

Caracterização das Variedades de Arroz

Jéssica Marques Valente

Mestrado em Tecnologia e Ciência Alimentar

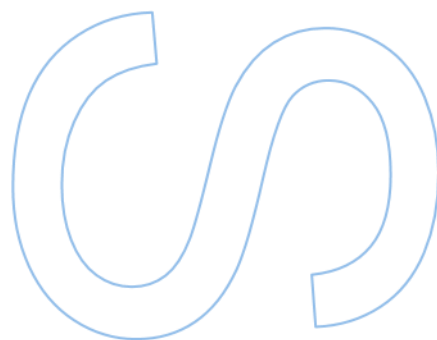
Departamento Química e Escola de Engenharia

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e Universidade do Minho

2024



Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Caracterização das Variedades de Arroz

Jéssica Marques Valente

Relatório de Estágio realizado no âmbito do Mestrado em
Tecnologia e Ciência Alimentar

Departamento Química e Escola de Engenharia

2024

Orientador

Nuno Filipe da Cruz Batista Mateus, Professor Catedrático,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Supervisor

Diogo Barbosa Amorim de Lemos, Diretor Departamento
Qualidade, Novarroz, Produtos Alimentares SA



Agradecimentos

Qualquer projeto ao longo da vida pode ser um feito individual, mas quando temos pessoas a contribuir e a lutar para o mesmo fim que nós, é muito mais gratificante. Desta forma, resta-me agradecer e mostrar a minha gratificação a todas as pessoas que me apoiaram e auxiliaram nesta etapa tão importante. Desta forma, seguem os meus profundos agradecimentos.

Em primeiro lugar, tenho de agradecer ao Eng. Diogo Lemos que se demonstrou disponível para orientar este meu projeto e por todos os conselhos e apoios demonstrados.

Não posso deixar de agradecer igualmente às restantes colaboradoras do departamento da Qualidade, com principal destaque para a Eng^a Anita Gomes e Eng^a Patricia Godinho, que muitos conselhos me deram ao longo deste percurso, bem como muito apoio e boa disposição.

De uma forma geral, também preciso de agradecer a todos os colaboradores da Novarroz, que sempre demonstraram simpatia e ajuda.

Ao professor Nuno Mateus também quero agradecer pela disponibilidade para reunir, orientar, opinar e ajudar-me no decorrer do desenvolvimento deste trabalho, mesmo com todas as controvérsias deste meu percurso.

Aos meus pais e ao meu irmão, por terem sido incansáveis e um apoio imprescindível para a conclusão deste ciclo. Gratidão é a palavra que mais posso utilizar para os amigos e familiares que me rodeiam.

Ao Carlos quero agradecer pela paciência que tem comigo, e pelo apoio demonstrados ao longo dos vários momentos deste projeto.

Às minhas amigas Andreia e Diana por estarem presentes, cada uma do seu jeito, mas com os seus grandes contributos.

Muito obrigada a todos!

Resumo

O presente relatório foi elaborado com base no estágio curricular efetuado na Novarroz-Produtos Alimentares SA, empresa no ramo alimentar responsável pelo tratamento e transformação de arroz.

O arroz *Oryza sativa* é uma das principais culturas de cereais do mundo e é um dos principais responsáveis pelo fornecimento de nutrientes à população mundial. Nutricionalmente, este cereal é rico em hidratos de carbono, onde se destaca o amido como principal constituinte. O amido é um polissacárido de reserva que se encontra no arroz na forma de grânulos. É possível encontrar também em menores quantidades outros nutrientes tais como proteínas e lípidos. No entanto, as características dos grãos de arroz dependem essencialmente da variedade do grão de arroz, mas as condições de cultivo do grão, bem como do solo em que este é cultivado também contribuem bastante.

Ao longo do estágio, o principal trabalho desenvolvido debateu-se com a caracterização das variedades de arroz da campanha 2023/2024, de forma a ir de encontro às variedades de interesse dos consumidores. O conhecimento e caracterização das várias variedades de arroz existentes na empresa são importantes para prever o comportamento do arroz aquando da sua cozedura. Para tal, foram analisados vários parâmetros tais como a humidade, a biometria (dimensão do grão), grau de brancura, parâmetros de viscosidade e tempo de cozedura.

Aplicou-se os vários estudos para as subespécies Indica e Japónica da espécie *Oryza sativa*. A subespécie Indica, por análise da biometria, caracterizou-se por grãos mais finos com relação comprimento/largura elevada. Já por testes de cozedura, permitiu-se concluir que os grãos desta subespécie possuem tempos de cozedura menores e uma textura mais seca, devido à pequena desintegração dos grânulos de amido. Contrariamente, a subespécie Japónica apresentou grãos mais largos e mais curtos o que consequentemente se traduziu em relações comprimento/largura inferiores. Já os tempos de cozeduras destes grãos foram superiores e, no fim, estes apresentaram uma textura mais viscosa justificada pela grande desintegração dos grânulos de amido.

Também se obteve um perfil de viscosidade para as várias variedades de arroz, permitindo obter diversos parâmetros (tais como, pico de viscosidade, tempo de pico, breakdown, setback, tempo de gelatinização e viscosidade final) que cumulativamente são importantes para a caracterização do comportamento do arroz.

Abstract

This report was prepared based on the curricular internship carried out at Novarroz-Produtos Alimentares SA, a food company responsible for the treatment and transformation of rice.

Rice *Oryza sativa* is one of the main cereal crops in the world and is one of the main responsible for providing nutrients to the world population. Nutritionally, this cereal is rich in carbohydrates, with starch as the main constituent. Starch is a reserve polysaccharide found in rice in the form of granules. It is also possible to find other nutrients such as proteins and lipids in smaller quantities. However, the characteristics of grains rice essentially depend on the variety of rice, but the growing conditions of the grain, as well as the soil in which it is grown, also contribute greatly.

Throughout the internship, the main work developed concerns the characterization of rice varieties from the 2023/2024 harvest in order to meet the varieties of consumer interest. Knowledge and characterization of the various rice varieties are important to predict rice behavior during cooking. To this end, several parameters were analyzed such as humidity, biometrics (grain size), degree of whiteness, viscosity parameters and cooking time.

The various studies were applied to the Indica and Japonica subspecies of the *Oryza sativa* species. The Indica subspecies, by biometric analysis, was characterized by finer grains with a high length/width ratio. Through cooking tests, it was concluded that the grains of this subspecies have shorter cooking times and a drier texture, due to the small disintegration of the starch granules. On the contrary, the Japonica subspecies presented wider and shorter grains, which consequently translated into lower length/width ratios. The cooking times for these grains were longer and, in the end, they had a more viscous texture justified by the great disintegration of the starch granules.

A viscosity profile was also obtained for several rice varieties, allowing to obtain several parameters (such as peak viscosity, peak time, breakdown, setback, gelatinization time and final viscosity) that cumulatively are important for the characterization of rice behavior.

Índice

Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	ix
Lista de Abreviaturas	x
1. Introdução:	xi
1.1. Evolução do Arroz	xi
1.2. Cultivo Arroz	xii
1.3. Arroz em Portugal	xiii
1.4. Morfologia do grão de arroz.....	xiv
1.5. Composição nutricional do arroz	xv
1.5.1. Hidratos de carbono:	xvi
1.5.2. Proteínas	xix
1.5.3. Lípidos.....	xix
1.5.4. Minerais.....	xx
1.5.5. Vitaminas.....	xx
1.5.6. Compostos fenólicos	xxi
1.6. Arroz e a Saúde	xxi
1.7. Processamento do arroz	xxii
1.7.1. Vaporização:	xxii
1.7.2. Descasque e branqueamento	xxiii
1.8. Tipo de arroz	xxiii
1.9. Subprodutos do arroz:	xxvi
1.9.1. Palha do arroz	xxvi
1.9.2. Casca do arroz	xxvi
1.9.3. Farelo de arroz	xxvi
1.9.4. Grãos com defeitos.....	xxvii
1.10. Indústria – Novarroz Produtos Alimentares, SA	xxviii

1.11.	Objetivo	xxxii
2.	Material e Métodos.....	xxxii
2.1.	Amostras de arroz	xxxii
2.2.	Determinação do teor de humidade.....	xxxiii
2.3.	Determinação das características físicas/biométricas.....	xxxiii
2.4.	Determinação do tempo de cozedura	xxxv
2.5.	Determinação de propriedades reológicas do arroz.....	xxxvi
2.6.	Análise Estatística dos Resultados	xxxviii
3.	Resultados e Discussão.....	xxxix
3.1.	Teor de Humidade	xxxix
3.2.	Características Biométricas	xl
3.3.	Tempo de Cozedura	xliv
3.4.	Propriedades Reológicas	xlvi
4.	Conclusão	lvi
5.	Referências Bibliográficas.....	lix
6.	Anexos.....	lxiv

Índice de Figuras

Figura 1. Principais etapas no cultivo de arroz. Adaptado de [11]	xii
Figura 2. Morfologia do grão de arroz. Adaptado de [13,19].....	xv
Figura 3. Estrutura química do amido.	xvii
Figura 4. Esquema do processo de gelatinização e retrogradação do amido. [28, 29]...xviii	
Figura 5. Esquema do processamento do arroz a partir do grão em casca até ao grão branqueado. [41].....	xxiii
Figura 6. Tipos de arroz mais comuns [44 -50].	xxv
Figura 7. Esquema das fases de processamento do arroz: descasque e branqueamento; e principais subprodutos: a) casca, b) farelo e c) grãos com defeitos)	xxviii
Figura 8: Logótipo da empresa Novarroz.....	xxix
Figura 10. Branqueador de arroz utilizado em laboratório.....	xxix
Figura 9. Descascador de arroz utilizado em laboratório	xxix
Figura 11. Representação esquemática do fluxograma simplificado da indústria Novarroz.	xxx
Figura 12. Termobalança HB43-S Halogen para determinação do teor de humidade ..xxxiii	
Figura 13. Equipamento VIBE Imaging Analytics	xxxiv
Figura 14. Kett Eletric Laboratory (colorímetro) para análise do grau de brancura.....	xxxiv
Figura 15. Teste de cozedura do arroz com difusor. 1: Dispersão dos 20 grãos numa placa de Petri; 2: Presença de núcleos brancos; 3: Ausência de núcleos brancos	xxxv
Figura 16. Perfil da Viscosidade do arroz e da temperatura no decorrer do tempo de ensaio. Adaptado de [53]	xxxvii
Figura 17. Representação gráfica da % de humidade das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	xxxix
Figura 18: Representação gráfica do comprimento, largura e respetiva razão comprimento/largura das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	xl
Figura 19. Correlação positiva (gráfico da esquerda) entre o comprimento do grão e a razão C/L. Correlação negativa (gráfico da direita) entre a largura do grão e a razão C/L.	xli
Figura 20. A: Grãos de arroz sem defeitos; B: Grãos de arroz gessados	xlii

Figura 21. Representação gráfica do grau de brancura (valor de kett) e a % de gessados das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	xlili
Figura 22. Correlação positiva entre a percentagem de gessados e o grau de brancura (valor do kett).....	xliv
Figura 23. Representação gráfica do tempo de cozedura (em minutos) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	xliv
Figura 24. Correlação negativa entre a razão comprimento/largura e o tempo de cozedura do arroz das amostras em estudo.....	xlvi
Figura 25. Representação gráfica do pico de viscosidade (cP) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	xlvii
Figura 26. Representação gráfica da temperatura de gelatinização (°C) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	xlviil
Figura 27. Representação gráfica do tempo de pico (em minutos) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	l
Figura 28. Representação gráfica da vala da viscosidade (cP) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	li
Figura 29. Representação gráfica do breakdown (cP) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	lii
Figura 30. Representação gráfica da viscosidade final (cP) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	liii
Figura 31. Representação gráfica do setback (cP) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo	lv
Figura 32. Correlação positiva entre o pico da viscosidade (cP - Centipoise) e os parâmetros Vala da Viscosidade, Breakdown e Viscosidade Final.....	lvi

Índice de Tabelas

Tabela 1: Composição nutricional do arroz branco e arroz integral cozido. Baseado em análises nutricionais realizadas pela empresa Novarroz.	xvi
Tabela 2: Designações do grão de arroz e respetivas dimensões, de acordo com [49].	xxiv
Tabela 4: Ciclos de tempo e temperatura característicos do método internacional 61-02.01 da AACCC para análise do perfil viscográfico do arroz [27].....	xxxvi

Lista de Abreviaturas

RVA: Rapid Visco Analyser

AACC: American Association of Cereals Chemistry

2-AP: 2-Acetil-1-Pirrolina

IFS: International Featured Standard

BRC: British Retail Consortium

1. Introdução:

O cultivo de arroz é uma prática muito comum que faz parte integrante da sociedade humana há milhares de anos e ocupa uma posição fulcral no cenário global da nutrição e da agricultura nos dias de hoje, sendo a terceira cultura agrícola mais produzida no mundo [1]. O arroz (*Oryza sativa* L.) é um grão de cereal comestível e é dos componentes da dieta alimentar mais consumidos mundialmente, sendo o alimento básico para quase dois terços de toda a população do mundo [2]. Os grãos deste cereal provêm de uma planta gramínea (família *Poaceae*) e é essencialmente cultivado em terras submersas nas planícies costeiras, deltas de maré e bacias hidrográficas de regiões tropicais, semitropicais e temperadas [3]. O local onde esta planta é cultivada, além de outros fatores como a variedade do arroz, os métodos de cultivo, o processamento ao qual este é submetido e as condições de cozedura, influenciam as propriedades finais dos grãos de arroz [2].

