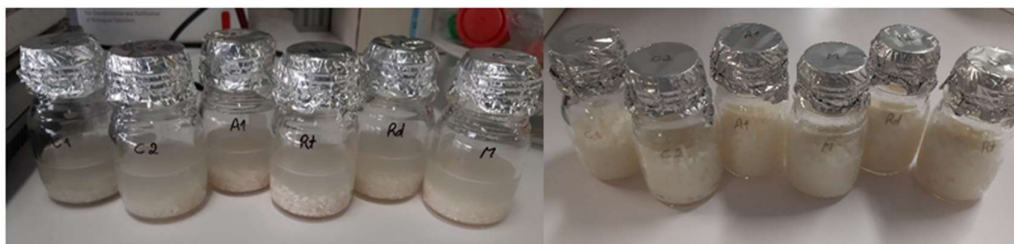


Figura 16 – Amostras de arroz antes e depois da cozedura

Na análise, colocou-se a amostra de arroz cozido dentro do suporte da sonda de extrusão de arroz, no qual se efetuou a análise, compactando ligeiramente de modo a não haver muitos espaços vazios entre os grãos de arroz de modo a obter melhores resultados.

2.3.2. Determinação do perfil de textura

A análise do perfil de textura TPA, Texture Profile Analyzer, é um teste que permite obter resultados referentes a características organolépticas percebidas aquando da ingestão dos alimentos. Para este teste foi utilizado o mesmo texturómetro que para os testes de força de extrusão, alterando o tipo de sonda a utilizar para uma sonda de compressão com um copo para colocação da amostra (Figura 17), e utilizado o mesmo procedimento para a cozedura das amostras de arroz que o descrito em 2.3.1.



Figura 17 – Sonda de compressão usada na análise de TPA

Através do programa associado ao texturómetro foi possível fazer um teste com duas compressões seguindo os seguintes parâmetros: velocidade de pré-teste 1 mm/s, velocidade de teste 0,5 mm/s, velocidade pós-teste 5 mm/s, distância percorrida 2 mm, tempo de duração de 5 s e força de gatilho 0,049 N.

O gráfico obtido da análise de TPA serve de base para o cálculo dos parâmetros de textura associados às amostras:

- Dureza – permite determinar a consistência de um material através da força necessária para deformar a amostra e é dada pela força máxima registada durante a primeira compressão
- Coesividade – este parâmetro permite observar qual o limite até ao qual a amostra pode ser deformada antes de se partir e é calculada pelo quociente entre a área correspondente à segunda compressão e a área correspondente à primeira compressão
- Adesividade – mostra a capacidade de adesão de uma determinada amostra e é obtida pela área apresentada abaixo do eixo dos xx (tempo) e é apresentada em valores negativos

- Gomosidade - permite a percepção da força requerida para a desintedração da amostra e por isso é obtida pelo produto de dois parâmetros anteriormente analisados a dureza e a coesividade
- Elasticidade - permite observar a capacidade da amostra regressar ao seu estado primitivo depois de sofrer uma deformação e é calculada pelo quociente da distância percorrida desde o início da segunda compressão até atingir o pico da força, pela distância percorrida na primeira compressão até atingir o pico da força. Pode ser também calculada pelo quociente dos tempos referentes às mesmas condições da análise das distâncias, sendo que em ambos os casos utilizando as distâncias ou os tempos. O resultado final é dado em percentagem sendo por isso necessário a multiplicação por 100.
- Resiliência - é a capacidade que um corpo tem de recuperar à sua forma original depois de sofrer uma deformação e é dada pelo quociente da área da segunda metade pela área da primeira metade do gráfico da primeira compressão, sendo a divisão dada pelo pico da força
- Mastigabilidade - relaciona vários dos parâmetros anteriores para quantificar uma característica relacionada com a dificuldade de mastigação da amostra, sendo por isso calculada pelo produto dos parâmetros da dureza, coesividade e elasticidade.

2.3.3. Determinação da viscosidade

A determinação dos parâmetros de viscosidade das amostras de arroz é realizada na empresa de forma recorrente de modo a verificar as suas características e como forma de controlo da qualidade das amostras. Esta verificação é feita a todas as amostras que chegam à empresa, dos diversos fornecedores, de modo a conhecer as características dos diferentes tipos de arroz.

Para esta determinação foi necessário utilizar farinha de arroz e um equipamento de RVA (Figura 18) que permite analisar

os parâmetros reológicos, sendo para isso necessário saber as quantidades de farinha e de água necessários para o ensaio, utilizando-se para isso o software do programa do equipamento que calcula as quantidades necessárias tendo em conta a humidade contida na amostra.



Figura 18 – Equipamento de RVA para análises de viscosidade

Com esses dados a quantidade de farinha e de água destilada são pesadas para um copo de alumínio, no qual se introduziu uma peça em forma de hélice que é ligada ao aparelho de forma a uniformizar, através de movimento contínuo, a mistura de farinha e água durante o tempo de ensaio, em que a temperatura é aumentada de forma a proporcionar a gelatinização da amostra, conferindo-lhe um aumento de viscosidade.

O software do equipamento cria assim um gráfico da viscosidade em função do tempo do qual podem ser depois extraídos os dados relativos à viscosidade das amostras analisadas. Durante esta análise, foram realizadas duas réplicas concordantes da determinação dos parâmetros de viscosidade para cada uma das amostras analisadas.

O perfil de viscosidade obtido da análise de RVA fornece-nos informações relativas ao comportamento reológico do arroz: a) o pico de viscosidade que corresponde à viscosidade máxima que determinado tipo de arroz atinge; b) o *breakdown* que corresponde à altura em que ocorre a rutura dos grânulos de amido, sendo calculado subtraindo ao valor do pico de viscosidade o valor correspondente à viscosidade da vala; c) a vala, que é o valor de viscosidade mais baixo registado depois da ocorrência do pico; d) o *setback* ou retrogradação que corresponde à fase de reorganização das estruturas e é calculado subtraindo ao valor da viscosidade final, o valor do pico de viscosidade.

2.4. Influência do tempo de armazenamento na viscosidade

Para além da avaliação dos parâmetros relacionados com a viscosidade das nove amostras analisadas durante este trabalho, foi ainda realizado um estudo para observar se existiam diferenças nos parâmetros de viscosidade durante o armazenamento. As amostras utilizadas neste estudo foram diferentes das utilizadas anteriormente (Tabela 5), tendo sido avaliado o comportamento da viscosidade de algumas amostras de arroz durante o armazenamento e esses parâmetros analisados ao fim de 6 meses e também ao fim de 12 meses, em alguns casos.

Tabela 5 – Dados relativos a cada uma das amostras analisadas por RVA durante o tempo de armazenamento

| Amostra | Tipo | Tipo de armazenamento | Tempo de armazenamento |
|-------------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|
| Ind Arom 1 | Basmati | Branqueado | 12 meses |
| Ind Arom 2 | Basmati | Branqueado e película | 12 meses |
| Ind Arom 3 | Basmati | Branqueado | 12 meses |
| Ind Arom 4 | Basmati | Branqueado e película | 6 meses |
| Ind Arom 5 | Jasmim | Branqueado e película | 12 meses |
| Ind Arom 6 | Jasmim | Branqueado e película | 6 meses |
| Indica 1 | Agulha | Branqueado e casca | 6 meses |
| Indica 2 | Agulha | Branqueado e película | 6 meses |
| Indica 3 | Agulha | Branqueado e película | 6 meses |
| Indica 4 | Agulha | Branqueado e casca | 6 meses |
| Japonica 1 | Carolino | Branqueado e casca | 6 meses |
| Japonica 2 | Médio | Branqueado e casca | 6 meses |

Durante este estudo foram analisadas as propriedades de viscosidade das duas formas de armazenamento de arroz, em casca ou película, e do arroz branqueado sendo este também novamente branqueado durante alguns segundos, tendo-se procedido de acordo com o ponto 2.3.3 para a realização das análises.

2.5. Análise estatística

As análises realizadas para perceção das características do arroz proporcionam uma vasta quantidade de dados, para os quais é necessário realizar uma análise estatística de modo a perceber a importância que cada um desses dados obtidos tem. Assim, e de forma a poder correlacionar todas as informações recolhidas durante as análises de

caracterização foi utilizado a plataforma online MetaboAnalyst 5.0 que nos permite obter as correlações existentes entre as diferentes amostras ou entre os parâmetros analisados.

Para tal, foi construído um *data set* onde se consideraram as três réplicas de cada uma das amostras, dos parâmetros dos teores de humidade, proteína, glucose e amilose das análises físico-químicas e os parâmetros de força de extrusão, perfil de textura (TPA) e perfil de viscosidade (RVA) das análises reológicas.

2.6. Ensaio de extrusão e expansão

Com vista à possibilidade de desenvolvimento de um novo produto alimentar, à base de arroz, e tendo em conta os dados recolhidos das análises de caracterização realizadas ao arroz, foram realizados ensaios de extrusão e de expansão para a obtenção de um produto com características de um snack, em que uma das suas principais características seria a incorporação de ar, utilizando o arroz como principal matéria-prima.

No ensaio de extrusão, foi utilizado um equipamento de extrusão, Periplast



Figura 19 – Extrusora utilizada nos ensaios de extrusão de farinha de arroz

Extrusion Expertise modelo EXTRUSORA O15x20D (Figura 19), que por ação de temperatura e pressão elevadas e a aplicação de forças de cisão que provocam a extrusão do produto utilizado. A extrusora utilizada possuía duas zonas de aquecimento, e não foi utilizada qualquer adaptação no final do fuso de extrusão, obtendo-se assim o produto extrudido com o mesmo formato que o fuso, em espiral. Na realização do ensaio de extrusão foi utilizada apenas uma amostra de

farinha de arroz agulha 2, que foi preparada, no dia anterior à realização do ensaio, com a adição de água destilada de modo a obter uma humidade final de 15%, partindo da humidade inicial da amostra previamente liofilizada. Depois da adição da água a amostra foi deixada em sacos herméticos em agitação orbital de 175 rpm durante a noite, de forma a evitar o desenvolvimento de microrganismos. As condições de extrusão utilizadas, nomeadamente as temperaturas das duas zonas e a velocidade de rotação do fuso foram respetivamente de 75 °C e 135 °C e de 45 rpm, respetivamente ⁽⁴⁸⁻⁵²⁾. A extrusão, por ação de forças de cisão altas temperaturas e uma pressão elevada verificada no interior da extrusora vai permitir

que a farinha de arroz gelatinize, numa primeira fase, e depois com a ajuda da diferença de pressões no interior da extrusora e à saída da mesma com a pressão atmosférica proporcionando a extrusão da mesma incorporando ar.

Para além das experiências de extrusão foi ainda realizado um outro ensaio de forma a tentar obter um produto com incorporação de ar, através da utilização de um micro-ondas para a expansão de uma amostra à base de pasta de farinha de arroz. Para a preparação da mistura da pasta adicionou-se a cada 4 g de farinha de arroz agulha 2, 30 mL de água destilada e colocou-se num banho a 100 °C durante 3 minutos e 30 segundos, e posteriormente colocadas num micro-ondas comum de modo a remover a água contida na pasta. Nos testes realizados no micro-ondas foi utilizada a potência máxima do equipamento, verificando-se, no entanto que os tempos necessários à secagem total do produto tinha variações sendo o tempo mais constante cerca de 7 minutos ⁽⁵⁴⁻⁵⁶⁾.

3. Resultados e discussão

As 9 amostras de arroz em estudo foram detalhadamente caracterizadas em termos da sua composição físico-química (3.1) e das suas propriedades reológicas (3.2). Após análise e interpretação de cada uma das propriedades em estudo, os dados foram combinados utilizando ferramentas estatísticas que permitiram estabelecer relação entre os diferentes parâmetros em estudo (3.3).

3.1. Caracterização das propriedades físico-químicas dos diferentes tipos de arroz

3.1.1. Determinação das características biométricas do arroz

A determinação das características biométricas do arroz permite à empresa Novarroz a verificação dos parâmetros legais relativos às dimensões dos diferentes tipos de arroz. Esta análise foi feita apenas para as amostras de arroz carolino, agulha, médio, redondo e risoto, visto que as duas amostras de rejeitados apresentavam grãos variados de características heterogéneas provenientes da rejeição durante o seu processamento.

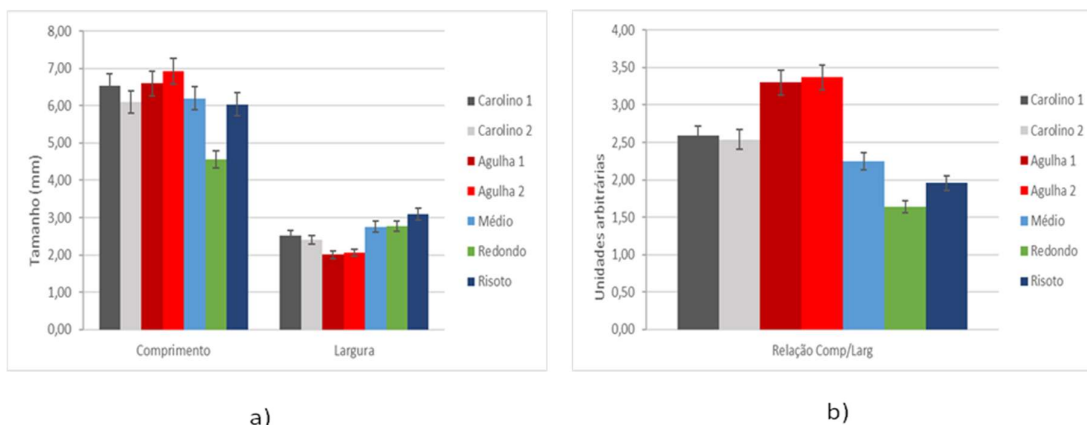


Figura 20 – Características biométricas das várias amostras de arroz: a) comprimento e largura; b) relação comprimento/largura

O arroz do tipo carolino e agulha são de grão longo sendo por isso mais compridos que os outros tipos de arroz. No entanto, existem diferenças biométricas entre estes dois tipos de arroz, tal como pode ser observado na Figura 20 a), em que se verifica que o arroz agulha é mais estreito do que o arroz carolino, e por esta razão apresenta uma relação comprimento/largura mais elevada (Figura 20 b)).

As amostras de arroz do tipo médio e risoto analisadas mostraram ser relativamente semelhantes ao arroz do tipo agulha e carolino em termos de comprimento, no entanto, o arroz risoto é ligeiramente mais largo do que os restantes tipos de arroz. Quanto ao arroz do tipo redondo este é caracterizado por ter um comprimento menor, bem como uma relação comprimento/largura inferior quando comparado com todas as outras amostras em estudo, o que justifica a sua aparência arredondada.

As amostras de carolino, agulha, redondo e médio analisadas cumpriam os requisitos legais contidos no decreto de lei onde se encontram as dimensões definidas para alguns tipos de arroz ⁽²⁹⁾.

3.1.2. Determinação do teor de humidade

A determinação da humidade do arroz é crucial em ambiente empresarial, devendo a mesma não ser elevada, isto porque, pode desencadear o desenvolvimento microbiano durante o armazenamento do mesmo, inviabilizando assim o arroz para uso alimentar, estando assim definido com limite máximo pela empresa um teor de humidade de 14%.

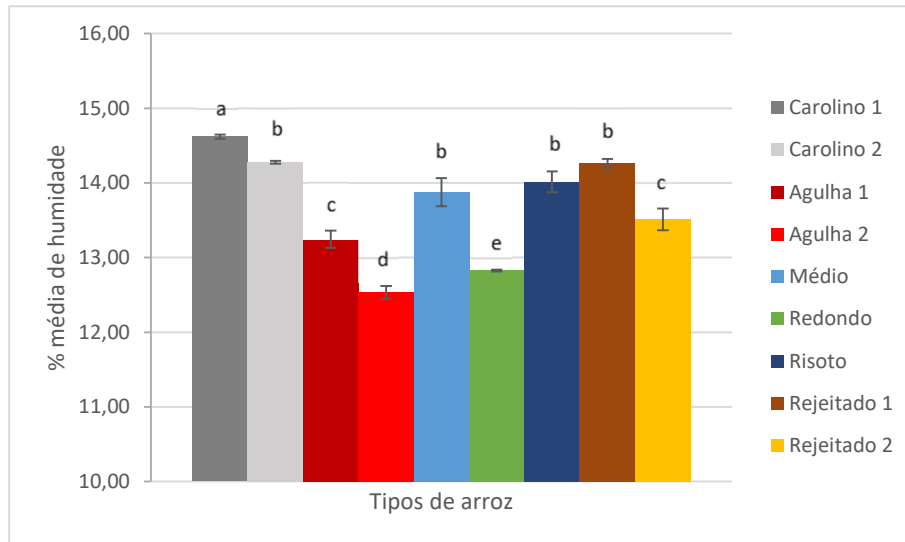


Figura 21 – Valor médio do teor de humidade, expresso em percentagem, registado para cada uma das amostras de arroz analisadas ($p < 0,05$).

Tal como se pode observar na Figura 21, as nove amostras de arroz analisadas apresentam teores de humidade variantes, sendo na sua maioria inferiores a 14%. Embora as amostras de arroz do tipo carolino e a de arroz rejeitado 1 (significativamente semelhantes, Tabela A1 em anexo), apresentarem um valor superior a 14%, as amostras podem considerar-se seguras sob vigilância, pois o valor não é muito alto (inferior a 15%).

3.1.3. Determinação do teor de proteínas

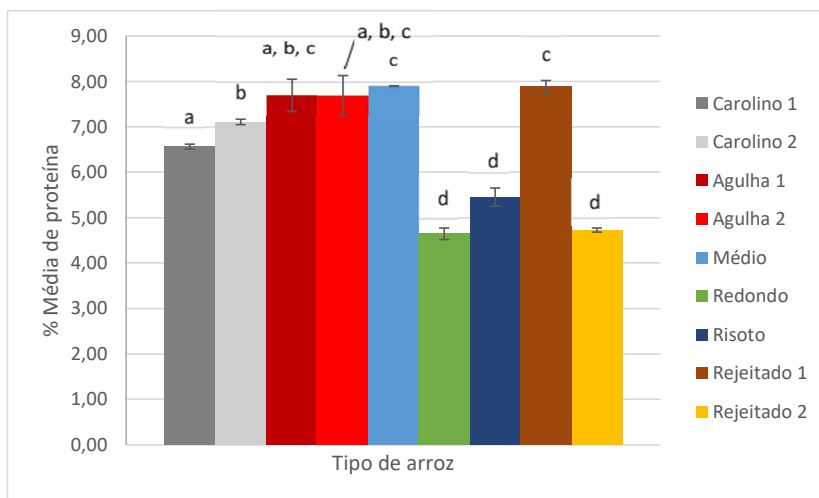


Figura 22 – Valor médio do teor de proteína, expresso em percentagem, registado para cada uma das amostras analisadas ($p < 0,05$).

O teor de proteína (Figura 22) estimado para as amostras de arroz analisadas é de cerca de 7% para as amostras de carolino, agulha, médio e rejeitado 1, estando de acordo com o valor reportado para o arroz branqueado ⁽¹⁶⁾, e de cerca de 5% para os tipos de arroz redondo, risoto e rejeitado 2, valores estes também dentro de valores reportados ⁽¹⁶⁾ embora mais baixos e significativamente diferentes dos restantes (Tabela A2, em anexo).

3.1.4. Determinação do teor de açúcares

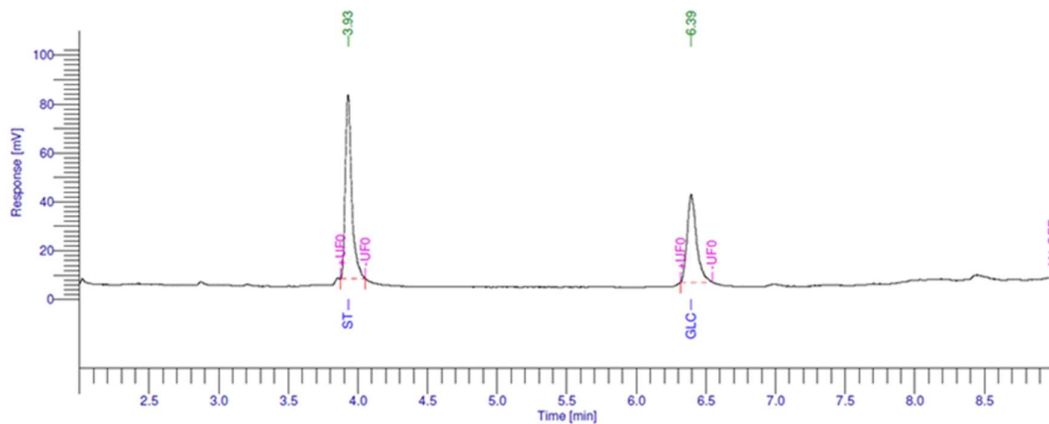


Figura 23 – Cromatograma ilustrativo da análise do teor de açúcares neutros

A Figura 23 mostra um exemplo de um cromatograma obtido por GC-FID da amostra de arroz redondo, com a identificação dos picos de padrão interno utilizado (ST, 2-desoxiglucose) e da glucose (Glc), o único monossacarídeo identificado nas amostras de arroz, e que é característico do amido que as constitui.

Tal como pode ser observado na Figura 24, os valores das concentrações de glucose encontram-se entre 80 e 99g por 100g de produto, sendo significativamente semelhantes ($p < 0,05$, Tabela A3, em anexo), o que corrobora a predominância do amido nas amostras de arroz, que segundo a literatura representa cerca de 90% dos hidratos de carbono presentes no arroz, sendo os restantes açúcares livres removidos antes da análise ^(8,9).

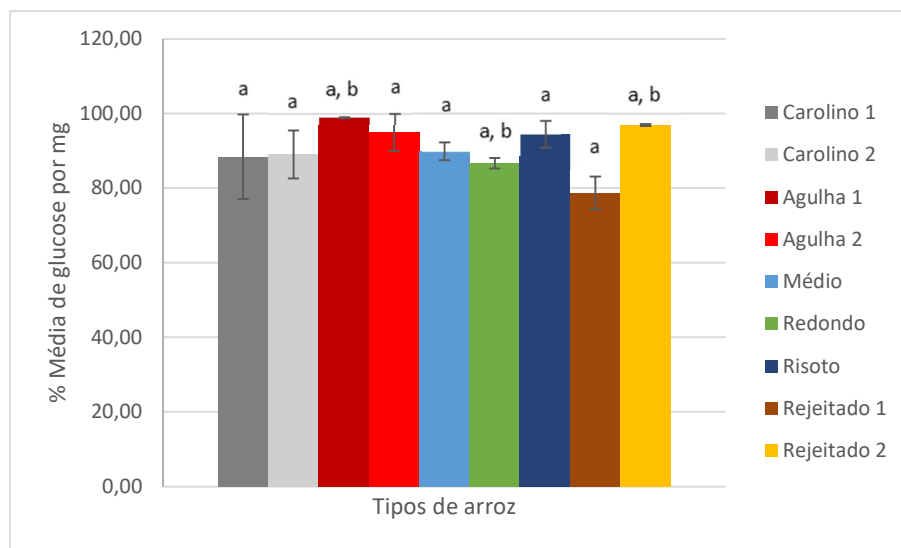


Figura 24 – Percentagem média de açúcares (glucose) nas amostras analisadas ($p < 0,05$).

3.1.5. Determinação do teor de amilose

O teor de amilose presente no arroz é outra das características que pode diferenciar os vários tipos de arroz, podendo ter influência no comportamento reológico do arroz, nomeadamente na sua viscosidade. A percentagem de amilose presente no arroz varia de acordo com diferentes fatores e pode chegar até cerca de 30% em massa seca, sendo usualmente maior no arroz da subespécie indica do que no da subespécie japonica.

A determinação dos valores de percentagem de amilose das amostras foi realizada tendo por base o valor da absorvância lida a 620 nm e a curva de calibração $y = 0,0734x +$

0,0211 obtida para amilose comercial e com um $R^2 = 0,9849$, permitindo o cálculo das concentrações às quais se subtrai a humidade de modo a obter o resultado final em massa seca.

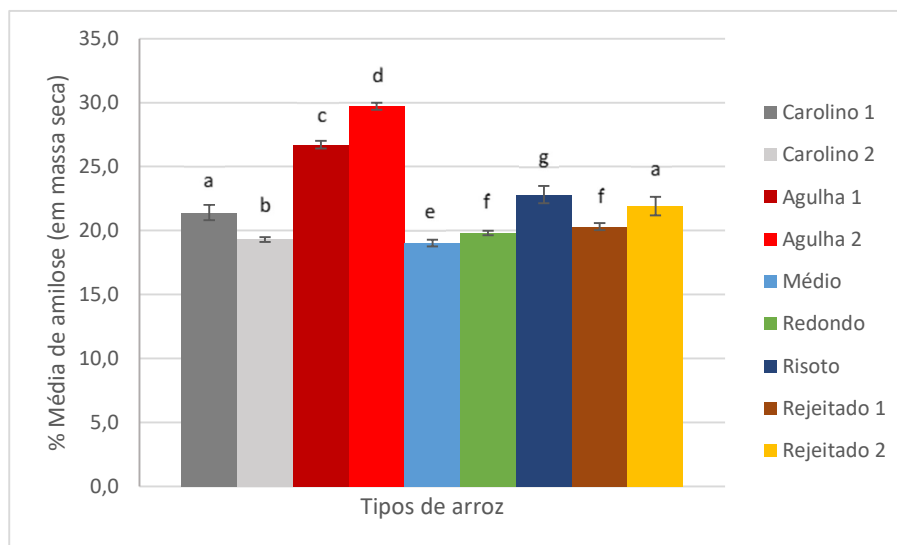


Figura 25 – Percentagem média de amilose, em massa seca, para as amostras analisadas ($p < 0,05$).

Os resultados obtidos da análise dos teores de amilose presentes nos vários tipos de arroz (Figura 25) permitem verificar que o arroz do tipo agulha, da subespécie indica, apresenta valores mais elevados (entre 27% e 30%) comparativamente às outras variedades analisadas, sendo estes próximos do valor máximo de amilose encontrado no arroz (cerca de 30%) ⁽⁷⁾. As restantes amostras de arroz apresentam uma percentagem de amilose próxima, rondando os 20%, embora significativamente diferentes, com exceção para a amostra de Rejeitado 2 (Tabela A4, em anexo). De acordo com legislação portuguesa ⁽²⁹⁾ para o arroz carolino e agulha, o teor de amilose deve ser inferior a 22% e superior a 25%, respetivamente, valores estes também expressos em termos de matéria seca. Pela análise dos resultados do teor de amilose para estas duas variedades verifica-se que tanto os dois carolinos como os dois agulhas se encontram em conformidade com a legislação portuguesa. De acordo com estes resultados, serão de esperar diferenças significativas entre as amostras de arroz agulha, com teores elevados de amilose, e as restantes amostras de arroz de teores inferiores de amilose.