1.1. Evolução do Arroz

As origens deste cereal remontam a milhares de anos atrás, tendo o cultivo do arroz evoluído para uma forma bastante diferenciada e complexa, havendo até já vários métodos de cultivo mais sustentável [3]. Acredita-se que o arroz sofreu uma evolução grande envolvendo processos naturais, cultivo humano e transformações genéticas até se transformar no cereal como hoje o conhecemos. Descobertas arqueológicas remetem para que o ancestral mais antigo da *Oryza sativa* seja a *Oryza rufipogon*, também conhecida como arroz selvagem. Esta espécie é uma planta selvagem que cresce em regiões tropicais do sudeste da Ásia e que se adaptou a várias condições edafoclimáticas, o que permitiu desenvolver características de resiliência a variações de clima e solo [4].

A partir deste ancestral, começou o processo de domesticação do arroz que data a aproximadamente 9000 anos atrás na região da China. No entanto, ainda há muitas controvérsias acerca da data da sua origem [5]. Esta domesticação tem sido alvo de várias discussões, e ainda há vários enigmas que permanecem, tais como o local da origem geográfica do arroz cultivado, se as subespécies derivam de um ancestral comum ou múltiplo, entre outras dúvidas [4]. Este processo foi desencadeado pelas populações humanas que colhiam e cultivavam de forma seletiva as variedades de arroz selvagem com determinadas características. Desta forma, iniciou-se o desenvolvimento de algumas formas de arroz cultivado. Com o tempo, começaram-se a distinguir duas subespécies principais do arroz cultivado (*Oryza sativa*): Indica e Japônica, sendo que cada uma delas tem tendências para um determinado tipo de clima [5, 6].

Com a expansão das civilizações humanas no mundo, também o cultivo de arroz se espalhou para várias regiões, tendo estas se espalhado inicialmente dentro do continente Asiático e passando, posteriormente a atingir outros continentes.

Ao longo dos anos, e à semelhança do que acontece atualmente, os agricultores faziam a sua seleção, favorecendo plantas com características pretendidas, como o rendimento, sabor, resistência a pragas, entre outros. Também ao longo dos anos se verificou processos de hibridação no arroz, o que contribuiu também para aumentar a diversidade das variedades de arroz [7].

Existem já alguma bibliografia que alia estudos genéticos e a biotecnologia de forma a desenvolver variedades de arroz mais aprimoradas para dar resposta aos desafios atuais e do futuro, tais como a sustentabilidade e o aumento de pragas [8, 9].

1.2. Cultivo Arroz

O cultivo de arroz depreende 3 estágios: pré-plantação; crescimento e pós-produção (como representado na figura 1). Estas fases, bem como o produto final obtido depende de vários fatores, tais como a temperatura e a disponibilidade de água. De uma forma geral, a cultura de arroz é muito sensível às condições climáticas, essencialmente as temperaturas baixas, mas a variedade do arroz cultivado também influencia as condições preferenciais do cultivo [10].

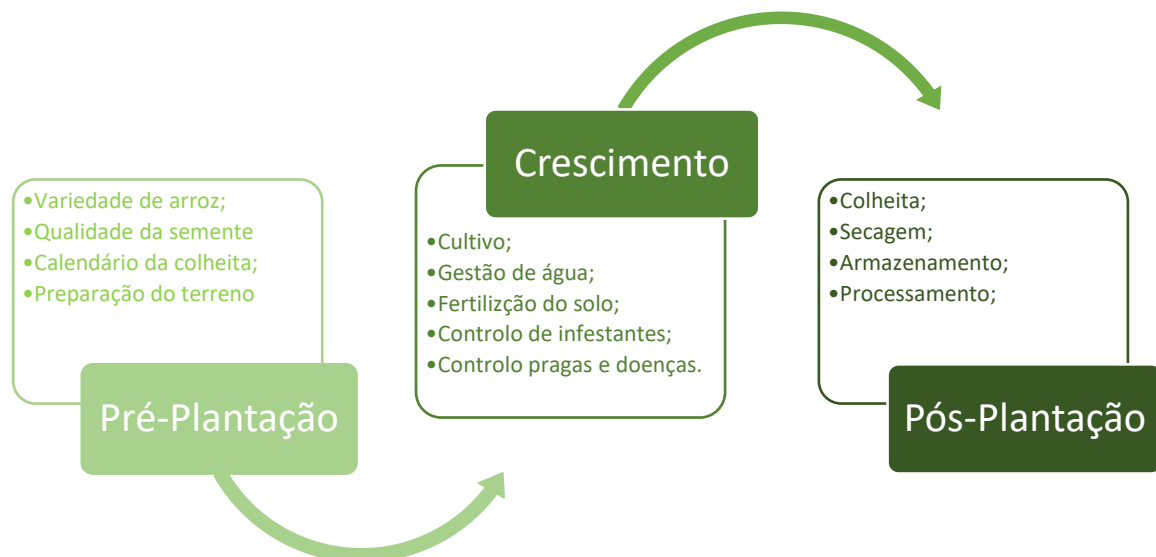


Figura 1. Principais etapas no cultivo de arroz. Adaptado de [11]

Na pré-plantação de arroz, há várias atividades que são necessárias, desde a escolha da variedade, ao desenvolvimento do calendário do cultivo, bem como a preparação do campo de arroz. Desta forma, na seleção das variedades de arroz, o orizicultor deve utilizar sementes saudáveis de uma variedade selecionada e adaptada localmente, de forma a

aumentar o rendimento. Deve também fazer um planeamento da colheita e preparar de forma correta o arrozal para controlar infestantes, bem como para haver reciclagem de nutrientes e a oxigenação do solo. [11]

Após esta fase, deve iniciar-se a plantação de arroz. A cultura de arroz pode ser semeada de forma direta, na qual as sementes são diretamente semeadas no campo; ou por transplantação, onde as sementes são inicialmente cultivadas em canteiros e só posteriormente são plantadas no solo. Durante o período de plantação, a planta de arroz completa o seu ciclo de desenvolvimento que dura em média 3 a 6 meses (dependendo da variedade do arroz, das condições ambientais, bem como das condições do solo). Ao longo do crescimento da planta do arroz, há 3 etapas principais: fase vegetativa, que engloba a germinação e a iniciação dos primórdios florais; de seguida verifica-se a fase reprodutiva, que vai desde a iniciação dos primórdios florais até ao florescimento da planta e dura em média 35 dias; e após esse período, há a fase da maturação, que se inicia após o florescimento e que decorre até à maturação total. Esta última fase tem uma duração superior à fase reprodutiva [10, 11].

Ao longo da plantação, tem de haver uma correta gestão da água disponível no arrozal, uma vez que o arroz é muito sensível à escassez de água. Para além disso, ocorre frequentemente fertilização do solo e controlo de ervas infestantes, de pragas e doenças. É muito importante este controlo, pois há uma grande perda de rendimento nas culturas devido a estes problemas [11].

Depois do processo de crescimento estar concluído, há a apanha dos grãos de arroz maduro do campo, processo designado por colheita. Após ser colhido, o arroz tem de ser seco para valores de humidade próximos de 13%. Esta secagem é necessária para que o arroz possa ser armazenado de forma segura. Uma secagem incorreta ou tardia pode levar a perdas grandes no rendimento da colheita. Quando o arroz está seco, pode ser armazenado de forma adequada até ao momento do seu processamento (descasque e branqueio) [12, 13].

1.3. Arroz em Portugal

A cultura de arroz apesar de já existir há milhares de anos, apenas no século VII é que foi verdadeiramente implementada na Europa. Por volta desse século, o arroz foi introduzido na península Ibérica pelos Mouros. A designação “Arroz” atribuída a este cereal foi também proveniente da influência dos muçulmanos, a qual deriva da palavra árabe “roz” [14].

Em Portugal, foi apenas no final do século XVIII que floresceu a cultura do arroz e que surgiram as primeiras referências escritas acerca deste cereal. Até esse momento, os cereais que estavam na base da alimentação humana eram o trigo e o milho. No entanto, não é unânime qual foi a origem do cereal no país; há teorias que apontam que o arroz foi trazido pela presença muçulmana, mas também há quem atribui este marco na agricultura ao reinado de D. Dinis. Antes dessa época, muito poucas regiões cultivavam arroz [15].

Atualmente, o panorama nacional é diferente, sendo um cereal bastante consumido. O consumo total de arroz semi-branqueado e branqueado no período de 2021/2022 foi de 14,2 kg per capita, valor que coloca Portugal com um maior consumo de arroz per capita na Europa. A nível de produção, a campanha de 2022/2023, registou um total de 155, 6 mil toneladas de arroz produzidas em Portugal continental. [16]

O consumo de arroz em Portugal é diverso, no entanto, em 2021, cerca de 47% do total de arroz consumido foi do tipo Agulha, seguido do arroz Carolino com 22%. Em menores quantidades houve consumo de arroz basmati (representou cerca de 13,7% do consumo total) e arroz vaporizado (cerca de 10%), bem como de outras variedades. A tendência de consumo ao longo dos anos, demonstra uma diminuição do consumo de arroz carolino e um aumento do consumo de arroz como o basmati e o vaporizado [14].

A nível cultural, é o arroz Carolino que se destaca mais significativamente no território nacional. O arroz carolino é amplamente utilizado em muitos pratos típicos da gastronomia portuguesa. A sua capacidade de absorver sabores e a sua versatilidade tornam-no ideal para receitas como o arroz de marisco, arroz de pato, arroz de feijão, arroz de peixe e arroz de cabidela. Esses pratos não são só populares no dia a dia, mas também são preparados em celebrações familiares e festivas, o que torna o arroz carolino parte integrante da alimentação tradicional portuguesa. Em muitos destes pratos, o arroz carolino é o elemento central que une os sabores dos outros ingredientes, como carnes, frutos do mar ou legumes. Sua textura macia e ligeiramente cremosa quando cozido é uma característica que o torna distinto de outras variedades de arroz e o torna perfeito para receitas mais ricas e saborosas.

1.4. Morfologia do grão de arroz

O grão de arroz (em casca) é constituído por vários componentes, sendo que cada um deles contribui para o seu conteúdo nutricional, textura e sabor [17]. A figura 2 possui a representação esquemática da morfologia do grão de arroz.

Os principais componentes são:

Casca: é uma camada externa protetora. Esta parte representa cerca de 20% do peso do arroz bruto. Quando removida do arroz através de um processo físico denominado de descasque, obtém-se o grão integral. A casca é constituída pela lema, pálea e arista [13, 18].

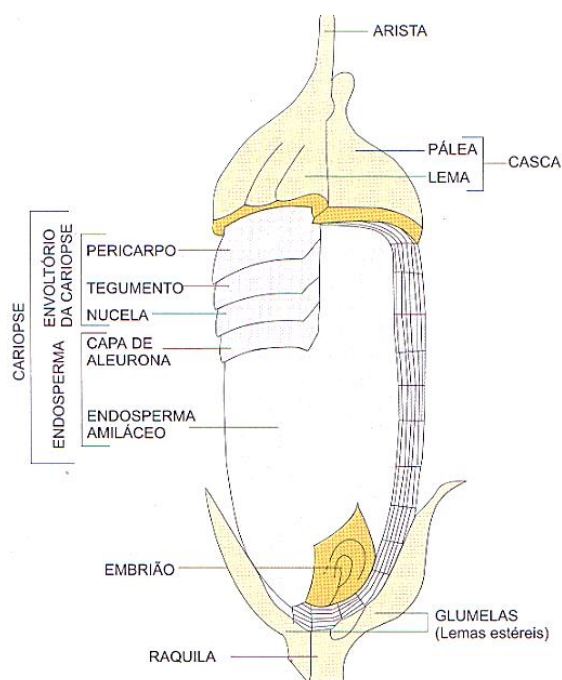


Figura 2. Morfologia do grão de arroz. Adaptado de [13,19]

Cariopse: esta parte representa a parte do fruto do arroz que constitui a semente de arroz com o pericarpo, ou seja, o vulgar arroz integral. A cariopse é composta pela película (pericarpo, tegumento e nucela), pelo endosperma, e pelo embrião, ou gérmen. O endosperma é o local que possui as reservas energéticas do grão de arroz e é, por sua vez, subdividido numa camada aleurona e no endosperma amiláceo. Já o embrião, ou igualmente designado gérmen, é uma região com células ricas em corpos proteicos e lipídicos e também possui vários constituintes: cotilédone, epiblasto, plúmula, mesocótilo e radícula) [13, 19].