3.2. Caracterização das propriedades reológicas dos diferentes tipos de arroz

3.2.1. Determinação da força de extrusão

A Figura 26 ilustra o gráfico obtido num ensaio de extrusão onde pode ser observada uma zona inicial em que há um aumento da força que corresponde à compressão da amostra até que ocorra a extrusão que corresponde à parte da curva seguinte (entre 1 e 2) onde se verificam pequenas alterações da força de extrusão sendo o valor final da força de extrusão dado pela média de todos os pontos registados nessa parte do gráfico.

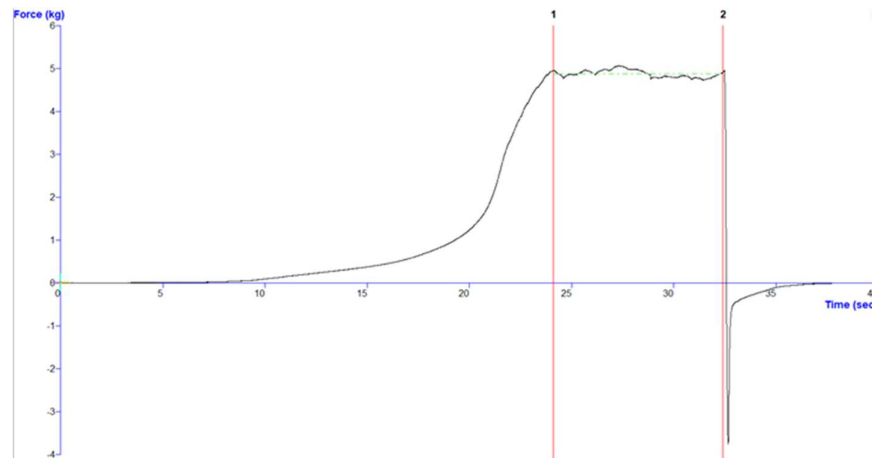


Figura 26 – Gráfico representativo da força exercida em função do tempo nos ensaios de extrusão de arroz cozido

Tendo as amostras de arroz sofrido a mesma preparação a influência do arroz na força de extrusão vai ser dada pelas características de cada tipo de arroz, assim sendo será de esperar que um arroz com maior rigidez necessite de uma maior força para que o mesmo passe pela grelha da sonda. Assim, pela análise da Figura 27 verificam-se valores significativamente mais elevados (Tabela A5, em anexo) para o tipo de arroz agulha (1,24 e 1,69 Kg/cm² respetivamente para o arroz agulha 1 e 2) quando comparado com os outros tipos de arroz em estudo que apresentam valores muito semelhantes, sem diferença significativa, e inferiores a 1 kg/cm².

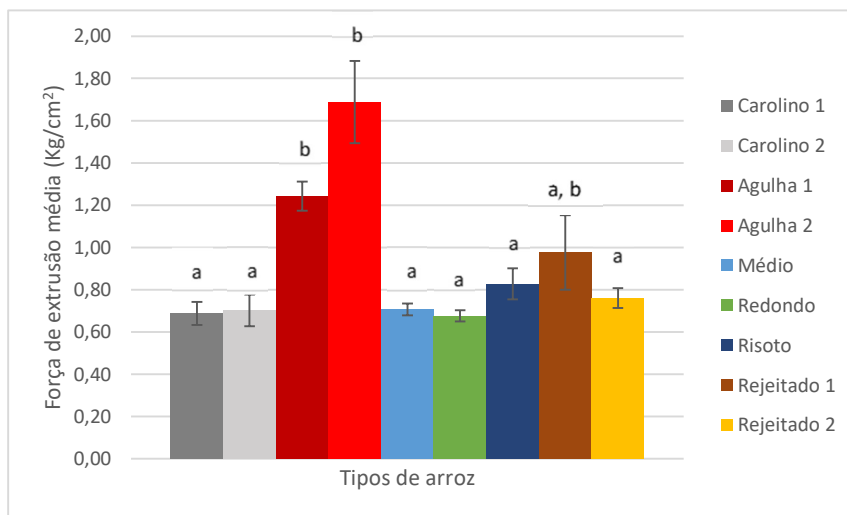


Figura 27 – Valor médio de força de extrusão para as amostras de arroz cozido analisadas ($p < 0,05$).

As duas amostras de arroz do tipo agulha são as que necessitam de uma maior força de extrusão e são também estas que apresentam maiores teores de amilose (Figura 25), o que sugere que um maior teor de amilose fornece uma maior rigidez ao arroz necessitando este de mais força para a sua extrusão.

3.2.2. Determinação do perfil de textura

A análise de perfil de textura permite avaliar vários parâmetros de um determinado alimento, nomeadamente a dureza, coesividade, adesividade, gomosidade, elasticidade, resiliência e mastigabilidade. Estes parâmetros pretendem quantificar características organolépticas percebidas aquando da ingestão de um determinado alimento.

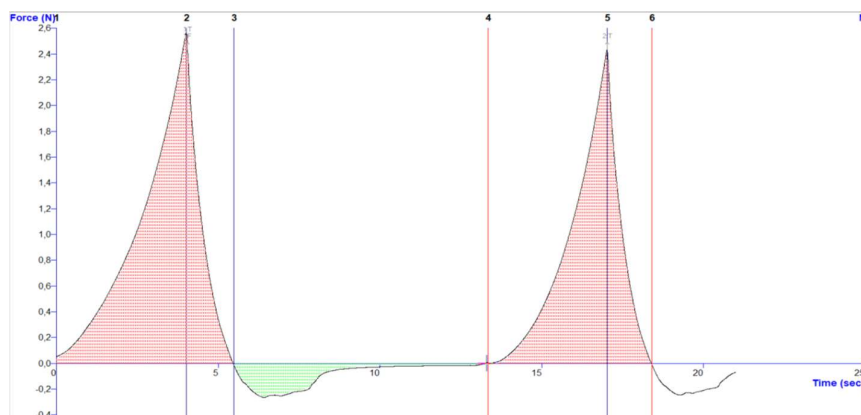


Figura 28 – Gráfico representativo do ensaio de compressão de arroz cozido

Na Figura 28 está presente um gráfico obtido de uma das análises do perfil de textura. No gráfico encontram-se representados dois picos e respectivas áreas (representadas a vermelho), na parte positiva do eixo, e que correspondem às duas compressões realizadas (entre 1 e 3 e entre 4 e 6). O espaço compreendido entre as duas compressões apresenta um pico negativo e respetiva área (representada a verde) e corresponde ao momento de espera entre compressões (entre 3 e 4).

Os resultados obtidos referentes à dureza das amostras de arroz agulha analisados (Figura 29) são menores do que os das variedades japónica, e como tal não estão de acordo com a literatura, que refere que o arroz agulha é caracterizado por ser mais resistente ⁽⁴⁰⁾. Estes resultados também não estão de acordo com os dados obtidos da força de extrusão, em que o arroz agulha necessita de uma maior força para a sua extrusão, comparativamente às outras amostras. O fator de dureza das amostras encontra-se interligado com o fator de amilose, ou seja, normalmente uma amostra com maior teor de amilose tende a ter uma maior dureza devido à menor absorção de água. Nestes ensaios, as várias amostras de arroz foram cozidas nas mesmas condições, de modo a não introduzir o fator de cozedura na análise de TPA. No entanto, usualmente o tempo de cozedura é mais baixo para o arroz agulha, podendo assim aquando da análise de TPA o arroz agulha se encontrar cozido enquanto as restantes amostras ainda necessitariam de mais tempo, apresentando por isso valores de dureza mais elevados que o agulha sendo, no entanto, significativamente semelhantes (Tabela A6, em anexo).

Outro dos parâmetros, a gomosidade (Figura 29), pode ser relacionada com a adesividade pois é uma característica reológica do comportamento físico entre os grãos, assim novamente temos valores de gomosidade mais elevados para as variedades de *japonica* comparativamente com as variedades *indica*, sendo o Risoto um dos que apresenta valores mais elevados. Tal como aconteceu no parâmetro da dureza, aqui também o tempo de cozedura pode ter influenciado os resultados visto que existem algumas amostras de arroz *japonica* com valores de gomosidade próximos das amostras de arroz *indica*, não apresentando diferenças significativas entre as amostras (Tabela A7, em anexo).

Os dados obtidos da adesividade (Figura 29) demonstram uma maior diferença relativa a um tipo de arroz em comparação com os outros, o arroz agulha, que apresenta menores valores de adesão (menor área sob o gráfico) e significativamente diferentes

(Tabela A8, em anexo) comparativamente com as outras amostras, significando isto, na prática, que este tipo de arroz é mais solto que as restantes amostras analisadas, em que os grãos aderem mais uns aos outros.

A coesividade das amostras de arroz (Figura 29) permite a percepção do limite de deformação das amostras, podendo apresentar diferenças significativas entre amostras (Tabela A9, em anexo).

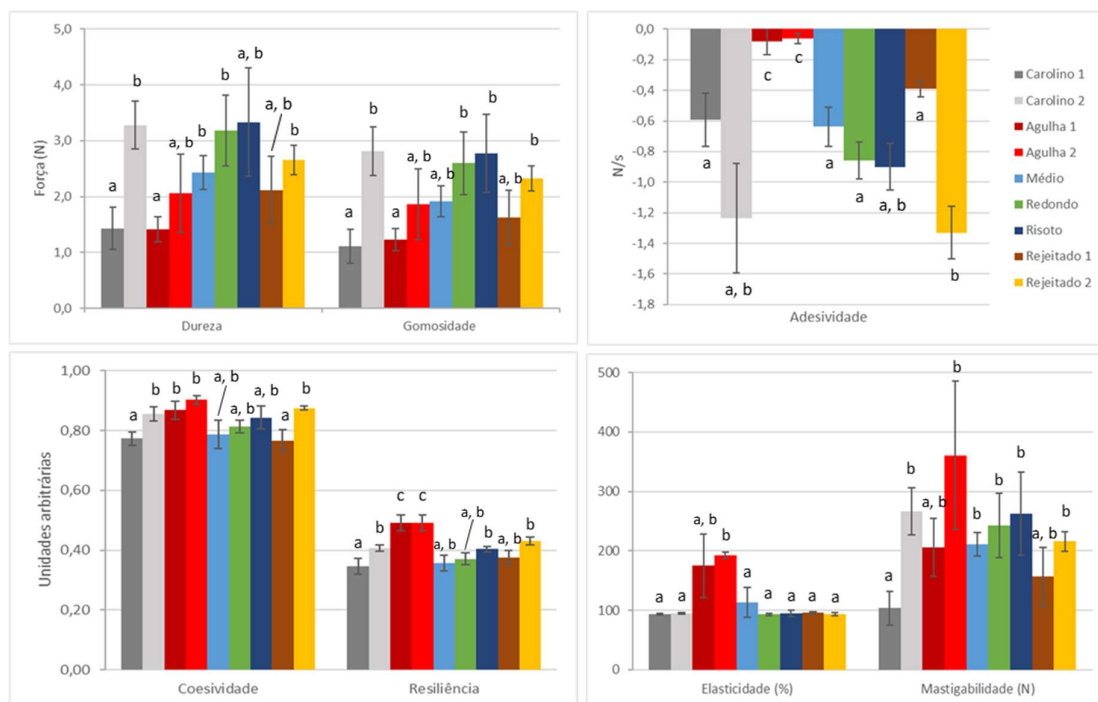


Figura 29 – Gráficos representativos dos parâmetros referentes à análise dos parâmetros de textura: dureza, gomosidade, adesividade, coesividade, resiliência, elasticidade e mastigabilidade (p<0,05).

O parâmetro referente à resiliência das amostras (Figura 29) está muito correlacionado com o parâmetro da elasticidade pois tem a ver com a capacidade de recuperação de uma deformação. Os dados recolhidos permitem verificar que o arroz agulha é o que apresenta valores de resiliência mais elevados, sendo significativamente diferente das restantes amostras, que apresentam resultados relativamente semelhantes entre si (Tabela A10, em anexo).

Com a observação da capacidade elástica no arroz através dos dados obtidos do teste TPA (Figura 29) é possível diferenciar as variedades relativamente ao seu comportamento elástico, que apresenta valores significativamente superiores no caso do arroz agulha (Tabela A11, em anexo) e, por isso, maior elasticidade, por oposição ao arroz

de carolino, médio, redondo, risoto e rejeitado, que apresentam uma menor capacidade elástica. Assim, esta característica divide as amostras de arroz consoante a sua subespécie (indica mais elástica e japonica menos elástica). A elasticidade e a resiliência estão relacionadas entre si, o que também pode ser observado pela coerência dos resultados.

O último dos parâmetros dados pela análise é a mastigabilidade (Figura 29) que é uma correlação entre vários dos parâmetros analisados anteriormente, não apresentando diferenças significativas entre o tipo de arroz agulha e os restantes tipos de arroz (Tabela A12, em anexo).

Assim, de toda a análise de perfil de textura, podem ser percecionadas diferenças relacionadas com o comportamento reológico das amostras de arroz indica (agulha) relativamente às restantes. As diferenças apresentadas parecem estar relacionadas com o teor de amilose, visto este polissacarídeo estar diretamente relacionado com a cozedura do arroz, pois uma maior presença de amilose na amostra diminui a capacidade de absorção de água pelos grânulos de amido, pois a quantidade de amilopectina é menor, proporcionando uma maior resistência por parte dos grãos de arroz, mas também uma maior capacidade elástica e menor gomosidade e adesividade.

3.2.3. Determinação da viscosidade

A análise da viscosidade das amostras faz parte das análises realizadas na empresa Novarroz como parte da identificação das características do comportamento do arroz depois de cozido, de modo a poder direcionar ao consumidor o arroz com as propriedades desejadas pelo mesmo.

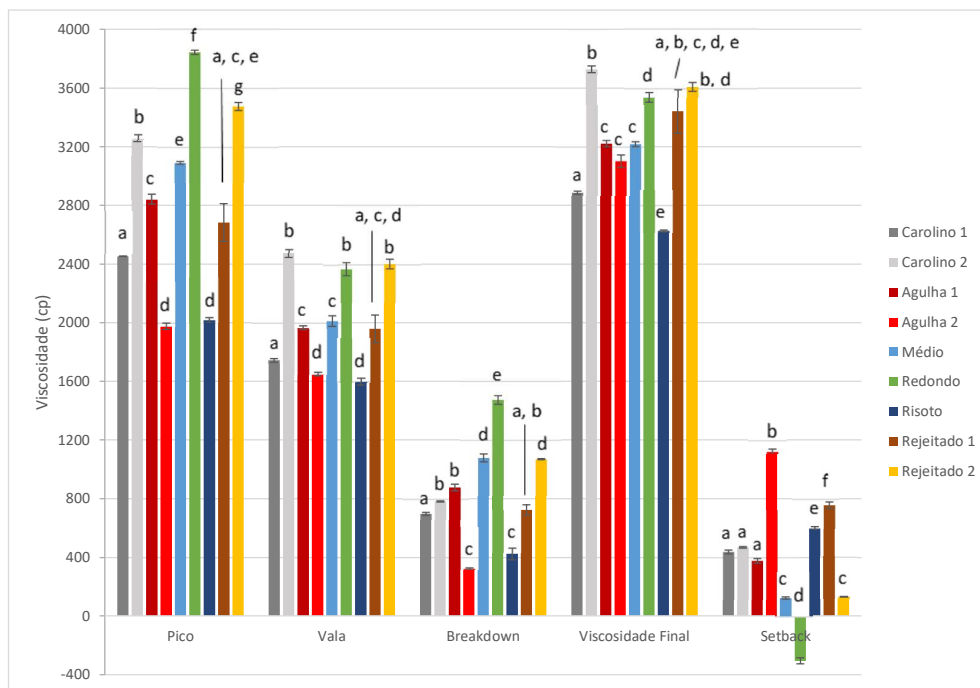


Figura 30 - Gráfico representativo dos parâmetros da análise de RVA (pico de viscosidade, vala, *breakdown*, viscosidade final e *setback*) ($p < 0,05$).

Analisando os dados recolhidos da análise de viscosidade (Figura 30) é possível identificar algumas diferenças relativas ao tipo de arroz e, identificar que, por vezes, dentro do mesmo tipo, o comportamento da viscosidade pode apresentar algumas diferenças.

As duas amostras de arroz carolino mostram que, embora tenham picos de viscosidade significativamente diferentes (Tabela A13, em anexo), essa diferença mantém-se constante relativamente aos parâmetros de vala e viscosidade final (Tabelas A14 e A16, em anexo), repercutindo-se assim em valores de *breakdown* diferentes e *setback* semelhantes. Assim, estes são indicativos de que, embora tenham picos de viscosidade diferentes, o seu comportamento relativo ao processo de gelatinização e posterior organização das estruturas presentes nos grânulos de amido são semelhantes, não havendo, por isso, uma grande diferença relativa ao comportamento viscosimétrico.

Nos dados recolhidos das duas amostras de arroz agulha é possível observar uma diferença entre os valores dos parâmetros analisados, verificando-se valores de viscosidade mais elevados para a amostra de arroz agulha 1. O arroz agulha 2 apresenta uma diferença menor entre o pico de viscosidade e a vala, conferindo assim um valor de *breakdown* mais baixo e significativamente diferente de praticamente todas as amostras (Tabela A15, em anexo), mostrando maior estabilidade dos grânulos de amido. Para além disso, apresenta

também um valor de *setback* elevado, quer comparativamente ao arroz agulha 1, quer comparativamente aos outros tipos de arroz (Tabela A17, em anexo), o que nos indica que a organização dos grânulos de amido tem maior eficácia neste arroz do que nos outros. Assim, tendo em conta as características apresentadas pelas duas amostras de arroz, considera-se o arroz agulha 2 de melhor qualidade, pelos valores mais baixos de pico e *breakdown* e pelo *setback* elevado. Estas características de viscosidade relacionam-se também com outros parâmetros analisados porque esta maior estabilidade do arroz agulha 2, é conferida pela maior quantidade de amilose presente nesta amostra (Figura 25), comparativamente com as outras, o que lhe confere uma maior coesividade e elasticidade e uma menor adesividade (Figura 29), sendo por isso necessária uma maior força para que ocorra a extrusão dos grãos de arroz (Figura 27).

Os tipos de arroz médio e redondo apresentam semelhanças entre si, não só no parâmetro de viscosidade como noutros parâmetros analisados anteriormente. Estes dois tipos de arroz apresentam teores de amilose baixos, comparando com outras amostras, o que lhes confere uma menor estabilidade estrutural entre as moléculas de amilose e amilopectina, estando a avaliação deste parâmetro relacionada com o comportamento reológico que o arroz apresenta. O arroz redondo apresenta o pico de viscosidade mais elevado, porque devido à menor estabilidade de organização das estruturas consegue acumular mais água no interior dos grânulos que aumenta a viscosidade e consequentemente, um valor de *breakdown* mais elevado e significativamente diferente das outras amostras (Tabela A15, em anexo). A ocorrência do processo de gelatinização confere uma maior gomosidade às amostras de arroz, que apresentam valores de *setback* bastante baixos devido à sua menor capacidade de reorganização, que por sua vez pode ser correlacionada com uma menor força de extrusão pois estando as estruturas pouco organizadas oferecem uma menor resistência à extrusão.

Relativamente ao arroz do tipo risoto, e aos rejeitados estes apresentam comportamentos reológicos com algumas semelhanças quer a arroz do tipo carolino quer a arroz do tipo médio ou redondo.

3.3. Influência do tempo de armazenamento na viscosidade

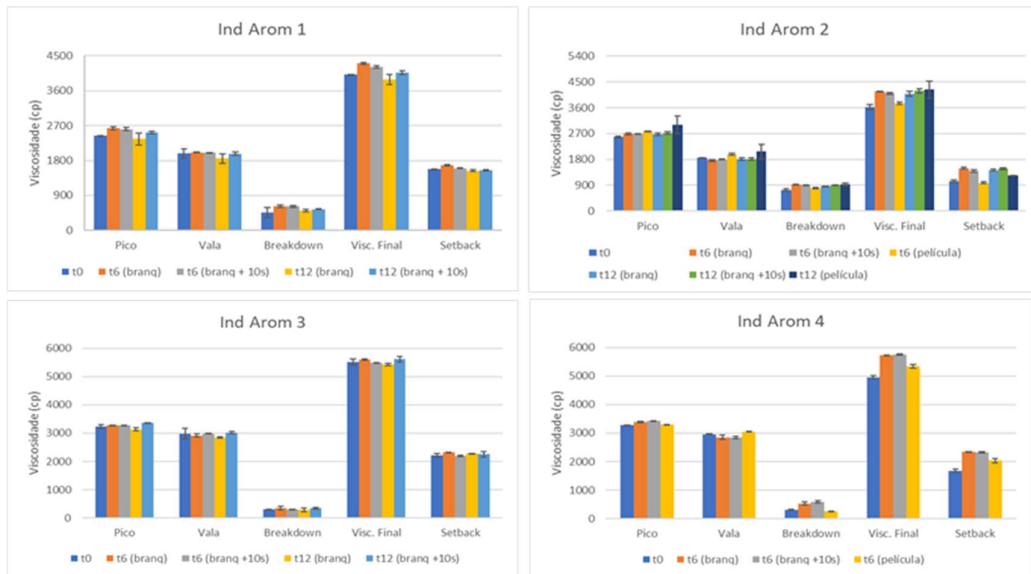


Figura 31 – Gráficos de RVA de quatro amostras de arroz basmati, para avaliação de parâmetros reológicos durante armazenamento de 6 ou 12 meses

Através da análise dos gráficos relativos ao tempo de armazenamento das quatro amostras de arroz basmati (Figura 31), é possível observar que existem diferenças quanto ao comportamento reológico das amostras ao longo do armazenamento, dependendo da amostra. Enquanto no caso da amostra de Ind Arom 3 não ocorre alteração dos parâmetros analisados, nas restantes amostras verifica-se um aumento dos valores dos parâmetros ao longo do tempo de armazenamento tenha ele sido de 6 meses ou no caso do Ind Arom 2 de 12 meses o comportamento mantém-se. Apesar do aumento dos valores dos dados reológicos verifica-se que no caso dos valores referentes às amostras armazenadas em película esse aumento dos valores é maioritariamente menos significativo comparando com o valor de t0, permitindo-nos concluir que para o caso das amostras de arroz basmati analisado seria melhor um armazenamento do arroz em película de modo a conservar as características reológicas do mesmo ao longo do tempo que estiver armazenado.

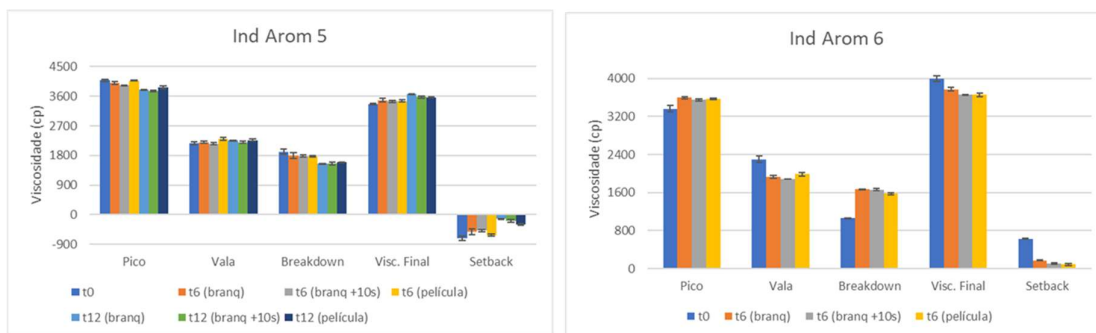


Figura 32 – Gráficos de RVA de duas amostras de arroz jasmim, para avaliação de parâmetros reológicos durante armazenamento de 6 ou 12 meses

No caso das amostras de arroz aromático jasmim (Figura 32), verificam-se dois comportamentos diferentes durante o tempo de armazenamento, isto porque, a evolução dos parâmetros é contrária entre eles. Primeiramente e atendendo aos dados referentes ao tempo 0 é possível verificar diferenças nos parâmetros de *breakdown* e *setback* das duas amostras de arroz, porque enquanto no Ind Arom 5 temos um *breakdown* elevado e um *setback* negativo, no Ind Arom 6 o valor de *breakdown* desce para cerca de metade e tem um *setback* positivo, sendo o Ind Arom 5 considerado um arroz de maior qualidade devido a estas características que o destacam.

Observado a evolução do comportamento reológico da amostra de Ind Arom 5, verifica-se uma tendência constante em todos os parâmetros quer de diminuição no caso do pico de viscosidade e do *breakdown*, quer de aumento no caso da viscosidade final e do *setback*, indicando estas alterações a perda de qualidade do produto. Para além do comportamento constante ao longo do armazenamento, é ainda possível verificar que existe alguma influência da forma de armazenamento pois os valores referentes à amostra de película demonstram uma alteração do comportamento mais lenta comparativamente com a amostra armazenada na forma de arroz branqueado, sendo por isso mais benéfico o armazenamento desta amostra na forma de película de modo a poder conservar as características durante mais tempo.

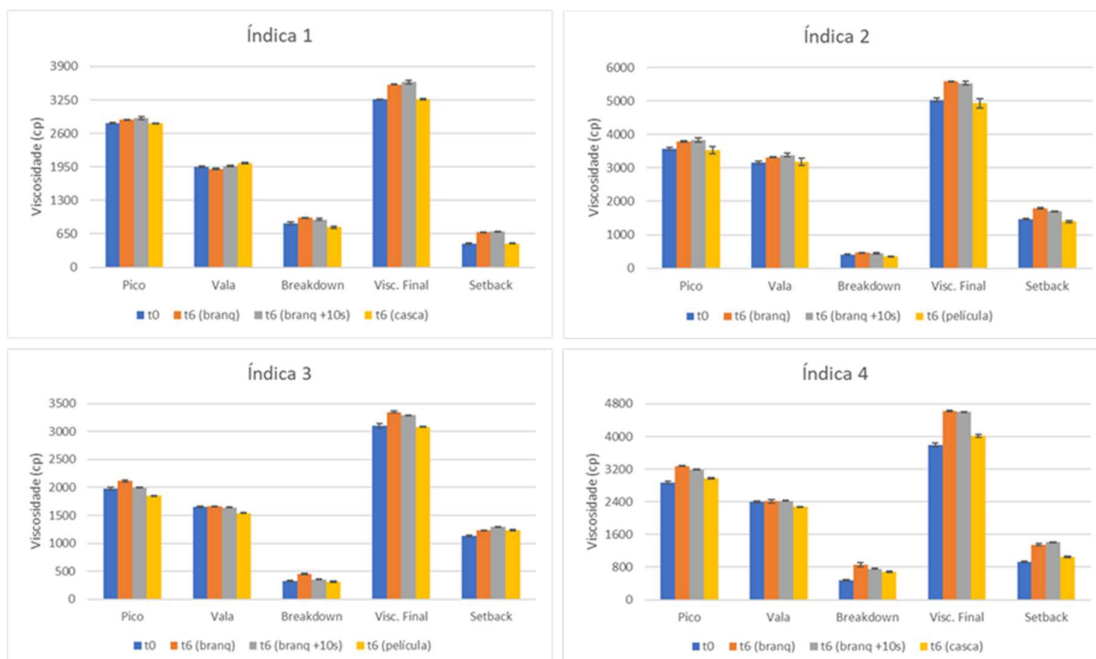


Figura 33 – Gráficos de RVA de quatro amostras de arroz agulha para avaliação dos parâmetros reológicos durante o armazenamento de 6 meses

No Ind Arom 6, o comportamento é oposto ao da outra amostra pois verifica-se um aumento do pico e do *breakdown* e uma diminuição nos restantes parâmetros, não se notando neste caso uma diferença relativa à forma de armazenamento. Esta amostra torna-se interessante devido ao facto de ser de um arroz de menor qualidade relativamente à outra amostra, no entanto, o seu comportamento durante o armazenamento confere-lhe valores mais próximos de um arroz de qualidade superior.