1.5. Composição nutricional do arroz

Dada a importância deste cereal na alimentação humana mundial, é importante o conhecimento das características nutricionais deste alimento, bem como a sua composição química. A composição nutricional do arroz não é a mesma para todo o arroz; esta vai variar consoante a variedade do arroz analisado, a extensão do branqueamento, as condições de armazenamento, bem como por influência de fatores ambientais, fenótipos e o uso de fertilizantes [13, 20].

De uma forma geral, o arroz é essencialmente constituído por amido, que é um hidrato de carbono, no entanto, também possui quantidades menores de outros macronutrientes, como proteínas e lípidos.

Os nutrientes enumerados estão distribuídos de forma desigual nas diferentes frações do grão de arroz. A parte da casca e do farelo é essencialmente composta por fibras e proteínas e alguns micronutrientes (vitaminas e minerais); enquanto a região central do

grão, é maioritariamente composta por amido (hidrato de carbono). Por esta razão é que o arroz branqueado e o arroz integral têm composições nutricionais diferentes como é possível constatar na tabela abaixo. Ao ocorrer o processo de branqueamento no processamento do arroz, há remoção da região rica em fibras e em proteínas e como tal, o arroz branco é menos rico nutricionalmente nestes dois nutrientes [13, 17, 18, 21].

A tabela 1 apresenta os valores médios da composição nutricional de arroz branco cozido e de arroz integral cozido, pois, como já explicado anteriormente, a composição é influenciada por vários fatores.

Tabela 1: Composição nutricional do arroz branco e arroz integral cozido. Baseado em análises nutricionais realizadas pela empresa Novarroz.

Arroz Branco		Arroz Integral	
(porção=100g)		(porção=100g)	
Energia	1495 kJ / 352 kcal	Energia	1490 kJ / 351 kcal
Lípidos	0,45 g	Lípidos	2,5 g
dos quais Saturados	0,1 g	dos quais Saturados	0,5 g
Hidratos de Carbono	78,85 g	Hidratos de Carbono	71,6 g
dos quais Açúcares	<0,5 g	dos quais Açúcares	<0,5 g
Fibra	2,15 g	Fibra	3,8 g
Proteínas	7,05 g	Proteínas	8,6 g
Sal	0 g	Sal	0 g

De seguida, será analisada de forma mais pormenorizada a composição nutricional dos grãos de arroz.

1.5.1. Hidratos de carbono:

Os hidratos de carbono são o constituinte mais predominante quando se analisa a composição do arroz. Dentro destes, destaca-se o amido, que é o que se encontra em maior quantidade, no entanto, também estão presentes açúcares livres (maioritariamente sacarose) e fibras. Estes açúcares livres e fibras localizam-se essencialmente no farelo e no gérmen do grão de arroz, enquanto o amido está preferencialmente no endosperma. [20]

- Amido:

O amido é um polissacárido de reserva. O teor deste polissacárido no grão de arroz vai variar devido a fatores genéticos, bem como ambientais, no entanto, representa aproximadamente 90% do peso seco do grão de arroz branco. O amido é constituído por amilose e amilopectina (figura 3), sendo ambos polímeros de glucose que variam no tamanho e no tipo de ramificações que possuem [22, 23]. A proporção das cadeias de amilose e de amilopectina na parte amilácea do grão vai variar consoante a variedade do

arroz, como é o caso das diferentes subespécies de arroz que possuem diferente conteúdo de amilose e de amilopectina.

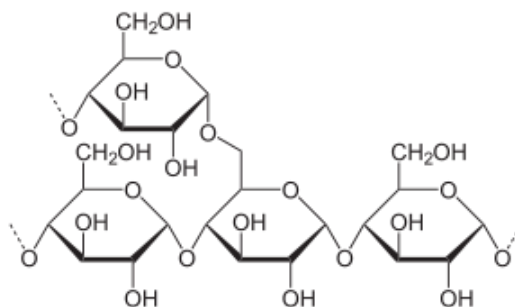


Figura 3. Estrutura química do amido.

O teor em amilose vai influenciar muito o comportamento dos grãos de arroz durante o seu processo de cozedura. Desta forma, grãos com elevado conteúdo em amilose ficam mais soltos e com maior firmeza quando cozinhados do que os grãos com conteúdo em amilose inferior. Neste último caso, os grãos assumem uma forma pastosa e gumosa [24].

Isto acontece devido ao comportamento do amido quando está na presença de água e temperaturas elevadas. Nessa situação, ocorre um processo designado de gelatinização do amido [25].

O comportamento do arroz cozido depende da variedade do arroz em causa. Este comportamento pode ser estudado através do estudo do componente maioritário do arroz, o amido. Sabendo que este na presença de água e temperatura vai sofrer um fenómeno de gelatinização e posterior retrogradação, é importante conhecer os pormenores desse processo para conhecer as propriedades físico-químicas do arroz cozido [26].

O amido no arroz encontra-se na forma de grânulos compostos, ou seja, existem muitos grânulos de amido dentro de cada amiloplasto [27]. Quando o amido é colocado em contacto com água fria, os grânulos existentes incham devido à entrada de água nas regiões amorfas do grão. Esse processo é reversível através de secagem do grão. No entanto, quando os grânulos entram em contacto com água e temperaturas elevadas, eles incham bastante de forma irreversível, processo designado de gelatinização. Nessa altura, há a perda da organização estrutural interna do amido, pois as ligações por pontes de hidrogénio responsáveis pela estabilização das estruturas são quebradas. Nesse momento há perda da cristalinidade da estrutura do amido, havendo a formação de uma pasta viscoelástica. Este processo só ocorre para gamas de temperaturas características consoante a fonte de amido (figura 4) [28, 29].

Quando há um arrefecimento das condições às quais a pasta de amido é submetida, ocorre um fenómeno designado de retrogradação, que consiste na recristalização e

reestruturação interna do amido. Este processo é responsável pelo endurecimento dos grãos de arroz quando são cozinhados. Nesse processo, as moléculas de amido vão perder energia e as ligações de hidrogénio existentes vão se tornar mais fortes e há uma reorganização das moléculas. Como tal, a viscosidade do amido vai aumentar [28, 29].

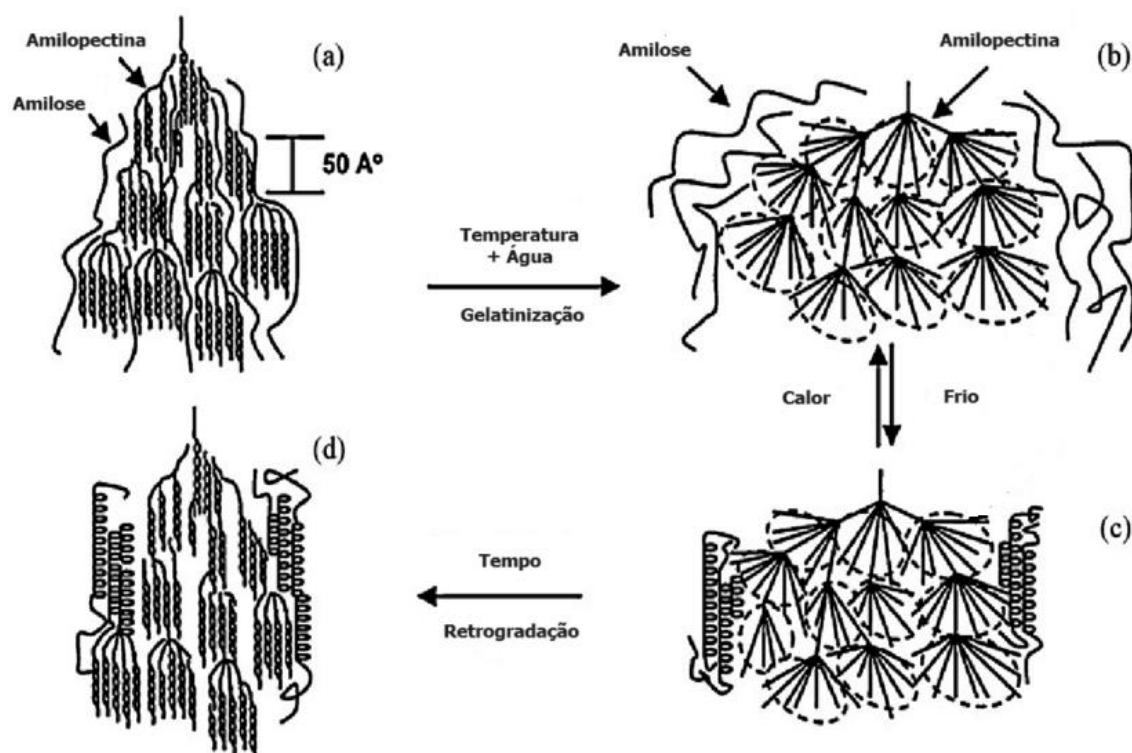


Figura 4. Esquema do processo de gelatinização e retrogradação do amido. [28, 29]

O conhecimento das propriedades viscoelásticas das variedades de arroz permite prever o comportamento e as características tecnológicas deste cereal depois de cozido, o que permite a associação de determinados tipos de arroz a pratos culinários que requerem características do arroz específicas. Assim, deve ser analisado o comportamento do amido do arroz, de forma a distinguir as suas propriedades químicas para dirigir determinado arroz para uma certa aplicação tecnológica e nutricional. Por exemplo, o arroz Carolino é tipicamente utilizado para pratos gastronómicos que requerem uma textura mais caldosa e com retenção de sabor. De forma semelhante, a utilização de arroz para pratos típicos japoneses (como o sushi) requer um arroz mais gumoso e que adere mais facilmente entre si. Desta forma, importa encontrar variedades de arroz que possuem as propriedades viscoelásticas certas para o comportamento pretendido [25].

- Açúcares livres e fibras:

Os principais açúcares livres presentes no arroz são a sacarose, a glicose e a frutose. Estes hidratos de carbono como estão localizados essencialmente nas camadas externas

do grão, vão existir em quantidades elevadas no arroz integral comparativamente às quantidades no arroz branqueado, onde há uma diminuição ao longo do processo de branqueamento.

Para além dos açúcares livres, também existem polissacáridos que não são digeridos pelo trato gastrointestinal humano, sendo estes reconhecidos como fibra alimentar. É o caso da celulose, hemicelulose e pectinas. Esta fração de fibra exerce algumas funcionalidades benéficas no organismo humano, tais como para o tratamento da obstipação intestinal, redução de colesterol e redução da pressão arterial [19].

1.5.2. Proteínas

O arroz possui baixo teor em proteína, sendo que este macronutriente se encontra apenas a rondar os 7% do total de nutrientes do arroz branqueado. No entanto, pode-se verificar algumas variações desta concentração em algum tipo de arroz que pode ser explicada por diferentes características genotípicas, por uma adubação nitrogenada, por uma maior radiação solar, bem como às temperaturas às quais o grão de arroz é sujeito durante o seu desenvolvimento.

As proteínas presentes no arroz podem ser classificadas em: albumina, globulina, prolamina e glutelina, sendo que a proporção de cada um destes tipos de proteína depende da sua localização no grão (farelo ou endoesperma) [30].

Quanto à qualidade da proteína, esta depende muito do tipo de aminoácidos presentes. No arroz e nos restantes cereais, o aminoácido limitante é a lisina, no entanto, o seu teor é superior no arroz quando comparado ao dos outros cereais como o milho e trigo. Este aminoácido está essencialmente presente na albumina, que é a proteína mais presente no farelo do arroz. Já a globulina tem grande teor de aminoácidos contendo enxofre (cisteína e metionina). A glutelina tem elevada percentagem de ácido glutâmico, enquanto a prolamina tem maior composição no aminoácido leucina [30].

Além disso, o arroz também possui aminoácidos livres em pequenas quantidades. Estes monómeros, dos quais predominam o aspartato e o glutamato, estão localizados essencialmente no gérmen e no farelo do arroz [31].

1.5.3. Lípidos

Os lípidos são encontrados no arroz em organizações designadas corpos lipídicos que estão localizados essencialmente no embrião e na camada de aleurona do grão. Desta forma, é compreensível que o teor em lípidos seja superior no arroz integral do que no

arroz branqueado, uma vez que este já não tem as referidas regiões do grão. Assim sendo, no arroz branqueado, a concentração de lípidos pode atingir valores inferiores a 1% [20].

Não obstante disso, o teor neste nutriente também é afetado pelas características genotípicas do grão, sendo que os valores apresentados são sempre valores médios.

Dentro da porção lipídica, esta é maioritariamente composta por lípidos neutros (88 a 89%), apresentando, também, baixos teores de glicolípidos (6 a 7%) e fosfolípidos (aproximadamente 4,7%). Os ácidos gordos predominantes são insaturados: o ácido oleico e ácido linoleico (representam cerca de 95% dos ácidos gordos presentes nos lípidos totais) [32].