Das quatro amostras de arroz do tipo agulha analisadas durante o tempo de armazenamento (Figura 33), observa-se um comportamento idêntico das amostras, ou seja, embora os dados referentes a cada um dos parâmetros apresentarem valores diferentes, têm alterações semelhantes, nomeadamente um aumento dos valores em geral, por vezes mais acentuado nos parâmetros de pico, viscosidade final e *setback*. Destaca-se ainda que em todas as amostras o armazenamento na forma de casca ou de película permite uma maior conservação das características analisadas.

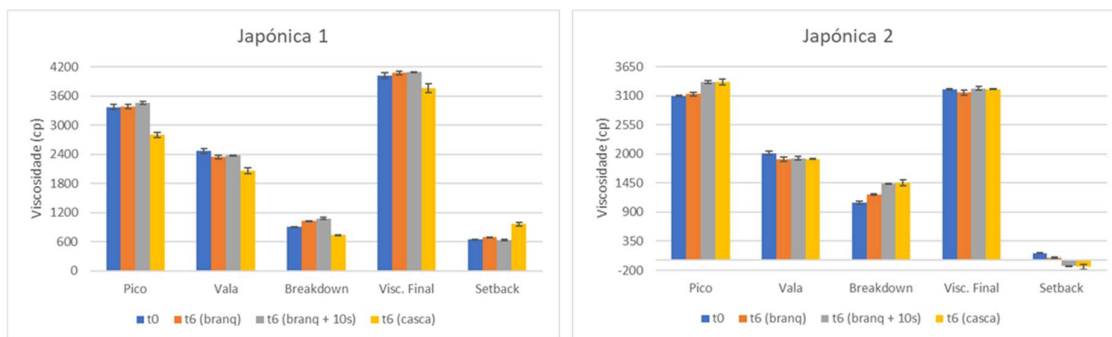


Figura 34 - Gráficos de RVA de duas amostras de arroz japónica, carolino e médio, respetivamente, para avaliação dos parâmetros reológicos durante o armazenamento de 6 meses

Relativamente às amostras de arroz da subespécie japónica analisadas (Figura 34), estas são de dois tipos de arroz diferentes, uma de arroz carolino (Japónica 1) e outra de arroz médio (Japónica 2), logo os seus comportamentos serão diferentes como verificado anteriormente. No caso do arroz carolino e ao contrário das amostras de armazenamento analisadas até então, verifica-se uma certa estabilidade no que toca ao arroz armazenado na forma de arroz branqueado e no caso do armazenamento em casca os valores de todos os parâmetros sofrem uma diminuição com exceção do *setback* que aumenta.

A amostra de arroz médio demonstra um comportamento diferente das outras amostras analisadas nomeadamente no comportamento do arroz armazenado em casca que apresenta valores semelhantes aos valores do arroz armazenado em branco que foi branqueado mais 10 segundos antes da análise, sendo depois ambos diferentes dos valores registados com o arroz em branco que se assemelha aos valores registados para o tempo 0. Assim, neste tipo de arroz o tipo de armazenamento que melhor conserva as características do mesmo é em branco, no entanto, no armazenamento em casca observa-se um aumento mais acentuado no pico e no *breakdown* e uma diminuição do *setback* para valores negativos, começando assim a aproximar-se de um comportamento característico de um arroz redondo.

3.4. Análise estatística

Após a análise detalhada das características individuais de cada amostra de arroz em estudo, foi necessário comparar todos os dados analisados e fazer uma análise conjunta dos mesmo por forma a avaliar a existência de relações entre os vários parâmetros em

estudo. Para tal, recorreu-se ao uso da plataforma MetaboAnalyst 5.0 que permitiu a realização de análise multivariada através da análise de PCA (Principal Component Analysis) e de Biplot, análise das correlações de Pearson (valores de $p < 0,05$ - Tabela A1, em anexo) e ainda a construção de um *heatmap* que permite uma análise global de todos os parâmetros analisados para cada uma das amostras.

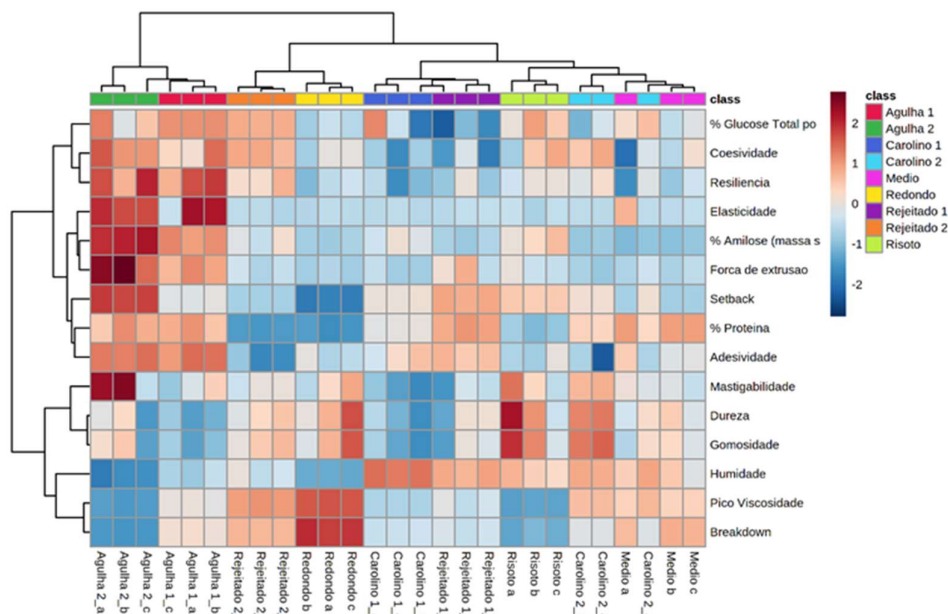


Figura 35 – Heatmap com os scores e loadings das nove amostras analisadas

O *heatmap* com dendogramas da Figura 35, permite várias análises, a do *heatmap* em si onde se encontram todos os resultados obtidos das amostras analisados para cada um dos parâmetros, tendo como escala de calor do azul-escuro ao vermelho-escuro representativo dos parâmetros onde se verificou os valores mais baixos e mais elevados, respetivamente entre as amostras analisadas. Os valores mais elevados registados nos parâmetros analisados encontram-se maioritariamente na parte esquerda do *heatmap*, correspondendo às amostras de arroz agulha, registando-se apenas nos parâmetros de viscosidade valores mais elevados para a amostra de arroz redondo e na dureza e gomosidade para o risoto. Relativamente aos valores mais baixos registados observa-se para o carolino 1 e rejeitado 1 nos parâmetros de % de glucose e coesividade.

Para além do heatmap estão também presentes dendogramas tanto para as amostras como para os parâmetros. Pelo dendograma das amostras verifica-se uma separação em

dois ramos, correspondentes ao arroz indica de um lado e japonica do outro, tendo-se observado também uma nova separação entre redondo e rejeitado2 com as restantes amostras japónicas. No dendograma dos parâmetros também existe uma separação de parâmetros nomeadamente entre parâmetros de TPA (dureza, gomosidade e mastigabilidade) e do pico de viscosidade, *breakdown* e humidade com os restantes parâmetros. Os parâmetros de força de extrusão, % de amilose e *setback* apresentam-se juntos bem como os parâmetros de *setback*, % proteína e adesividade.

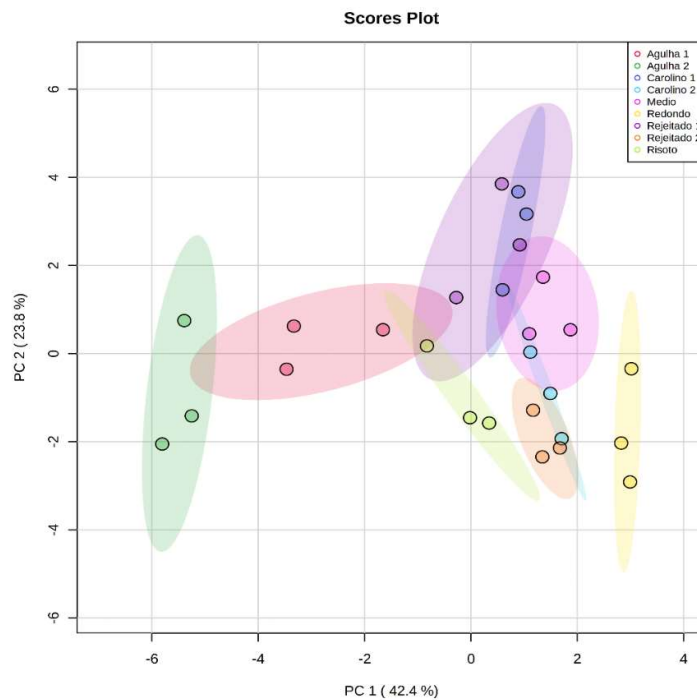


Figura 36 – Gráfico de scores de PCA das nove amostras de arroz em estudo

O PCA (Figura 36) apresenta a análise de correlação existente entre as amostras de arroz analisadas, tendo sido possível obter uma percentagem de perceção das correlações existentes de 66,2%. Ao longo do eixo de PC1, é possível identificar a separação das amostras entre o arroz da subespécie indica, que se encontra na parte negativa do eixo, e o arroz da subespécie japonica que se encontra maioritariamente na parte positiva do eixo. Além da separação por subespécies, verifica-se também uma separação da amostra de arroz redondo relativamente às restantes amostras de japonica.

Ao longo do eixo PC2, é possível identificar uma separação das amostras de arroz do tipo japonica, verificando-se que o arroz carolino 1, rejeitado 1 e médio se encontram

na parte positiva do eixo, enquanto o carolino 2, rejeitado 2, risoto e redondo se encontram na parte negativa do eixo.

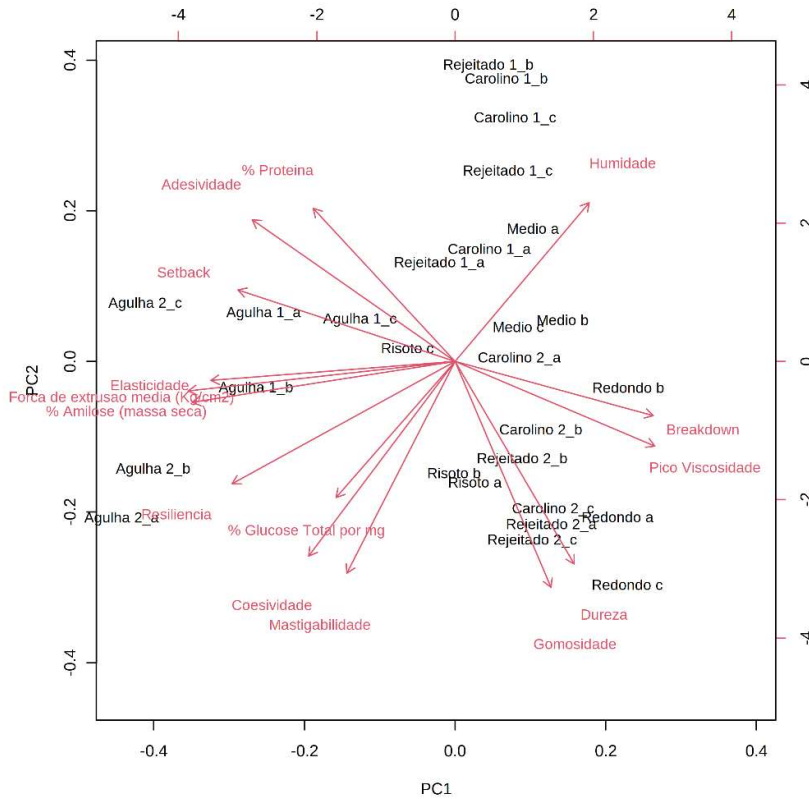


Figura 37 – Gráfico de scores e loudings de PCA relativo às nove amostras de arroz em estudo

Através da observação do *Biplot* (Figura 37) é possível identificar quais os parâmetros responsáveis pelas separações observadas na Figura 35 relativa às amostras. Assim, relativamente ao eixo PC1, os principais parâmetros da separação das amostras são a elasticidade, força de extrusão e % de amilose, bem como o setback e a resiliência, que levam à separação das amostras de arroz indica do arroz japonica. Por outro lado, os parâmetros de pico de viscosidade e breakdown demonstram ser os responsáveis pela separação do arroz redondo dos restantes japonicas. Assim, com o PCA e o Biplot, podemos afirmar que a elasticidade, força de extrusão e % de amilose tendem a apresentar diferenças suficientes para a existência de uma separação de amostras, sendo os parâmetros de viscosidade, pico e breakdown, influenciadores de uma separação do arroz redondo relativamente aos outros.

Relativamente à separação observada no PC2, identifica-se a humidade como o principal responsável pelo deslocamento das amostras de carolino 1, rejeitado 1 e médio, enquanto que, por outro lado existem outros dois parâmetros que são responsáveis pelas amostras contidas na parte negativa do eixo, que são a dureza e a gomosidade. Pela conjugação das Figuras 36 e 37 é possível afirmar que dentro de amostras do tipo japónica a humidade, dureza e gomosidade são responsáveis pela diferenciação das amostras.

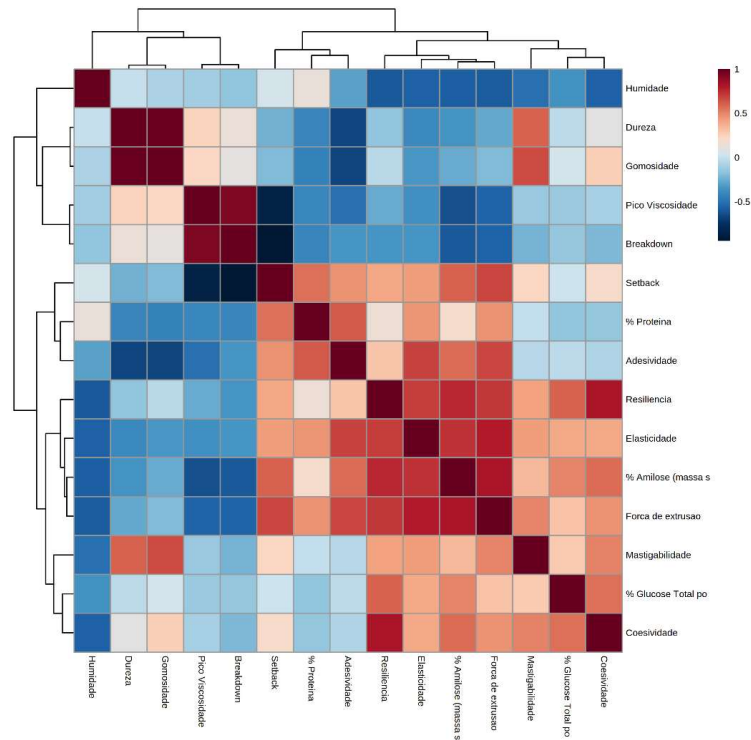


Figura 38 – Gráfico das correlações de Pearson, entre os parâmetros analisados

Através da análise do gráfico das correlações de Pearson é possível observar quais são as correlações mais fortes existentes entre os parâmetros de análise, as quais merecem mais atenção pois atendendo também ao valor de p (Tabela A18, em anexo) dessas mesmas correlações se pode identificar grande relevância estatística. Neste gráfico, é possível ver nas laterais do mesmo a forma como os parâmetros interagem entre si ao nível das correlações, sendo assim agrupados pela plataforma de análise estatística.

Com a escala de cores do vermelho escuro (correlações positivas) ao azul escuro (correlações negativas), conclui-se que as correlações mais fortes e significativas (atendendo aos valores de $p < 0,05$ – Tabela A18, em anexo) são os parâmetros dureza e

gomosidade, os parâmetros pico de viscosidade e *breakdown*, sendo ambas correlacionadas positivamente, isto é, o aumento de um parâmetro leva ao aumento do outro. Por outro lado, o pico de viscosidade e *breakdown* estão correlacionados negativamente com o *setback* (Figura 38).

Existem, também, outras correlações significativas ($p < 0,05$), nomeadamente entre os parâmetros da resiliência e da coesividade, demonstrando assim uma relação entre o limite de deformação da amostra e a sua capacidade regenerativa. Esta capacidade regenerativa (resiliência), está também correlacionada positivamente com a capacidade elástica, a força de extrusão e o teor de amilose. Deste modo, é possível afirmar que a quantidade de amilose presente numa amostra de arroz vai ter influência direta na resistência à extrusão, na elasticidade e na capacidade de voltar à forma original depois de deformada, devido à maior estabilidade estrutural conferida pelas cadeias de amilose. São também significativas (Tabela A18, em anexo) as correlações existentes entre a adesividade e a dureza e a gomosidade, entre o *setback* e o teor de amilose, bem como entre o teor de amilose com o pico de viscosidade e o *breakdown*.

3.5. Experiências de extrusão e expansão

Visto que a farinha de arroz tem potencial para o desenvolvimento de produtos obtidos por extrusão, tendo por base o teor elevado de amilose, foi selecionado o arroz agulha 2 como matéria-prima ao desenvolvimento de um produto mais leve e crocante, devido às suas características particularmente devido ao elevado teor de amilose.

A Figura 39 mostra o produto obtido desta extrusão de farinha de arroz com 15% de humidade. Tal como se pode verificar, este produto apresenta um interior com várias bolsas de ar (Figura 40) que demonstram a ocorrência da extrusão e que conferem a crocância, no entanto o produto obtido apresentava uma grande rigidez. Deste modo seria necessário otimizar as condições de extrusão bem como o teor de humidade da amostra por forma a obter um produto menos rígido.



Figura 39 – Saída do produto extrudido do equipamento de extrusão



Figura 40 – Produto obtido da extrusão de farinha de arroz

Para além da realização de ensaios de extrusão foram também realizados outros ensaios de expansão de modo a obter um produto expandido, utilizando a técnica de micro-ondas.



Figura 41 – Pasta de farinha de arroz depois de tomar forma e antes de ir ao micro-ondas

Para que ocorra a formação de um puf, isto é, uma expansão, é necessário que a pasta de farinha de arroz quando vai ao micro-ondas tenha um interior com humidade que lhe permita expandir aquando do aumento da pressão, promovida pela saída de água pela crosta envolvente que previna a saída de água de forma gradual, de modo a contribuir para a criação de pressão no interior durante o aquecimento ⁽⁵⁴⁻⁵⁶⁾. Para a criação dessa crosta foram realizadas várias experiências por forma a obter o produto pretendido, nomeadamente a secagem da pasta ao ar, secagem em estufa, envolvimento em etanol e envolvimento em caramelo (Figura 40).



Figura 42 – Produtos obtidos da expansão em micro-ondas

O resultado final do produto (Figura 41) mostrou a incorporação de ar no interior do mesmo, tal como pretendido sendo que o seu tamanho em pouco se alterou em relação ao volume inicial, criando assim um produto crocante devido ao baixo teor de água e à incorporação de algum ar no seu interior. Entre as várias técnicas utilizadas para a criação da crosta exterior da pasta de arroz, a secagem ao ar e o uso de etanol demonstraram ter uma maior eficácia, no entanto, é essencial a otimização deste processo.

4. Conclusões

As amostras de arroz agulha apresentam grãos mais compridos e estreitos em comparação com as outras amostras da subespécie japónica. Na análise de teor de proteína, os valores são relativamente semelhantes de cerca de 7/8 %, sendo a amostra de arroz médio a que apresentou o valor mais elevado, tendo-se registado valores mais baixos de cerca de 5% para o arroz redondo, risoto e rejeitado 2. Os teores de glucose das amostras são todos semelhantes entre si, apresentando todas valores superiores a 78% por mg de amostra, relacionadas com a presença de amilose e amilopectina. O arroz do tipo agulha apresenta percentagens de amilose superiores a 25%, ao contrário, das restantes amostras, que apresentam valores inferiores a 23% tendo sido o valor mínimo registado de 19% para a variedade de arroz médio.

Na avaliação da força de extrusão identificou-se uma maior força realizada nas amostras de arroz do tipo agulha, comparativamente às restantes amostras que mantiveram valores muito próximos. Com o teste de TPA verificou-se para o arroz agulha uma maior resiliência, maior capacidade elástica, bem como valores mais baixos registados para a

adesividade dos grãos, estando estas características relacionadas com a maior presença de amilose, que interage com a amilopectina através de pontes de hidrogénio. A maior estruturação do grânulo impede uma maior entrada de água, conferindo maior resistência e uma capacidade de regeneração após deformação mais elevada. A influência do teor de amilose nas características reológicas abrange também o perfil de viscosidade onde se observa que a amostra de agulha 2, com maior teor de amilose, regista um pico de viscosidade mais reduzido devido à menor captação de água pelas estruturas, que diminui a desintegração dos grânulos observada através de um valor de *breakdown* mais baixo. Verifica-se também a sua capacidade de reorganização aquando do arrefecimento registada por um valor de *setback* mais elevado. O arroz do tipo redondo apresenta neste perfil de viscosidade um comportamento oposto ao do agulha 2, registando assim uma maior viscosidade, maior desintegração e menor capacidade de reorganização.

Na avaliação do impacto do armazenamento do arroz nas suas características reológicas foram registadas alterações nos parâmetros de análise ao longo do armazenamento que mostram a deterioração das características do arroz. No entanto essas alterações podem ser minimizadas através do armazenamento em casca ou película, consoante a amostra. No caso das amostras de arroz japonica, tanto de carolino como de médio verifica-se que a forma de armazenamento que permite reduzir a modificação dos parâmetros de análise é na forma de arroz já branqueado.

Os ensaios de extrusão e de expansão em micro-ondas utilizando o arroz agulha 2, devido às suas características, nomeadamente alto teor de amilose, permitiu obter um produto tanto por extrusão em formato espiral, que apresentava alguma rigidez, como por expansão em micro-ondas, onde se observou uma incorporação de ar, embora sem um aumento do tamanho.

Em conclusão, verificou-se para o arroz agulha (indica) a existência de correlações entre o teor de amilose e a maior resistência à deformação, maior elasticidade e viscosidade mais baixa, comparativamente ao arroz da subespécie japonica. O arroz da subespécie japonica apresentam um teor mais baixo de amilose, tendo tendência a incorporar mais água, com uma maior extensão da degradação dos grânulos e aumento da viscosidade. Este amido é menos resistente a deformações e apresenta maior adesão entre os grânulos.

Como trabalhos futuros sugere-se um maior desenvolvimento dos ensaios de extrusão, avaliando a influência da percentagem de água na rigidez do produto, e dos ensaios de expansão em micro-ondas utilizando outras técnicas para a formação de uma crosta mais resistente que ajude na criação de uma maior pressão no interior da pasta de arroz para a formação de um puf. Num conceito de economia circular, sugere-se ainda, a utilização de farinha de arroz dos rejeitados nestes ensaios, de modo a dar uma nova utilidade a este tipo de arroz, que revelou parâmetros físico-químicos e reológicos semelhantes ao arroz que é comercializado. Para o desenvolvimento de novos produtos seria também interessante a incorporação de proteína, e de novos sabores utilizando produtos naturais, como por exemplo, fruta ou vegetais que são produtos nutricionalmente apelativos.

5. Referências

1. Statista, Principal rice importing countries worldwide in 2019/2020 - acessado a 2/01/2021 em <https://www.statista.com/statistics/255948/top-rice-exporting-countries-worldwide-2011/>
2. Statista, Rice consumption worldwide in 2019/2020, by country (in 1,000 metric tons) acessado a 2/01/2021 em <https://www.statista.com/statistics/255971/top-countries-based-on-rice-consumption-2012-2013/~>
3. Statista, Worldwide production of grain in 2019/20, by type - acessado a 2/01/2021 em <https://www.statista.com/statistics/263977/world-grain-production-by-type/>
4. Statista, Principal rice exporting countries worldwide in 2018/2019 - acessado a 2/01/2021 em <https://www.statista.com/statistics/255947/top-rice-exporting-countries-worldwide-2011/>
5. Novarroz – Produtos Alimentares S.A. acessado a 13/12/2020 em <https://www.novarroz.pt/pt/quem-somos>
6. Khush, Gurdev S. (1997). Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. *Plant Molecular Biology* 35: 25-34
7. Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., & Blanchard, C. (2002). Composition and functional properties of rice. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(8), 849–868. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00625.x>
8. Saunders, R. M. (1985). Rice bran: Composition and potential food uses. In *Food Reviews International* (Vol. 1, Issue 3). <https://doi.org/10.1080/87559128509540780>
9. Walter, M., Marchezan, E., & Avila, L. A. de. (2008). Arroz: composição e características nutricionais. *Ciência Rural*, 38(4), 1184–1192. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782008000400049>
10. Salanti, A., Zoia, L., Orlandi, M., Zanini, F., & Elegir, G. (2010). Structural characterization and antioxidant activity evaluation of lignins from rice husk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(18), 10049–10055. <https://doi.org/10.1021/jf102188k>
11. Dai, X. J., Yang, Y. Z., Zhou, L., Ou, L. J., Liang, M. Z., Li, W. J., Kang, G. P., & Chen, L. B. (2012). Analysis of indica- and japonica-specific markers of *Oryza sativa* and their applications. *Plant Systematics and Evolution*, 298(2), 287–296. <https://doi.org/10.1007/s00606-011-0543-y>
12. B. O. Juliano, «Rice starch production, properties, and uses», em *Starch*, 2.a ed., R. L. Whistler, J. N. BeMiller, e E. F. Paschall, Eds. Academic Press, Inc., 1984, 88 pp.507-528
13. PortFIR – arroz integral cru, acessado a 27/12/2020 em <http://portfir.insa.pt/foodcomp/food?20813>
14. PortFIR – arroz agulha cru, acessado a 27/12/2020 em <http://portfir.insa.pt/foodcomp/food?21166>
15. Heinemann, R. J. B., Fagundes, P. L., Pinto, E. A., Penteado, M. V. C., & Lanfer-Marquez, U. M. (2005). Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(4), 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.07.005>
16. Kennedy, G., & Burlingame, B. (2003). Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. *Food Chemistry*, 80(4), 589–596. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00507-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00507-1)
17. Zhao, Q., Xue, Y., & Shen, Q. (2020). Changes in the major aroma-active compounds and taste components of Jasmine rice during storage. *Food Research International*, 133(17), 109160. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109160>
18. Bhattarjee, P., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2002). Basmati rice: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(1), 1–12. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00541.x>
19. Bao, J. (2018). Rice starch. In *Rice: Chemistry and Technology*. AACCI. Published by Elsevier Inc. in cooperation with AACCI International. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00003-4>
20. Martin, C., & Smith, A. M. (1995). Starch biosynthesis. *Plant Cell*, 7(7), 971–985. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.971>
21. Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., & Blanchard, C. (2002). Ageing of stored rice: Changes in chemical and physical attributes. *Journal of Cereal Science*, 35(1), 65–78. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0418>
22. Liu, L., Waters, D. L. E., Rose, T. J., Bao, J., & King, G. J. (2013). Phospholipids in rice: Significance in grain quality and health benefits: A review. *Food Chemistry*, 139(1–4), 1133–1145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.046>
23. Palmiano, E. P., & Juliano, B. O. (1972). Biochemical Changes in the Rice Grain during Germination. *Plant Physiology*, 49(5), 751–756. <https://doi.org/10.1104/pp.49.5.751>