1.5.4. Minerais

O teor de minerais presentes no arroz depende da região do grão em análise. De uma forma geral, as camadas externas são as que possuem maior teor de minerais [33].

Quando se analisa o arroz em casca, há uma predominância do mineral silício (cerca de 15% a 25%). Quando o arroz em casca é submetido ao processo de descasque e de branqueamento, os minerais que dominam são o fósforo, o potássio e o magnésio. No entanto, há ainda a presença de outros minerais em baixas quantidades, tais como cálcio, o sódio, o ferro e o zinco. Alguns destes minerais referidos são essenciais para a saúde do ser humano [31].

No entanto, à semelhança dos macronutrientes, também o conteúdo de minerais é influenciado por alguns fatores, como as condições do solo de cultivo, o uso de fertilizantes, o genótipo do grão, bem como pelo processamento a que o arroz é submetido. No caso da influência do processamento no teor de minerais, a vaporização do arroz é um bom exemplo de um processo que faz aumentar o teor de minerais; este facto deve-se à migração dos minerais (ainda que com diferentes padrões de migração) das camadas exteriores para o endosperma do grão durante o processo [20, 34].

1.5.5. Vitaminas

As principais vitaminas presentes no arroz são vitaminas do complexo B e α -tocoferol (vitamina E). Há ainda, concentrações residuais de vitaminas A, D e C.

À semelhança dos minerais, também as vitaminas estão presentes em maior quantidade nas camadas externas do grão. No caso do farelo, este apresenta grande quantidade de tiamina, riboflavina, niacina e tocoferol, pelo que o processo de branqueamento do arroz diminui fortemente a concentração destas vitaminas no arroz.

Dada a importância das vitaminas na saúde humana, há vários estudos que analisam a possibilidade de suplementar o arroz com vitaminas [31].

1.5.6. Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos, também designados de polifenóis, são moléculas resultantes do metabolismo secundário das células vegetais e que desempenham diversas funções nas plantas [31].

No arroz, o grupo de compostos fenólicos que mais se destaca são os ácidos fenólicos, dentro dos quais se enquadra o ácido ferúlico e o p-cumárico. No caso do arroz de pericarpo vermelho e pericarpo preto, a composição em compostos fenólicos é superior, havendo também presença de antocianinas e proantocianidinas, essencialmente a cianidina-3-O- β -D-glicosídeo e peonidina-3-O- β -D-glicosídeo. Por esta razão, a presença de compostos fenólicos solúveis é aproximadamente 6 vezes superior nesse tipo de arroz quando comparadas às variedades de arroz não pigmentadas [20, 31, 35]

1.6. Arroz e a Saúde

Após a análise da composição nutricional e dos vários compostos bioativos (fenóis, flavonoides, antocianinas, entre outros) presentes no arroz, essencialmente nas variedades integrais e pigmentadas, podemos verificar que este cereal tem alguns benefícios para a saúde.

Os benefícios do arroz dependem do tipo de arroz analisado e do seu conteúdo em compostos bioativos [36].

Os grãos de arroz pigmentados e os grãos integrais são nutricionalmente mais ricos que os grãos brancos. Dentro dos grãos pigmentados enquadram-se o arroz de grão preto, bem como o arroz de grão vermelho. Desta forma, o grão pigmentado e o grão integral são os que possuem mais benefícios para a saúde, nomeadamente atividade antidiabética, anticancerígena e antioxidante [36]. O arroz vaporizado também permite um melhor controlo dos níveis glicémicos do sangue [40].

A atividade antioxidante deste tipo de arroz (em especial no arroz preto) é demonstrada em vários estudos. Os antioxidantes presentes no arroz (compostos fenólicos, tocoferol e antocianina) são responsáveis por neutralizar eficientemente as espécies reativas de oxigénio (ROS), que são prejudiciais e desequilibram o potencial oxidação-redução do corpo humano [36].

Quanto à atividade antidiabética, há estudos que demonstram a eficácia do arroz pigmentado e do arroz integral no apoio à homeostasia da glicose no sangue, auxiliando no tratamento da diabetes mellitus [37]. Contrariamente ao arroz branco que promove o aumento dos níveis de glicose no sangue, os grãos pigmentados levam a uma redução destes níveis. Este benefício é provocado pelo efeito sinérgico das antocianinas, proantocianidina, vitamina E e de vários flavonoides presentes nos grãos. [36]

Vários estudos remontam também para a atividade anticancerígena do arroz pigmentado. Esta atividade é abrangida para certos tipos de cancro, como é o caso do cancro da mama e do cancro hepático. Foi demonstrado que esta atividade advém dos ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas e ácido fítico existentes nos extratos do farelo do arroz. Estes compostos atuam como anti mutagénicos e potenciais supressores do cancro, reduzindo a viabilidade das células cancerígenas, podendo induzir a sua apoptose [36, 38, 39].

1.7. Processamento do arroz

O arroz pode ser consumido de várias formas consoante o processo ao qual é submetido depois de colhido. As formas mais comuns são o arroz vaporizado, o arroz integral e o arroz branqueado [13].

1.7.1. Vaporização:

Para se obter o arroz vaporizado, recorre-se a uma técnica designada de vaporização, um método antigo e muito utilizado em países em desenvolvimento. O tratamento de vaporização vai promover algumas alterações físico-químicas no arroz. Este processo provoca a gelatinização do amido do arroz, fazendo melhorar a dureza do arroz na secagem, bem como minimizando a perda por quebra do grão, o que aumenta o rendimento do processamento. Para além disso, o arroz vaporizado permite um melhor controlo dos níveis glicémicos do sangue, bem como outros benefícios para a saúde. No entanto, este processamento implica um maior gasto de energia [40]

O processo para obtenção de um arroz vaporizado consiste em 3 etapas: hidratação do arroz, seguido de um tratamento térmico e com posterior secagem do mesmo. Aquando da hidratação em casca ou em película, há um aumento de humidade do arroz para níveis de 24 a 30%, pelo que depois o tratamento térmico provoca a gelatinização do amido do arroz. A massa gelatinizada obtida é posteriormente seca para o teor de humidade apropriado para o restante processamento do arroz (cerca de 12 a 14% de humidade) [40]

1.7.2. Descasque e branqueamento

O descasque e branqueamento são processos mecânicos responsáveis por tornar o arroz branco como vulgarmente é consumido. Estes processos removem a parte externa do arroz (casca e o farelo) – figura 5.

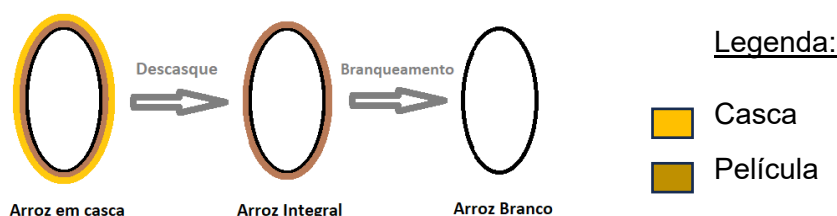


Figura 5. Esquema do processamento do arroz a partir do grão em casca até ao grão branqueado. [41]

As propriedades do arroz vão diferir consoante o processamento a que o mesmo é submetido.

No processo de descasque, o arroz em casca perde a camada dura externa que protege o interior e fica o que é conhecido como arroz integral. O arroz integral possui o farelo, o gérmen e o grão amiláceo.

O grão integral, quando passa por um processo de branqueamento, é removido o farelo e o embrião do grão de arroz, ficando o grão branco. Desta forma, obtém-se a forma de grão mais comercializada [41].

1.8. Tipo de arroz

Existem milhares de variedades cultivadas por todo o mundo dada a elevada diversidade genética que o arroz possui. Essas variedades mencionadas pertencem à família *Poaceae* e ao género *Oryza*. Este género engloba 22 espécies, sendo 20 delas consideradas selvagens. As espécies cultiváveis são duas: a *Oryza sativa* e a *Oryza glaberrima* [42].

A *Oryza glaberrima* teve origem em África e tem o seu cultivo restrito a este continente; já a *Oryza sativa* é proveniente do continente Asiático e é mundialmente cultivada. Esta é das espécies de cultivo mais antigas e com mais importância, tendo sofrido um processo de domesticação há muitos anos, como já referido anteriormente. Já a espécie *O. Glaberrima* possui menos diversidade genética que a *O. Sativa* [43].

Dentro da espécie *Oryza sativa* existem duas grandes subespécies: Japónica e Indica. Dentro da subespécie japónica pode, ainda, se distinguir um grupo morfológicamente distinto chamado de javanica (possuem características morfológicas que são intermédias às da subespécie indica e japónica).

A subespécie indica representa 80% de todo o arroz cultivado no mundo, sendo essencialmente cultivada em regiões de clima tropical, pois são tolerantes à seca e intolerantes a temperaturas baixas. Já as variedades da subespécie japónica são mais tolerantes a temperaturas mais baixas e são menos tolerantes à seca, bem como a doenças e a pragas [44, 45].

A nível de características, os grãos possuem diferentes propriedades: Os grãos das variedades japónica são curtos a médios e largos, enquanto os grãos das variedades indica são médios a longos e estreitos. Também se pode distinguir características destas duas subespécies quanto ao teor de amilose, sendo que as variedades de japónica tendem a ter menor teor de amilose que as variedades indicas. Este teor de amilose tem implicações na viscosidade do arroz, sendo que arroz com teor de amilose mais baixo (caso das variedades japónicas) é mais pegajoso que o arroz com maior teor deste polissacárido (caso da variedade indica) [24].

A subespécie japónica compreende o vulgarmente conhecido como arroz carolino, arroz médio, arroz redondo e arroz risotto. Já a subespécie indica abrange o arroz agulha, basmati e jasmim. Exemplos desses tipos de arroz podem ser visualizados na figura 6.

O arroz carolino é caracterizado por possuir grãos longos e também largos, com baixo teor de amilose, o que proporciona uma textura pouco firme quando cozinhado. O referido médio, bem como o redondo, são assim designados consoante a biometria do mesmo, tendo também o baixo teor de amilose característico da subespécie japónica. O arroz risotto é caracterizado por apresentar um grão longo e, na sua maioria, de grandes dimensões, que é capaz de reter grandes quantidades de água no seu processo de cozedura, o que permite adquirir uma consistência cremosa.

Tabela 2: Designações do grão de arroz e respetivas dimensões, de acordo com [49].

Subespécie	Designação	Comprimento	Relação Comprimento/Largura
Japónica	Grão Redondo	$\leq 5,2$ mm	< 2
	Grão Médio	5,2 mm a 6,0 mm	< 3
	Grão longos de Categoria A (Carolino)	> 6 mm	2a 3
Indica	Grão longos de Categoria B (Agulha)	> 6 mm	≥ 3

Já na subespécie Indica, o arroz agulha é conhecido por apresentar um grão bastante longo, mas estreito, bem como por apresentar um elevado teor de amilose responsável pela firme textura que este arroz adquire depois de cozinhado. Surge, ainda o arroz aromático, dentro do qual, existe o arroz basmati e o arroz jasmim, apresentando ambos um grão longo e fino, bem como um característico odor e sabor. Apesar das semelhanças entre estes dois tipos de arroz, o arroz Jasmim é reconhecido pela sua textura mais pastosa quando comparada à do arroz Basmati [46, 47].

O arroz aromático é reconhecido pelo seu odor característico que é proveniente da rica composição em compostos voláteis. Dentro do perfil aromático do arroz Basmati e Jasmin, destaca-se o principal composto responsável pelo aroma “pop-corn”: 2- acetil-1-pirrolina (2AP) [48].

Todos estes tipos de arroz pertencente à espécie *Oryza sativa* têm, em Portugal, as suas características bem delimitadas no decreto-lei n.º 157/2017 [49].



Figura 6. Tipos de arroz mais comuns [44 -50].

Além destes tipos de arroz caracterizados na tabela 2, existe ainda outro grão de cereal, denominado arroz selvagem, mas que não pertence ao género *Oryza*, mas que é vulgarmente reconhecido como arroz. Este cereal pertence ao género *Zizania* e é

caracterizado por grãos longos e estreitos com cor negra. Esta coloração é devida à presença de antocianinas que confere a este “arroz” relevantes propriedades nutricionais. [50]

Qualquer destes tipos de arroz indicados acima são comercializados: na forma integral (grão sem casca, mas sem qualquer processo de branqueamento), na forma branqueada (grão branco, em que toda a camada do pericarpo e gérmen foram removidos), bem como na forma vaporizada (grãos sofrem um processo de vaporização).

1.9. Subprodutos do arroz:

1.9.1. Palha do arroz

A palha de arroz é um subproduto proveniente da prática agrícola dos arrozais. As palhas são a designação dada a todas as partes da planta do arroz, tais como folhas e aristas, que sai após a sua colheita. Este resíduo é recorrentemente utilizado para a ração animal ou para combustível doméstico/biomassa. Há, no entanto, alguns estudos na literatura que revelam a presença de compostos bioativos nas palhas de arroz. Alguns desses compostos são fenólicos, flavonoides e com atividade antioxidante. Estes estudos têm permitido potencializar a utilização deste resíduo [41, 51].