24. Decreto de Lei nº 157/2017 de 28 de dezembro da Constituição da República Portuguesa
25. Thymi, S., Krokida, M. K., Pappa, A., & Maroulis, Z. B. (2005). Structural properties of extruded corn starch. *Journal of Food Engineering*, 68(4), 519–526. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.07.002>
26. Grasso, S. (2020). Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 99, 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.012>
27. Potter, R., Stojceska, V., & Plunkett, A. (2013). The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. *LWT - Food Science and Technology*, 51(2), 537–544. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.015>
28. Riaz, M. N. (2005). Extruded snacks. *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering - 4 Volume Set*, 2941–2948. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1477-6_7
29. PORTUGAL. Diário da República. (2017). *Decreto-Lei n.º 157/2017 de 28 de dezembro do Ministério da Agricultura, Florestas e Desenvolvimento Rural*. <https://dre.pt/application/conteudo/114420282>
30. FAO, & WHO. (1996). CODEX standard for rice: CODEX stan 198-1995. *Codex Alimentarius*, 53–60.
31. Selvendran, R. R., March, J. F., & Ring, S. G. (1979). Determination of aldoses and uronic acid content of vegetable fiber. *Analytical Biochemistry*, 96(2), 282–292. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(79\)90583-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(79)90583-9)
32. Coimbra, M. A., Delgadillo, I., Waldron, K. W., & Selvendran, R. R. (1996). *Isolation and Analysis of Cell Wall Polymers from Olive Pulp*. 17, 19–44. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60989-3_2
33. Schaffner, W., & Weissmann, C. (1973). A rapid, sensitive, and specific method for the determination of protein in dilute solution. *Analytical Biochemistry*, 56(2), 502–514. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(73\)90217-0](https://doi.org/10.1016/0003-2697(73)90217-0)
34. Pascal, G. (1992). Methods of evaluation. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 176(8). <https://doi.org/10.4324/9781315645728-17>
35. Zhao, C., Xie, J., Li, L., & Cao, C. (2017). Comparative Transcriptomic Analysis in Paddy Rice under Storage and Identification of Differentially Regulated Genes in Response to High Temperature and Humidity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(37), 8145–8153. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03901>
36. Denardin, C. C., & da Silva, L. P. (2009). Starch granules structure and its regards with physicochemical properties. *Ciencia Rural*, 39(3), 945–954. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782009005000003>
37. Minden, L., & Henser, N. (2003). *sich nicht an erotischen Inhalten stören !* 81, 1–31.
38. Deffenbaugh, L. B., & Walker, C. E. (1989). Comparison of Starch Pasting Properties in the Brabender Viscoamylograph and the Rapid Visco-Analyzer. In *Cereal chemistry* (Vol. 66, Issue 6, pp. 493–499).
39. Viscoelasticity, U., Through, P., Cuevas, R. P. O., Takhar, P. S., & Sreenivasulu, N. (n.d.). *Chapter 9 Characterization of Mechanical Texture Attributes of Cooked Milled Rice by Texture Profile Analyses*. 1892, 151–167. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8914-0>
40. Li, H., Prakash, S., Nicholson, T. M., Fitzgerald, M. A., & Gilbert, R. G. (2016). The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains. *Food Chemistry*, 196, 702–711. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.112>
41. Li, H., & Gilbert, R. G. (2018). Starch molecular structure: The basis for an improved understanding of cooked rice texture. *Carbohydrate Polymers*, 195(December 2017), 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.065>
42. Lyon, B. G., Champagne, E. T., Vinyard, B. T., & Windham, W. R. (2000). Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices. *Cereal Chemistry*, 77(1), 64–69. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.1.64>
43. Pasqualone, A., Costantini, M., Coldea, T. E., & Summo, C. (2020). Use of Legumes in Extrusion Cooking: A Review. *Foods*, 9(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/foods9070958>
44. *Iso 11747*. (n.d.).
45. *Rice – Determination of SEC Amylose Content – Part 2: Spectrophotometric method with rice standard calibrated by size exclusion chromatography*. (2018).
46. Smanalieva, J., Salieva, K., Borkoev, B., Windhab, E. J., & Fischer, P. (2015). Investigation of changes in chemical composition and rheological properties of Kyrgyz rice cultivars (Ozgon rice)

- depending on long-term stack-storage after harvesting. *Lwt*, 63(1), 626–632. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.045>
47. Hartiningsih, S., Pranoto, Y., & Supriyanto. (2020). Structural and rheological properties of modified sago starch (Metroxylon sagu) using treatment of steam explosion followed by acid-hydrolyzed as an alternative to produce maltodextrin. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1231–1242. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1792923>
 48. Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B. K., & Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 893–902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
 49. Li, X., Masatcioglu, M. T., & Koxsel, F. (2019). Physical and functional properties of wheat flour extrudates produced by nitrogen injection assisted extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 89(March), 102811. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102811>
 50. Ferreira, S. M., Capriles, V. D., & Conti-Silva, A. C. (2021). Breakfast cereals with inulin obtained through thermoplastic extrusion: Chemical characteristics and physical and technological properties. *Lwt*, 137(October), 110390. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110390>
 51. Dalbhagat, C. G., Mahato, D. K., & Mishra, H. N. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 85, 226–240. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>
 52. Dalbhagat, C. G., Mahato, D. K., & Mishra, H. N. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 85, 226–240. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>
 53. Jiangping, Y., Xiuting, H., Shunjing, L., Wei, L., Jun, C., Zhiru, Z., & Chengmei, L. (2017). Properties of starch after extrusion: A review † Jiangping Ye. *Starch - Stärke*, 1–35.
 54. Pompe, R., Briesen, H., & Datta, A. K. (2020). Understanding puffing in a domestic microwave oven. *Journal of Food Process Engineering*, 43(7). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13429>
 55. Jiamjariyatam, R. (2016). Development of ready-to-eat rice starch-based puffed products by coupling freeze-drying and microwave. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(2), 444–452. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12989>
 56. Chudy, S., Makowska, A., Piątek, M., & Krzywdzińska-Bartkowiak, M. (2019). Application of microwave vacuum drying for snack production: Characteristics of pure cheese puffs. *International Journal of Dairy Technology*, 72(1), 82–88. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12562>

6. Anexos

Tabela A1 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de teor de humidade (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 1,510E-04 | 8,409E-05 | 5,264E-06 | 0,02837 | 1,414E-07 | 0,003868 | 0,001514 | 4,552E-04 |
| Carolino 2 | | | 2,425E-04 | 9,632E-06 | 0,09239 | 1,081E-07 | 0,1127 | 0,7333 | 0,01620 |
| Agulha 1 | | | | 0,002252 | 0,01572 | 0,03493 | 0,003895 | 3,806E-04 | 0,1097 |
| Agulha 2 | | | | | 7,876E-04 | 0,008998 | 2,161E-04 | 1,941E-05 | 0,001197 |
| Médio | | | | | | 0,01534 | 0,4494 | 0,04999 | 0,09820 |
| Redondo | | | | | | | 0,006414 | 4,625E-06 | 0,02076 |
| Risoto | | | | | | | | 0,08091 | 0,02462 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,002499 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A2 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de teor de proteína (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|---------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,02209 | 0,08303 | 0,1197 | 0,001553 | 0,005405 | 0,03290 | 0,01319 | 0,001515 |
| Carolino 2 | | | 0,2293 | 0,3026 | 0,005836 | 0,003457 | 0,01558 | 0,03857 | 0,001085 |
| Agulha 1 | | | | 0,9925 | 0,6631 | 0,01457 | 0,03035 | 0,7129 | 0,01372 |
| Agulha 2 | | | | | 0,7118 | 0,02122 | 0,04199 | 0,7505 | 0,02074 |
| Médio | | | | | | 0,02536 | 0,05123 | 0,8072 | 2,223E-04 |
| Redondo | | | | | | | 0,07746 | 0,003576 | 0,6345 |
| Risoto | | | | | | | | 0,01007 | 0,07076 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,002271 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A3 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de teor de açúcares (glucose) (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|----------|---------|---------|--------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,9632 | 0,5188 | 0,6462 | 0,9016 | 0,8951 | 0,6515 | 0,5122 | 0,5885 |
| Carolino 2 | | | 0,3620 | 0,5408 | 0,9030 | 0,7511 | 0,5254 | 0,3162 | 0,4341 |
| Agulha 1 | | | | 0,5711 | 0,06956 | 0,01320 | 0,4249 | 0,1355 | 0,01433 |
| Agulha 2 | | | | | 0,4686 | 0,2536 | 0,9539 | 0,1363 | 0,7424 |
| Médio | | | | | | 0,3695 | 0,3970 | 0,1569 | 0,1114 |
| Redondo | | | | | | | 0,1708 | 0,2294 | 0,01938 |
| Risoto | | | | | | | | 0,1062 | 0,5779 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,05400 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A4 – Tabela de *p*-value do teste t-student para os valores de teor de amilose (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 1,380E-04 | 3,632E-08 | 1,312E-10 | 2,453E-06 | 4,132E-04 | 0,002377 | 9,890E-05 | 0,5418 |
| Carolino 2 | | | 9,109E-13 | 9,927E-15 | 0,03363 | 0,003864 | 1,684E-05 | 0,001602 | 2,528E-04 |
| Agulha 1 | | | | 4,667E-09 | 1,613E-12 | 1,580E-12 | 5,406E-06 | 7,536E-12 | 2,704E-07 |
| Agulha 2 | | | | | 2,301E-14 | 1,376E-14 | 3,080E-09 | 6,852E-14 | 8,371E-10 |
| Médio | | | | | | 2,277E-04 | 7,957E-08 | 1,515E-04 | 9,138E-05 |
| Redondo | | | | | | | 3,295E-05 | 0,2269 | 6,370E-04 |
| Risoto | | | | | | | | 8,326E-07 | 0,01147 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 7,475E-04 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A5 – Tabela de *p*-value do teste t-student para os valores de força de extrusão (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,8390 | 8,671E-04 | 0,002178 | 0,6878 | 0,8009 | 0,09588 | 0,09196 | 0,2206 |
| Carolino 2 | | | 0,001699 | 0,002591 | 0,9413 | 0,6717 | 0,1660 | 0,1135 | 0,3979 |
| Agulha 1 | | | | 0,03767 | 5,197E-04 | 4,122E-04 | 0,004265 | 0,1193 | 0,001210 |
| Agulha 2 | | | | | 0,01741 | 0,01647 | 0,004218 | 0,01866 | 0,002788 |
| Médio | | | | | | 0,3309 | 0,09368 | 0,1605 | 0,2264 |
| Redondo | | | | | | | 0,05140 | 0,1354 | 0,08885 |
| Risoto | | | | | | | | 0,3318 | 0,3397 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,1710 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A6 – Tabela de *p*-value do teste t-student para os valores de dureza (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|----------|---------|---------|---------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,01038 | 0,9509 | 0,3253 | 0,04326 | 0,02856 | 0,06105 | 0,2526 | 0,01983 |
| Carolino 2 | | | 0,005546 | 0,1033 | 0,08400 | 0,8627 | 0,9437 | 0,09109 | 0,1584 |
| Agulha 1 | | | | 0,2784 | 0,01839 | 0,02042 | 0,05234 | 0,2031 | 0,007043 |
| Agulha 2 | | | | | 0,5296 | 0,1681 | 0,2057 | 0,9435 | 0,3193 |
| Médio | | | | | | 0,2046 | 0,2756 | 0,5425 | 0,4617 |
| Redondo | | | | | | | 0,8581 | 0,1603 | 0,3445 |
| Risoto | | | | | | | | 0,2049 | 0,3958 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,3071 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A7 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de gomosidade (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|----------|---------|---------|---------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,01054 | 0,6667 | 0,2036 | 0,05116 | 0,02988 | 0,03625 | 0,2755 | 0,01033 |
| Carolino 2 | | | 0,009502 | 0,1562 | 0,07106 | 0,6875 | 0,9498 | 0,06229 | 0,2336 |
| Agulha 1 | | | | 0,2474 | 0,04796 | 0,03122 | 0,03923 | 0,3498 | 0,006636 |
| Agulha 2 | | | | | 0,9224 | 0,2883 | 0,2435 | 0,6926 | 0,3868 |
| Médio | | | | | | 0,1995 | 0,1813 | 0,5057 | 0,1832 |
| Redondo | | | | | | | 0,7917 | 0,1381 | 0,5613 |
| Risoto | | | | | | | | 0,1285 | 0,4352 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,1390 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A8 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de adesividade (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,08387 | 0,01992 | 0,01311 | 0,7799 | 0,1497 | 0,1338 | 0,1884 | 0,01274 |
| Carolino 2 | | | 0,01123 | 0,04220 | 0,08965 | 0,2314 | 0,2894 | 0,07594 | 0,7487 |
| Agulha 1 | | | | 0,8044 | 0,006713 | 0,001787 | 0,002746 | 0,01193 | 7,609E-04 |
| Agulha 2 | | | | | 0,003396 | 0,0008683 | 0,001654 | 0,001642 | 4,998E-04 |
| Médio | | | | | | 0,1496 | 0,1363 | 0,06238 | 0,009970 |
| Redondo | | | | | | | 0,7835 | 0,007394 | 0,03350 |
| Risoto | | | | | | | | 0,01123 | 0,05669 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,001730 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A9 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de coesividade (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|----------|---------|----------|---------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,02462 | 0,02460 | 0,002682 | 0,7277 | 0,1358 | 0,09245 | 0,8337 | 0,003865 |
| Carolino 2 | | | 0,6842 | 0,07917 | 0,1410 | 0,1357 | 0,7043 | 0,04153 | 0,3295 |
| Agulha 1 | | | | 0,2203 | 0,1124 | 0,1074 | 0,5100 | 0,03698 | 0,7531 |
| Agulha 2 | | | | | 0,03064 | 0,008049 | 0,1102 | 0,007491 | 0,07082 |
| Médio | | | | | | 0,4996 | 0,2653 | 0,6473 | 0,1180 |
| Redondo | | | | | | | 0,4050 | 0,1751 | 0,01615 |
| Risoto | | | | | | | | 0,1069 | 0,3560 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,04635 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A10 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de resiliência (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|---------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,04247 | 0,005731 | 0,005685 | 0,7336 | 0,3523 | 0,04796 | 0,3146 | 0,01592 |
| Carolino 2 | | | 0,01427 | 0,01409 | 0,06885 | 0,07910 | 0,7574 | 0,1586 | 0,1059 |
| Agulha 1 | | | | 0,9875 | 0,007294 | 0,006489 | 0,01188 | 0,009882 | 0,04732 |
| Agulha 2 | | | | | 0,007230 | 0,006429 | 0,01173 | 0,009783 | 0,04650 |
| Médio | | | | | | 0,5619 | 0,07911 | 0,4886 | 0,02341 |
| Redondo | | | | | | | 0,09434 | 0,8421 | 0,02000 |
| Risoto | | | | | | | | 0,1901 | 0,06893 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,04088 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A11 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de elasticidade (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|-----------|---------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,3169 | 0,1616 | 1,814E-05 | 0,3170 | 0,9550 | 0,7977 | 0,2794 | 0,8903 |
| Carolino 2 | | | 0,1659 | 1,828E-05 | 0,3984 | 0,4187 | 0,9408 | 0,6251 | 0,4359 |
| Agulha 1 | | | | 0,6800 | 0,2099 | 0,1612 | 0,1638 | 0,1687 | 0,1605 |
| Agulha 2 | | | | | 0,01111 | 2,076E-05 | 5,904E-05 | 2,335E-05 | 2,296E-05 |
| Médio | | | | | | 0,3689 | 0,3498 | 0,4177 | 0,3652 |
| Redondo | | | | | | | 0,7867 | 0,3277 | 0,9377 |
| Risoto | | | | | | | | 0,7829 | 0,7602 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,3382 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A12 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de mastigabilidade (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|----------|---------|---------|---------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,009336 | 0,06222 | 0,04694 | 0,01193 | 0,03249 | 0,04065 | 0,2636 | 0,008467 |
| Carolino 2 | | | 0,2438 | 0,3679 | 0,1510 | 0,6448 | 0,9413 | 0,07072 | 0,1740 |
| Agulha 1 | | | | 0,1777 | 0,9005 | 0,5119 | 0,4013 | 0,3702 | 0,7909 |
| Agulha 2 | | | | | 0,2298 | 0,2885 | 0,3852 | 0,09793 | 0,2420 |
| Médio | | | | | | 0,4756 | 0,3719 | 0,2227 | 0,7827 |
| Redondo | | | | | | | 0,7729 | 0,1714 | 0,5413 |
| Risoto | | | | | | | | 0,1548 | 0,4143 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,1813 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A13 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de pico de viscosidade (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,001115 | 8,729E-03 | 2,561E-03 | 2,282E-04 | 1,105E-04 | 0,001794 | 0,3249 | 7,492E-04 |
| Carolino 2 | | | 0,01191 | 7,894E-04 | 0,02798 | 2,757E-03 | 6,874E-04 | 0,04754 | 0,03121 |
| Agulha 1 | | | | 0,002566 | 0,02282 | 0,001580 | 0,002502 | 0,3437 | 0,005364 |
| Agulha 2 | | | | | 5,331E-04 | 2,254E-04 | 0,2507 | 0,03275 | 6,039E-04 |
| Médio | | | | | | 0,0005338 | 3,620E-04 | 0,08510 | 0,005922 |
| Redondo | | | | | | | 1,613E-04 | 0,01214 | 0,007281 |
| Risoto | | | | | | | | 0,03691 | 5,251E-04 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,02626 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A14 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de vala (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|----------|---------|----------|----------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,002029 | 0,007675 | 0,04191 | 0,01990 | 0,005350 | 0,03294 | 0,1556 | 0,002703 |
| Carolino 2 | | | 0,001771 | 0,001771 | 0,01029 | 0,1876 | 0,002023 | 0,03396 | 0,2518 |
| Agulha 1 | | | | 0,004990 | 0,3514 | 0,01305 | 0,006252 | 0,9326 | 0,006448 |
| Agulha 2 | | | | | 0,01179 | 0,004262 | 0,2218 | 0,08375 | 0,002281 |
| Médio | | | | | | 0,02457 | 0,01102 | 0,6310 | 0,01484 |
| Redondo | | | | | | | 0,004292 | 0,05707 | 0,5859 |
| Risoto | | | | | | | | 0,06535 | 0,002535 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,04516 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A15 – Tabela de p -value do teste t-student para os valores de breakdown (assinalado a verde os valores de $p < 0,05$, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,01572 | 0,01834 | 0,001089 | 0,005582 | 0,001626 | 0,02430 | 0,6342 | 8,508E-04 |
| Carolino 2 | | | 0,05340 | 3,208E-04 | 0,008165 | 0,001859 | 0,01395 | 0,2194 | 3,464E-04 |
| Agulha 1 | | | | 0,001752 | 0,02800 | 0,003797 | 0,01113 | 0,06516 | 0,01316 |
| Agulha 2 | | | | | 0,001324 | 6,998E-04 | 0,1479 | 0,008168 | 1,293E-04 |
| Médio | | | | | | 0,009978 | 0,005885 | 0,01505 | 0,7812 |
| Redondo | | | | | | | 0,002460 | 0,003756 | 0,005426 |
| Risoto | | | | | | | | 0,03317 | 0,004426 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,01035 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A16 – Tabela de *p*-value do teste t-student para os valores de viscosidade final (assinalado a verde os valores de *p*<0,05, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 8,705E-04 | 0,004949 | 0,03874 | 0,003515 | 0,003248 | 0,002041 | 0,06696 | 0,001935 |
| Carolino 2 | | | 0,003643 | 0,005716 | 0,002957 | 0,04430 | 4,407E-04 | 0,1965 | 0,0860 |
| Agulha 1 | | | | 0,1268 | 0,9077 | 0,01667 | 0,001331 | 0,2851 | 0,008746 |
| Agulha 2 | | | | | 0,1247 | 0,01564 | 0,007842 | 0,1622 | 0,01017 |
| Médio | | | | | | 0,01473 | 8,649E-04 | 0,2783 | 0,007523 |
| Redondo | | | | | | | 0,001555 | 0,5952 | 0,2546 |
| Risoto | | | | | | | | 0,1157 | 9,603E-04 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,3821 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A17 – Tabela de *p*-value do teste t-student para os valores de setback (assinalado a verde os valores de *p*<0,05, demonstrando diferenças significativas)

| | Carolino 1 | Carolino 2 | Agulha 1 | Agulha 2 | Médio | Redondo | Risoto | Rejeitado 1 | Rejeitado 2 |
|-------------|------------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Carolino 1 | | 0,1448 | 0,09390 | 0,001012 | 0,002082 | 0,001076 | 0,01128 | 0,005912 | 0,001735 |
| Carolino 2 | | | 0,03080 | 7,954E-04 | 5,830E-04 | 7,661E-04 | 0,009687 | 0,005650 | 2,167E-04 |
| Agulha 1 | | | | 0,001030 | 0,004769 | 0,001491 | 0,007940 | 0,004848 | 0,004410 |
| Agulha 2 | | | | | 3,713E-04 | 3,723E-04 | 0,001748 | 0,005803 | 3,331E-04 |
| Médio | | | | | | 0,002627 | 8,952E-04 | 0,001264 | 0,3033 |
| Redondo | | | | | | | 7,212E-04 | 7,932E-04 | 0,002280 |
| Risoto | | | | | | | | 0,02419 | 7,293E-04 |
| Rejeitado 1 | | | | | | | | | 0,001190 |
| Rejeitado 2 | | | | | | | | | |

Tabela A18 – Tabela de *p*-value para as correlações de Pearson (assinalado a amarelo os valores de *p*<0,05, demonstrando diferenças significativas)

| | Humidade | Dureza | Gomosidade | Pico Visc. | Breakdown | Setback | % Proteína | Adesividade | Resiliência | Elasticidade | % Amilose | Força de extrusão | Mastigabilidade | % Glucose Total | Coesividade |
|-----------------|----------|----------|------------|------------|-----------|----------|------------|-------------|-------------|--------------|-----------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Humidade | NA | 0,986 | 0,699 | 0,581 | 0,417 | 0,793 | 0,486 | 0,130 | 1,03E-03 | 2,27E-03 | 1,92E-03 | 1,71E-03 | 7,50E-03 | 0,0643 | 2,38E-03 |
| Dureza | 0,986 | NA | 0 | 0,212 | 0,461 | 0,226 | 0,0312 | 1,68E-04 | 0,422 | 0,0422 | 0,0706 | 0,173 | 9,25E-04 | 0,869 | 0,597 |
| Gomosidade | 0,699 | 0 | NA | 0,244 | 0,584 | 0,318 | 0,0258 | 1,26E-04 | 0,834 | 0,0878 | 0,184 | 0,323 | 1,76E-04 | 0,832 | 0,193 |
| Pico Visc. | 0,581 | 0,212 | 0,244 | NA | 6,35E-13 | 1,89E-08 | 0,0365 | 7,68E-03 | 0,191 | 0,0585 | 4,62E-04 | 2,73E-03 | 0,480 | 0,511 | 0,641 |
| Breakdown | 0,417 | 0,461 | 0,584 | 6,35E-13 | NA | 4,95E-13 | 0,0344 | 0,0795 | 0,0784 | 0,0800 | 1,02E-03 | 2,73E-03 | 0,248 | 0,469 | 0,293 |
| Setback | 0,793 | 0,226 | 0,318 | 1,89E-08 | 4,95E-13 | NA | 2,21E-03 | 0,0140 | 0,0354 | 0,0232 | 9,08E-04 | 9,69E-05 | 0,239 | 0,925 | 0,315 |
| % Proteína | 0,486 | 0,0312 | 0,0258 | 0,0365 | 0,0344 | 2,21E-03 | NA | 4,75E-04 | 0,447 | 0,0160 | 0,341 | 0,0143 | 0,969 | 0,420 | 0,441 |
| Adesividade | 0,130 | 1,68E-04 | 1,26E-04 | 7,68E-03 | 0,0795 | 0,0140 | 4,75E-04 | NA | 0,131 | 7,90E-05 | 1,75E-03 | 9,82E-05 | 0,812 | 0,875 | 0,721 |
| Resiliência | 1,03E-03 | 0,422 | 0,834 | 0,191 | 0,0784 | 0,0354 | 0,447 | 0,131 | NA | 4,22E-05 | 3,52E-06 | 2,47E-05 | 0,0298 | 8,66E-04 | 1,14E-07 |
| Elasticidade | 2,27E-03 | 0,0422 | 0,0878 | 0,0585 | 0,0800 | 0,0232 | 0,0160 | 7,90E-05 | 4,22E-05 | NA | 1,49E-05 | 5,33E-07 | 0,0242 | 0,0381 | 0,0399 |
| % Amilose | 1,92E-03 | 0,0706 | 0,184 | 4,62E-04 | 1,02E-03 | 9,08E-04 | 0,341 | 1,75E-03 | 3,52E-06 | 1,49E-05 | NA | 1,45E-07 | 0,0777 | 7,67E-03 | 1,74E-03 |
| Força de extr. | 1,71E-03 | 0,173 | 0,323 | 2,73E-03 | 2,73E-03 | 9,69E-05 | 0,0143 | 9,82E-05 | 2,47E-05 | 5,33E-07 | 1,45E-07 | NA | 7,03E-03 | 0,118 | 0,0136 |
| Mastigabilidade | 7,50E-03 | 9,25E-04 | 1,76E-04 | 0,480 | 0,248 | 0,239 | 0,969 | 0,812 | 0,0298 | 0,0242 | 0,0777 | 7,03E-03 | NA | 0,152 | 6,05E-03 |
| % Glucose Total | 0,0643 | 0,869 | 0,832 | 0,511 | 0,469 | 0,925 | 0,420 | 0,875 | 8,66E-04 | 0,0381 | 7,67E-03 | 0,118 | 0,152 | NA | 2,17E-03 |
| Coesividade | 2,38E-03 | 0,597 | 0,193 | 0,641 | 0,293 | 0,315 | 0,441 | 0,721 | 1,14E-07 | 0,0399 | 1,74E-03 | 0,0136 | 6,05E-03 | 2,17E-03 | NA |