1.9.2. Casca do arroz

O grão de arroz, quando é submetido ao processo de descasque produz, entre outros resíduos, casca. A casca de arroz representa cerca de 20% do peso total do grão de arroz integral e é designada como sendo a cobertura externa protetora do grão de arroz. Este resíduo não tem praticamente nenhuma rentabilidade comercial devido às suas propriedades, tais como a resistência à degradação, os elevados teores de cinzas e de lignina, bem como não ser comestível.

Posto isso, este resíduo é recorrentemente utilizado para acomodação animal (por exemplo, em aviários), bem como para produção de biomassa.

Apesar deste componente do arroz não ter valorização aquando do seu processamento, a casca tem um papel fundamental na proteção da semente do arroz contra o stress oxidativo. Isto deve-se à composição química da casca do arroz que tem elevados efeitos antioxidantes [41, 51].

1.9.3. Farelo de arroz

Através do processo de branqueamento do arroz é produzido o farelo de arroz. Este resíduo é a camada externa do pericarpo do arroz e representa aproximadamente 10% do

total do arroz. Este resíduo apresenta valiosos compostos ativos e nutrientes que podem ter propriedades significativas para a saúde. No entanto, para a indústria alimentar, o farelo de arroz tem pouca utilidade devido à sua fácil oxidação e instabilidade [52].

1.9.4. Grãos com defeitos

O grão de arroz sofre uma série de processos até estar pronto para a sua comercialização. Ao longo destes processos, há grãos que se danificam, que devem ser removidos juntamente com os defeitos existentes nos grãos de arroz. Em Portugal, existe legislação que apresenta uma lista dos defeitos inerentes aos grãos de arroz, bem como a sua descrição. Nesse documento, decreto lei nº 157/2017 (tabela 3), é também vinculado quais os limites de defeitos que o arroz pode ter no momento da sua comercialização [49].

Tabela 3: Características do arroz destinado a consumo humano. [49]

Características do arroz destinado a consumo		
Características do arroz para consumo	Percentagem máxima	
	Classe Extra	Classe Comum
Humidade	14	14
Mistura ocasional ou accidental de variedades de arroz da subespécie <i>indica</i> ou da subespécie <i>japonica</i>	5	15
Grãos gessados ou verdes	2,5	4,5
Grãos estriados de vermelho ou vermelhos	2,5	4,5
Grãos danificados ou escuros.	1,5	3,5
Grãos amarelos, manchados ou ambarinos	0,5	0,5
Grãos despontados ⁽¹⁾	5	5
Trincas, grãos fendidos ou deformados ⁽²⁾	4	16

Tipos de defeitos no grão [49]:

«Grão partido ou trinca» é um fragmento de grão cujo comprimento é inferior a três quartos do comprimento médio do grão inteiro. Existem alguns tipos de trinca classificada tendo em conta o comprimento que possui;

«Grão verde» é um grão cuja maturação foi incompleta;

«Grão deformado» é um grão cujas características morfológicas divergem do grão típico da variedade;

«Grão danificado», é um grão que possui evidente grau de deterioração.

«Grão gessado» é um grão no qual mais de três quartos da sua superfície tem um aspeto opaco;

«Grão estriado de vermelho» é um grão que possui estrias longitudinais revestidas total ou parcialmente de pericarpo de cor vermelha.

«Grão vermelho» é um grão no qual um quarto ou mais da sua superfície está revestido de pericarpo de cor vermelha

«Grão manchado», grão que apresenta em pontos restritos da sua superfície uma alteração evidente da sua cor natural, com manchas de diversas cores de tons escuros, de tamanho igual ou inferior a metade do grão, ou com estrias negras e profundas;

«Grão amarelo» é um grão que apresenta na sua totalidade ou parcialmente cor amarelada.

«Grão ambarino» é um grão não estufado de cor âmbar;

«Grão escuro», grão ou parte de grão estufado, em que mais de um quarto da superfície tem coloração escura.

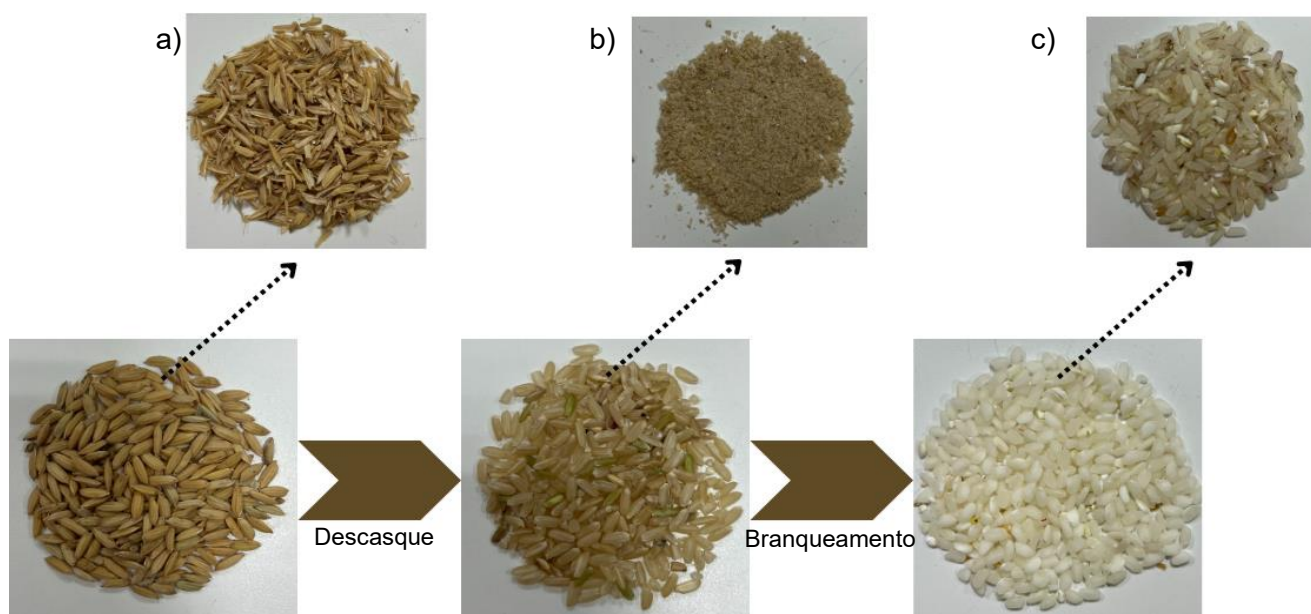


Figura 7. Esquema das fases de processamento do arroz: descasque e branqueamento; e principais subprodutos: a) casca, b) farelo e c) grãos com defeitos)

Na figura 7 são descritas as fases do processamento do arroz e os subprodutos daí provenientes.

1.10. Indústria – Novarroz Produtos Alimentares, SA

A Novarroz, Produtos Alimentares SA (figura 8) é uma indústria dedicada ao ramo alimentar, sendo a sua principal atividade o descasque, branqueamento, embalagem e expedição de arroz e dos seus subprodutos.

Esta indústria é uma empresa familiar portuguesa e está localizada na freguesia de UI, Oliveira de Azeméis. Fundada em 1979, a Novarroz conta com duas certificações prestigiadas do ramo alimentar: Certificação IFS (International Featured Standard) e Certificação BRC (British Retail Consortium); bem como certificações HALAL, KOSHER e de Arroz Biológico.



Figura 8: Logótipo da empresa Novarroz

O processo nesta indústria (figura 11) inicia-se com a receção do arroz (em casca, em película ou já branqueado) diretamente de produtores (nacionais e de importação). Nesta receção, há sempre uma análise de uma pequena amostra da carga pelo laboratório. Nesta análise, é realizada a medição da humidade do arroz de forma a verificar se está em conformidade com o decreto-lei [49]. Após obtenção do valor de humidade, há o processamento do arroz à escala de laboratório, onde existe um descascador e um branqueador. Nesta etapa, há a verificação dos defeitos do arroz e se estiver tudo em conformidade, é dada uma ordem de descarga dos camiões/contentores. A descarga do arroz dá-se para silos ou tulhas, que são locais de armazenamento do arroz, e é feita por variedade recebida, de forma a não ocorrer misturas de diferentes tipos de arroz. A partir deste momento, o arroz encontra-se armazenado e pronto para entrar no processo de fabrico.



Figura 10. Descascador de arroz utilizado em laboratório



Figura 9. Branqueador de arroz utilizado em laboratório

Quando se inicia o fabrico do arroz, ele passa pelo moinho (que contempla o descascador e o branqueador), local onde vai sofrer várias etapas de forma a remover impurezas, a ser

descascado e branqueado (quando aplicável). Terminado o fabrico no moinho, o arroz está no seu estado finalizado para consumo.

A empresa Novarroz é também responsável pelo processo de embalamento do arroz e a sua expedição. No embalamento, há a colocação do produto acabado em embalagens dos mais variados formatos. Esta etapa é concebida não só para marcas próprias da empresa, mas também de marcas externas e marcas da distribuição. É de ressaltar, que todo o produto embalado é posteriormente passado por um detetor de metais, de forma a garantir que não há presença de produtos metálicos no seu interior.

Uma vez embalado, o arroz é armazenado no armazém até ser expedido para clientes nacionais e de exportação.

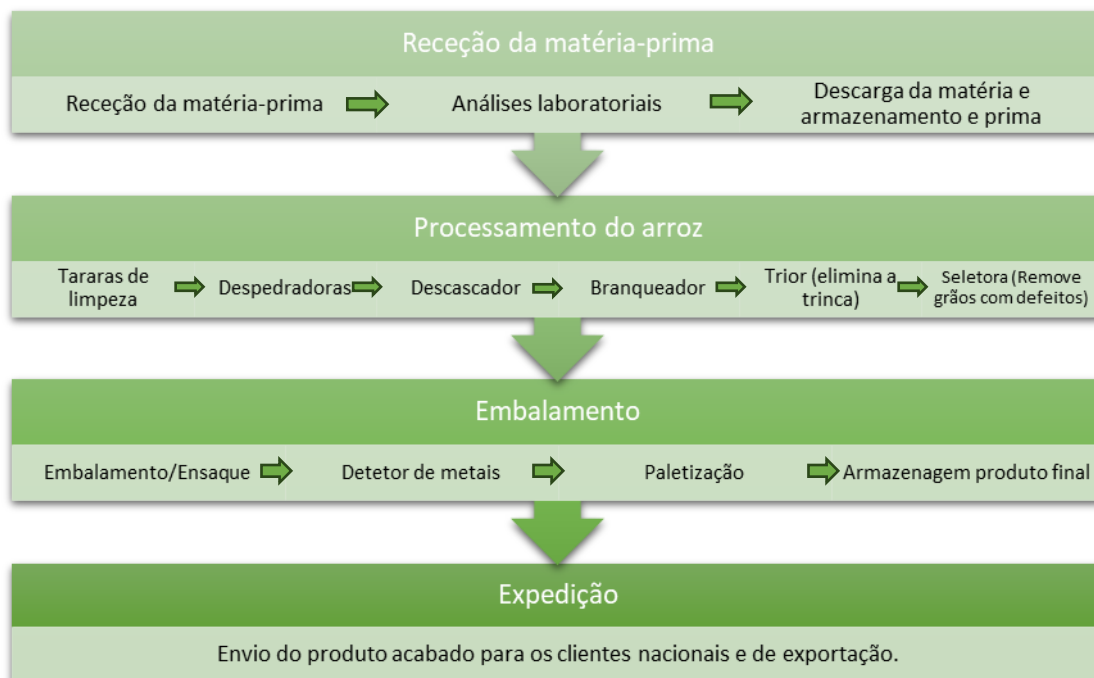


Figura 11. Representação esquemática do fluxograma simplificado da indústria Novarroz.

Simultaneamente à comercialização de arroz, há também a comercialização dos subprodutos indicados anteriormente provenientes do processamento do arroz rececionado. Nas etapas do moinho são produzidos: casca, proveniente do descasque; farelo/sêmea, proveniente do branqueamento; bem como trinca e rejeitados (grãos com defeitos) que são obtidos do trior e da seletora, respetivamente. Desta forma, esta indústria segue um modelo de economia circular, onde até os resíduos produzidos possuem valor comercial e seguem para outras indústrias.

1.11. Objetivo

O estágio na Novarroz, Produtos Alimentares, SA teve como principal objetivo promover a aplicação dos conceitos teóricos aprendidos ao longo do ciclo de estudos num ambiente industrial. Conhecer toda a realidade industrial numa indústria transformadora de arroz com um marcado compromisso assumido na segurança alimentar, bem como conhecer os variados procedimentos inerentes à qualidade e tecnologia produtiva permitindo alargar conhecimentos e enriquecer a experiência profissional.

O estágio realizou-se no departamento da Qualidade da empresa, onde são diariamente efetuados controlos e análises à matéria-prima e produto acabado, bem como a subprodutos produzidos. Neste departamento foi desenvolvido o principal tema do estágio: Caracterização das variedades de arroz das subespécies Indica e Japónica da Campanha 2023/2024, através de um conjunto de análises muito utilizadas na empresa. Estas análises são realizadas recorrentemente de forma a caracterizar as variedades de arroz presentes empresa e de forma a ir de encontro ao requerido pelos clientes.

Para além disso, também foram realizados um conjunto de atividades inerentes à manutenção das certificações de qualidade e segurança alimentar da empresa. Dentro dessas atividades, destacam-se o acompanhamento de auditorias, o preenchimento de inquéritos de homologação de clientes, a revisão documental de procedimentos e de planos da qualidade (HACCP, Food Fraude, Food Defense, gestão de crise, análises de risco, entre outros), a atualização de instruções de trabalho de um sistema de gestão integrado entre outras atividades do quotidiano de uma industria alimentar.

2. Material e Métodos

2.1. Amostras de arroz

No início da campanha de 2023/2024 foram rececionadas variedades de arroz, as quais foram alvo de diversas análises. Para o relatório de estágio foram selecionadas amostras de arroz provenientes de várias localizações geográficas para o estudo dos resultados. As amostras selecionadas provêm de arroz rececionado em casca ou em película na empresa, tendo este sofrido posteriormente um processo de descasque e branqueio ou apenas de branqueio, quando aplicável.

As variedades de arroz analisadas são 13 e pertencem à espécie *Oryza sativa*, sendo 7 pertencente à subespécie Japónica e 6 à subespécie Indica. A tabela 4 inclui a codificação para as amostras utilizadas, sendo que a codificação é baseada na tipologia do arroz e na

subespécie deste. Por motivos de confidencialidade da empresa, a variedade real em estudo não é passível de ser divulgada.

Tabela 4: Codificação das amostras de arroz em estudo

Subespécie	Tipo de arroz	Codificação
Japónica	Carolino	C1
		C2
		C3
	Médio	M
	Risotto	Ri1
		Ri2
	Redondo	Re
Indica	Agulha	A1
		A2
		A3
	Basmati	B
	Jasmin	J
	Vaporizado	V

A amostra de Vaporizado é uma amostra de uma variedade Indica, mas que sofreu um processo de vaporização. As restantes amostras tiveram o mesmo tipo de tratamento entre si (descasque e branqueio).

2.2. Determinação do teor de humidade

O teor de humidade do arroz pode ser calculado com recurso a uma termobalança HB43-S Halogen (Figura 12). Este equipamento é calibrado por amostras recorrendo à metodologia de secagem recorrendo à estufa. Considerando a sua correta calibração, a termobalança determina a percentagem da humidade por cálculo da diferença entre o peso inicial e o peso final (após secagem) da matéria-prima. O arroz em casca é triturado num moinho e, posteriormente, é colocado na termobalança, entre 4,3 a 5,8 g de amostra. Uma vez no equipamento, há uma fonte de calor intrínseca que promove a secagem da amostra para se concluir acerca da percentagem de humidade.



Figura 12. Termobalança HB43-S Halogen para determinação do teor de humidade

2.3. Determinação das características físicas/biométricas

Algumas características físicas/biométricas, tais como as dimensões do grão, a percentagem de defeitos e o grau de brancura do grão, podem ser obtidas com recurso a equipamentos como o VIBE Imaging Analytics (equipamento de Imagiologia) e o Kett Electric Laboratory (colorímetro).

O VIBE Imaging Analytics é um equipamento com software estatístico que permite a captura da imagem dos grãos de arroz da amostra em estudo e que efetua a análise estatística dos resultados, fornecendo informações acerca das dimensões (comprimento, largura e razão comprimento/largura) do grão e o tipo e percentagem de defeitos. Este equipamento é utilizado para obter informações acerca dos grãos de arroz defeituosos. A preparação da amostra para esta análise neste equipamento é simples, sendo necessário uma quantidade entre 15 a 20 g de arroz de cada variedade em estudo, que deverão ser espalhados homogeneamente e sem sobreposições no tabuleiro do equipamento.

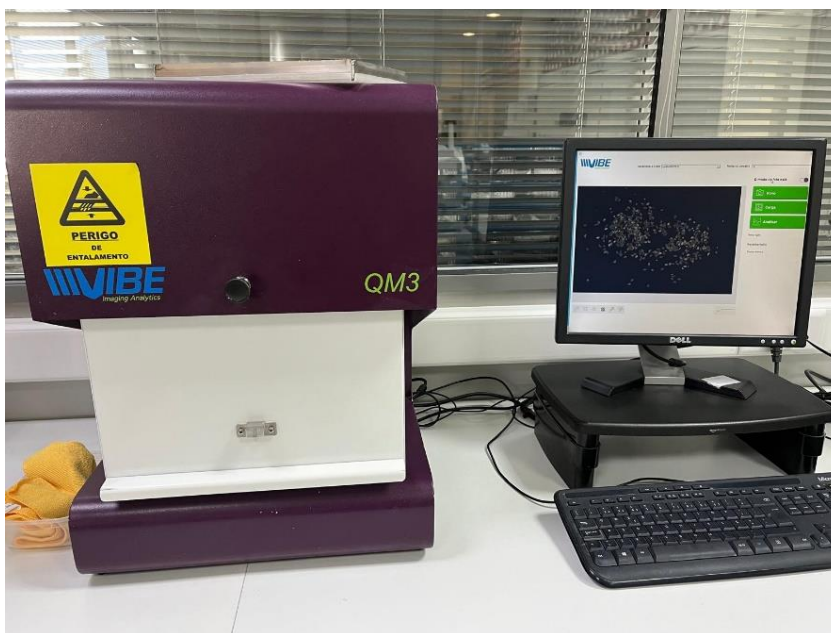


Figura 13. Equipamento VIBE Imaging Analytics

O Kett Eletic Laboratory é um colorímetro que permite obter o grau de brancura de uma determinada amostra de arroz por comparação com o padrão de referência. O parâmetro medido por este equipamento é vulgarmente designado de kett. Antes de qualquer análise efetuada, deve-se garantir que o equipamento está calibrado, recorrendo à introdução da peça padrão de cor branca no interior do aparelho. Após calibração, deve-se colocar a amostra de arroz na peça destinada à análise e inseri-la no equipamento. O valor de Kett



Figura 14. Kett Eletic Laboratory (colorímetro) para análise do grau de brancura

obtido é apresentado no visor e estará enquadrado numa gama de valores entre 0 a 100, que será tanto maior quanto maior for o grau de brancura do arroz analisado.

2.4. Determinação do tempo de cozedura

A determinação do tempo de cozedura segue um protocolo interno da empresa Novarroz, Produtos Alimentares SA. Esse protocolo, que é baseado no método ISO 14864:1998, contempla a colocação de 5 difusores numa panela de água a ferver. Cada difusor contém 20 grãos de arroz, previamente selecionados manualmente. Após a colocação dos difusores na panela a ferver a 100°C, inicia-se a contagem do tempo por um período mínimo que vai depender da variedade em análise (recorre-se tipicamente a um período mínimo de 15 minutos, que será ajustado ao longo do estudo consoante o arroz em causa). Após esse período mínimo, retira-se um difusor a cada um minuto em cada uma das panelas (recorre-se ao uso de duas panelas para existir duas réplicas em estudo). Imediatamente após a retirada dos difusores das panelas, mergulha-se os mesmos em água fria de forma a interromper a cozedura. Depois do procedimento ser repetido para os vários difusores, deve-se analisar cada difusor, colocando os 20 grãos de cada difusor numa placa de Petri, de forma dispersa. Os grãos foram pressionados com uma segunda placa de Petri com o objetivo de identificar a presença ou a ausência de núcleos brancos. Quando não são identificados núcleos brancos, significa que o arroz estava totalmente cozido ao fim do tempo ao qual correspondia o difusor que possuía aqueles grãos de arroz. Quando é possível identificar núcleos brancos, o procedimento é repetido até estes estarem totalmente ausentes.

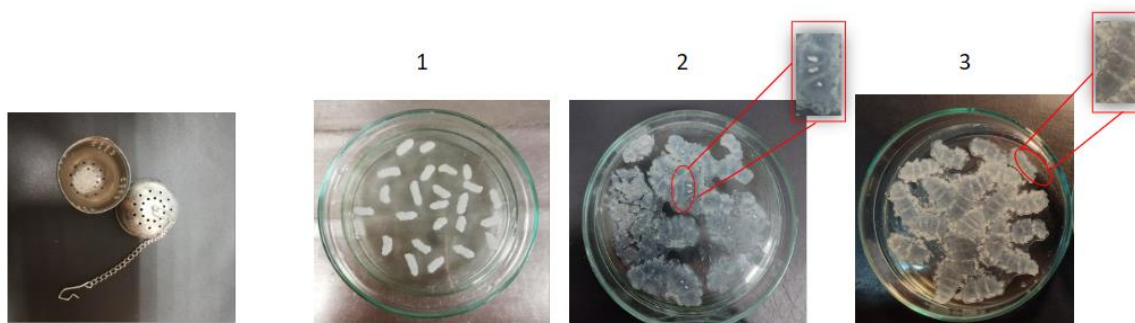


Figura 15. Teste de cozedura do arroz com difusor. 1: Dispersão dos 20 grãos numa placa de Petri; 2: Presença de núcleos brancos; 3: Ausência de núcleos brancos

2.5. Determinação de propriedades reológicas do arroz

A determinação das propriedades reológicas das variedades de arroz em estudo foi obtida com recurso ao equipamento Rapid Visco Analyser (RVA) da Perten. Este instrumento é um viscosímetro rotacional que está programado com condições de temperatura controladas que permitem simular o comportamento do arroz durante a sua cozedura. Desta forma, este equipamento vai fornecer informações acerca da tendência de gelatinização e retrogradação do amido presente no arroz, através dos parâmetros fornecidos no gráfico.

O equipamento está ligado a um programa para o Windows, o Thermocline, que é responsável pela execução dos ciclos de aquecimento e arrefecimento.

Antes de se colocar o arroz no equipamento, é necessário realizar uma preparação da amostra que se pretende analisar. A preparação da amostra requer que o arroz seja passado num triturador (3100 Perten Instruments), a partir do qual se obtém a farinha de arroz com a granulometria adequada para o equipamento (0,5 mm). Após isso, mediu-se a humidade na termobalança e colocou-se o valor obtido no software que irá calcular o valor de água destilada e de amostra de farinha que se deve utilizar para garantir que existe uma uniformização das condições das amostras quando analisadas. Desta forma, com estes dados, deve-se misturar no copo apropriado do aparelho a farinha e a água destilada e deve-se colocar a mistura no equipamento. Através do software, deve-se colocar o ensaio a decorrer. Este ensaio segue o Método Internacional 61-02.01 da American Association of Cereals Chemistry (AACC) [27]. Deverão ser realizadas duas réplicas do ensaio por amostra [27].

O método utilizado recorre a ciclos de tempo e temperatura característicos e bem definidos e que podem ser encontrados na tabela 4.

Tabela 3: Ciclos de tempo e temperatura característicos do método internacional 61-02.01 da AACC para análise do perfil viscográfico do arroz [27]

Ciclos	Temperatura (°C)	Tempo a que se inicia o ciclo (min:seg)
1º	50	01:00
2º	50	04:45
3º	95	07:15
4º	50	11:06
Fim do ensaio	-	12:30

Após o ensaio ter terminado, obteve-se um gráfico com o perfil da viscosidade e da temperatura. Deste perfil gráfico, são obtidos os parâmetros: pico da viscosidade, viscosidade da vala, breakdown, viscosidade final, setback ou retrogradação, temperatura de gelatinização e tempo do pico [53].

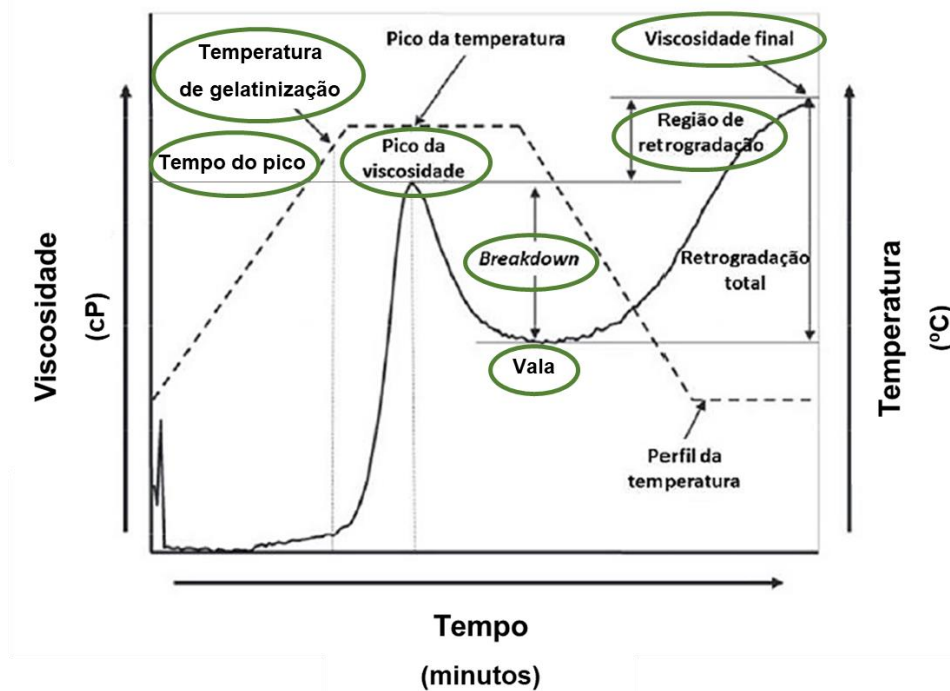


Figura 16. Perfil da Viscosidade do arroz e da temperatura no decorrer do tempo de ensaio. Adaptado de [53]

A viscosidade de vala é o valor mínimo de viscosidade alcançado pela amostra, correspondendo ao momento em que ocorre a rutura dos grânulos de amido. O breakdown é determinado pela diferença entre a viscosidade máxima e a mínima, o que representa a desintegração dos grânulos de amido. O setback, ou também designado retrogradação, é a fase em que ocorre a reorganização das estruturas de amilose e amilopectina durante o arrefecimento, e é calculado pela diferença entre a viscosidade final e a mínima. Já a temperatura de gelatinização indica a temperatura mínima necessária para cozinhar uma determinada amostra, representando, assim, a temperatura em que a viscosidade começa a aumentar. Por fim, a viscosidade final é o valor atingido pela amostra após um ciclo de aquecimento e arrefecimento, correspondendo à viscosidade quando a pasta de amido se estabiliza. Este parâmetro está relacionado com a capacidade do amido formar um gel mais rígido ou mais macio conforme a diminuição da temperatura [54].

2.6. Análise Estatística dos Resultados

Para a análise da percentagem dos grãos gessados e da biometria do grão (dimensão destes) foi realizado um ensaio, recorrendo ao equipamento de análise estatística VIBE Imaging Analytics. Os resultados, tal como explicado anteriormente, foram obtidos a partir da análise de diversos grãos e o próprio equipamento faz a análise estatística dos resultados, apresentando o valor médio dos dados.

A determinação do teor de humidade do arroz, do grau de brancura deste e do seu tempo de cozedura também foi feita num ensaio. Os resultados obtidos encontram-se na tabela A1.

Os restantes parâmetros foram analisado recorrendo a pelo menos dois ensaios, e os resultados apresentados na tabela A2 correspondem à média dessas avaliações. As correlações de Pearson foram efetuadas com o auxílio do software GraphPad Prism 10, com o objetivo de investigar as relações entre os vários parâmetros analisados. Os resultados podem ser encontrados em anexo, na tabela A2. A análise dos resultados obtidos das propriedades reológicas foi uma análise de variância (ANOVA) com o teste de Tukey ($p < 0,05$) no software GraphPad Prism 10, a fim de identificar diferenças significativas entre as amostras estudadas.

3. Resultados e Discussão

3.1. Teor de Humidade

A qualidade do arroz pode ser influenciada por vários fatores, sendo a humidade um dos fatores principais. O arroz com destino a consumo, segundo o decreto-lei nº 157/2017 [49], só pode ser comercializado com humidade inferior a 14%, já que uma humidade superior propicia o desenvolvimento de microorganismos e fungos no arroz, que leva à fermentação do mesmo, o que degrada a qualidade deste. Desta forma, é importante a monitorização da percentagem de humidade da matéria-prima à chegada das instalações da empresa, bem como no produto final, de forma a garantir que este critério é cumprido no momento da comercialização do arroz. Na figura 17 são apresentados os valores dos teores de humidade obtidos para cada uma das amostras das variedades em estudo.

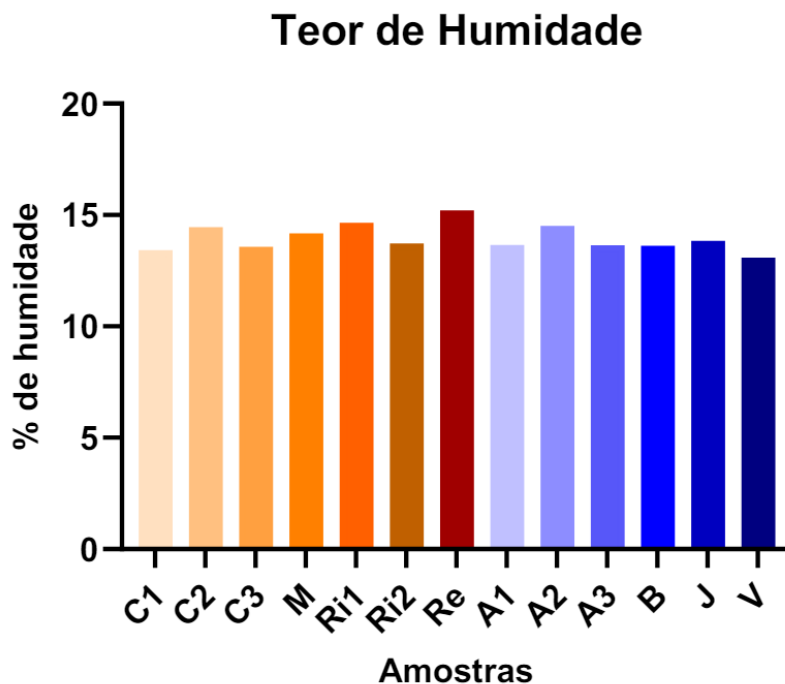


Figura 17. Representação gráfica da % de humidade das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

Tendo em conta os resultados obtidos, é possível constatar que a humidade das amostras analisadas varia entre um valor mínimo de 13,09% e o valor máximo de 15,2%.

As amostras C2, M, R1, Re e A2 possuem valores de humidade acima do permitido pela legislação. Desta forma, antes do processamento e comercialização deste arroz, é necessário que seja submetido a um processo de secagem para que o teor de humidade

enquadre na legislação. Além disso, o controlo da temperatura dos silos que possuem esta matéria-prima, também é um controlo importante para evitar o desenvolvimento de microorganismos, uma vez que a temperatura conjugada com a humidade existente no arroz pode causar danos irreversíveis na matéria-prima.

3.2. Características Biométricas

O arroz tem diferentes características físicas consoante a sua variedade. Estas características, por sua vez, irão afetar a qualidade do arroz, sendo um fator influenciador da escolha dos consumidores.

Desta forma, analisar as dimensões do grão, tendo em conta variações no comprimento, largura e na relação destes, é fundamental para entender as diferenças entre grãos de diferentes variedades de arroz.

As amostras em estudo foram analisadas quanto às variáveis comprimento, largura e relação comprimento /largura, e os resultados encontram-se representados na figura 18.

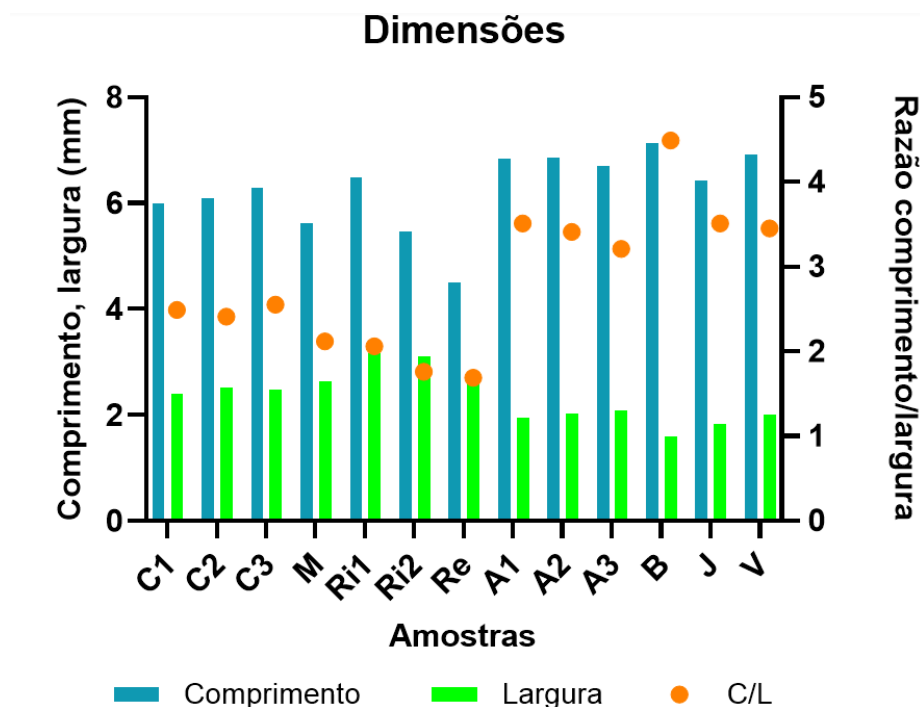


Figura 18: Representação gráfica do comprimento, largura e respetiva razão comprimento/largura das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

Após análise dos resultados é possível verificar que as amostras da subespécie Japonica possuem um comprimento baixo e uma largura elevada o que resulta em valores de razão C/L inferiores aos obtidos nas subespécie Indica. Os valores de razão comprimento/largura superiores foram obtidos para o arroz aromático (amostra B e J), tendo maior destaque a

amostra B. Estes valores devem se ao facto das variedades aromáticas serem caracterizadas por possuírem grãos finos e longos, principalmente o arroz Basmati.

As restantes amostras da subespécie Indica possuem um comprimento superior a 6,0 mm e uma razão comprimento/largura superior a 3,0 mm, conforme o que é dito pela legislação [49].

Quanto às variedades de carolino (subespécie Japónica), a legislação estabelece que o comprimento tem de ser superior a 6,0 mm e a razão comprimento/largura estar entre 2,0 e 3,0 mm. Desta forma, as amostras de Carolino analisadas (amostras C1, C2 e C3) cumprem com o legislado no Decreto-lei 157/2017 [49].

A amostra M apresentou comprimento inferior às amostras de carolino e também menor razão C/L, o que está de acordo com o legislado para este tipo de arroz: comprimento entre 5,2 mm e 6,0 mm e razão C/L inferior a 3,0 mm.

As amostras Ri1 e Ri2 apresentaram comprimento mais variável, no entanto possuem os valores de largura mais elevados das variedades estudadas.

Por último, a amostra Re possui o menor comprimento entre as amostras analisadas e possui uma razão comprimento/largura também baixo, o característico para este tipo de arroz dada a sua forma mais arredondada.

A partir dos diferentes parâmetros de comprimento, largura e razão C/L, é possível analisar as correlações entre as dimensões dos grãos e as respetivas razões C/L. Desta forma, os gráficos presentes na figura 19 ilustram as correlações referidas.

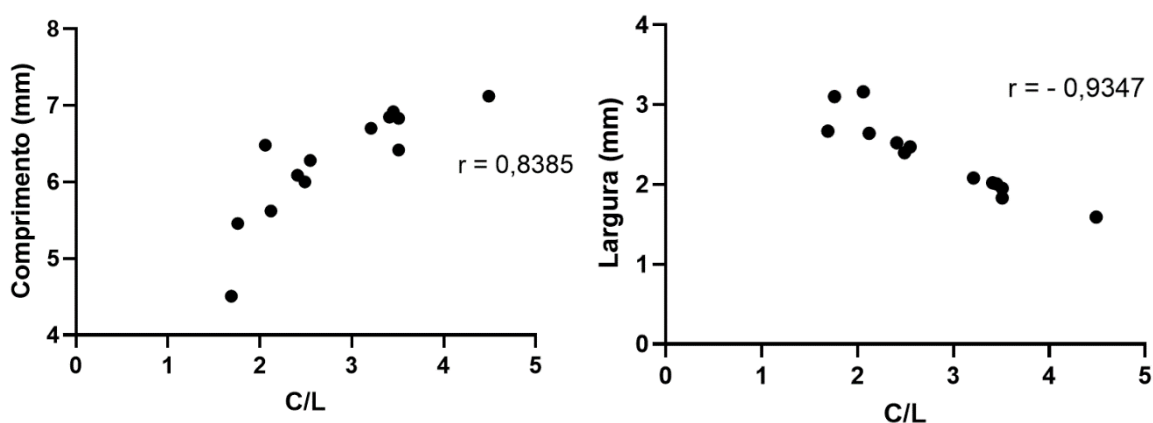


Figura 19. Correlação positiva (gráfico da esquerda) entre o comprimento do grão e a razão C/L. Correlação negativa (gráfico da direita) entre a largura do grão e a razão C/L.

Por análise dos gráficos, é possível verificar que o comprimento do grão se correlaciona positivamente com a razão C/L (Figura 19), possuindo um coeficiente de Pearson (r) de 0,8385, sendo os resultados estatisticamente significativos ($p < 0,05$), o que indica que

quanto maior o comprimento do grão, maior será a sua razão comprimento/largura. Quando à correlação da largura do grão com a razão C/L, estes correlacionam-se de forma negativa, possuindo um coeficiente de Pearson (r) de $-0,9347$ ($p < 0,05$), indicando que quanto maior a largura do grão, menor será a sua razão comprimento/largura.

Outros parâmetros importantes na avaliação da qualidade do arroz são o grau de brancura e a percentagem de grãos gessados, afetando a escolha do consumidor e o valor comercial do produto.

Os grãos gessados, segundo a legislação, são grãos que apresentam coloração branca opaca. Estes grãos existem devido a um processo deficiente de maturação do grão sendo a exposição a altas temperaturas durante o processo de maturação uma das principais causas [55].

Uma vez que é considerado um grão defeituoso, existem valores legislados para a presença destes grãos no produto acabado de arroz destinado a comercialização, sendo no máximo de 3,0% para o arroz da classe “Extra” e 5,0% para o arroz da classe “Comum”, tendo em consideração as tolerâncias analíticas legisladas [49].

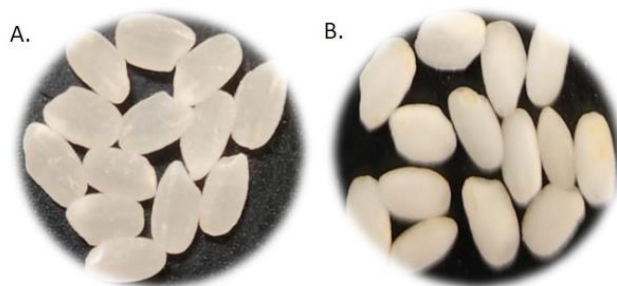


Figura 20. A: Grãos de arroz sem defeitos; B: Grãos de arroz gessados

Já o grau de brancura do arroz é o parâmetro medido através da análise do valor de kett que mede a luz que uma amostra de arroz branqueado é capaz de refletir. Ao longo do processo de branqueamento são removidas as camadas de pericarpo do grão de arroz de modo a se atingir a cor branca tipicamente desejada pelos consumidores. Desta forma, o tempo ao qual o arroz é submetido a este processo influenciará a tonalidade branca do arroz, sendo que quanto mais tempo demorar o branqueamento do grão, maior será a sua cor branca, ou seja, o seu grau de brancura.

Desta forma, os dois parâmetros acima mencionados – % de gessados e Grau de brancura – influenciam a qualidade do arroz. Na figura 21 é possível verificar os resultados dos valores de Kett e de percentagem de grãos gessados presente nas amostras estudadas.

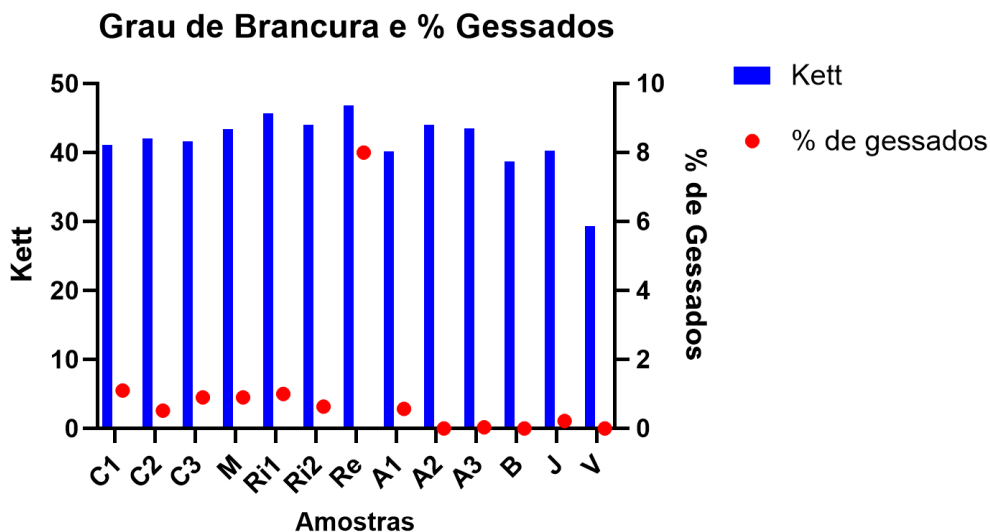


Figura 21. Representação gráfica do grau de brancura (valor de kett) e a % de gessados das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

Pela análise do gráfico é possível verificar que a amostra com maior valor de Kett é a amostra Re e que a amostra com menor valor deste parâmetro é a amostra V. No caso da amostra V, este tipo de arroz é submetido a um tratamento de vaporização ao longo do seu processo, o que incorpora um tom dourado ao arroz, pelo que um grau de brancura menor que nas outras variedades é normal nesta tipologia de arroz.

Quanto à percentagem de grãos gessados, também a amostra V possui um valor nulo de gessados, uma vez que com o tratamento de vaporização referido provoca a gelatinização do amido durante o seu processo, levando à não ocorrência destas características no grão. Já nas restantes amostras, a ocorrência de gessados vai depender dos atributos genéticos das variedades e das condições ambientais em que ocorre a maturação dos grãos [55].

É possível, ainda, relacionar a percentagem dos grãos gessados com o grau de brancura do grão, uma vez que é de esperar que uma maior percentagem de grãos gessados nas amostras de arroz propicie num maior valor de kett medido. A figura 22 demonstra a correlação efetuada entre a percentagem dos grãos gessados e o grau de brancura do arroz ($r = 0,4331$), no entanto, esta correlação não é significativa ($p > 0,05$).

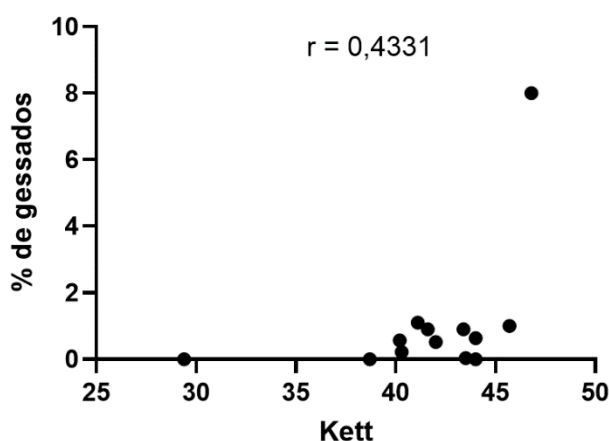


Figura 22. Correlação positiva entre a percentagem de gessados e o grau de brancura (valor do kett)

3.3. Tempo de Cozedura

O tempo que um arroz demora até estar totalmente cozido é um parâmetro influenciador da escolha do arroz por parte do consumidor. A escolha de variedades de arroz que possuam um menor tempo de cozedura tem crescido entre os consumidores.

Os tempos de cozedura vão depender do tipo de arroz analisado, sendo que na figura 23 é possível analisar os tempos de cozedura obtidos para as diferentes amostras de arroz estudadas.

Pela análise dos resultados obtidos, verifica-se que o tempo de cozedura das amostras em estudo variam entre 16 minutos e 24 minutos. De uma forma geral, é possível notar que as variedades da subespécie Indica possuem um tempo de cozedura inferior à das variedades subespécie Japónica, à exceção das amostras A2 e A3 que possuem um tempo de cozedura mais elevado. A amostra C3 foi a amostra do arroz com maior tempo de cozedura e a amostra A1 foi a que possuiu um menor tempo de cozedura. A amostra V possui um tempo baixo de cozedura explicado pelo processo de vaporização a que é submetido no processo.

É, ainda, possível verificar pela análise do gráfico que para o mesmo tipo de arroz, as variedades podem ter valores de tempo de cozedura diferentes. Isto pode ser explicado pelo facto dos tempos de cozeduras ser influenciado pelas características físico-químicas do grão, das condições climáticas a que o arroz é submetido, da zona geográfica do cultivo e do ano da colheita do arroz [56].

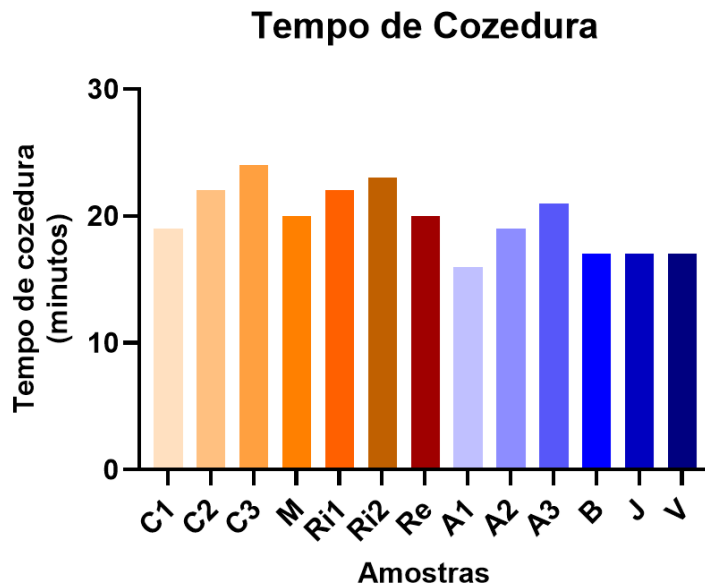


Figura 23. Representação gráfica do tempo de cozedura (em minutos) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

Dentro das características físicas que influenciam o tempo de cozedura, o parâmetro razão C/L parece ter um papel de grande importância. Através do gráfico representado na figura 24, é possível ver a correlação entre o tempo de cozedura do grão e a razão comprimento/largura das amostras em estudo. Esta correlação é negativa e significativa ($p < 0,05$) e desta forma, grãos com maior comprimento e menor largura, têm uma razão C/L elevada e como tal apresentarão tempos de cozedura inferiores. Assim, variedades da subespécie Indica tendem a ter valores de tempo de cozedura inferiores aos das variedades das subespécies Japonicas. Isto é facilmente justificado pela penetração de água ser facilitada quando temos uma área de contacto do grão superior, o que faz com que o grão absorva a água mais rapidamente.

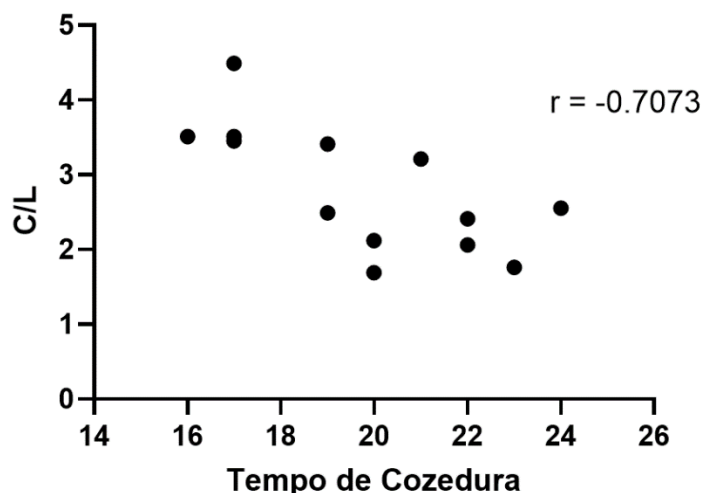


Figura 24. Correlação negativa entre a razão comprimento/largura e o tempo de cozedura do arroz das amostras em estudo

A razão C/L dos grãos de arroz tem influência na área de contacto do grão, sendo que grãos com C/L superiores têm uma maior área de contacto com o meio envolvente, o que permite facilitar a absorção de água. Desta forma, grãos de arroz da subespécie indica tendem a ter tempos de cozedura mais baixos quando comparados com os grãos de arroz a subespécie japónica.

3.4. Propriedades Reológicas

As propriedades reológicas do arroz foram estudadas através do método de RVA (Rapid Visco Analyser), sendo que este permite estudar o comportamento do arroz durante e após este ser cozido [57]. Este método é bastante sensível e reproduz o processo de cozedura dos cereais quando estes são suspensos em água e submetido a ciclos de temperatura. O equipamento fornece um perfil de viscosidade e um perfil de temperatura, de onde são extraídos os dados, no entanto, estes não são capazes de prever qualidades sensoriais com elevada precisão [57, 58].

Como referido anteriormente, o perfil de RVA que se obtém permite extrair vários dados acerca da amostra em estudo: Pico de viscosidade, vala de viscosidade, breakdown, viscosidade final, setback ou retrogradação, tempo do pico e temperatura de gelatinização. Os resultados obtidos para cada parâmetro serão explorados para as várias amostras analisadas. Os resultados obtidos podem ser encontrados na tabela A2.

3.4.1. Pico de Viscosidade

O pico de viscosidade do amido representa o valor máximo de viscosidade alcançado e simboliza o ponto de equilíbrio entre o inchaço do grânulo e a sua rutura [22].

A figura 25 representa os vários valores de pico de viscosidade para cada amostra em estudo.

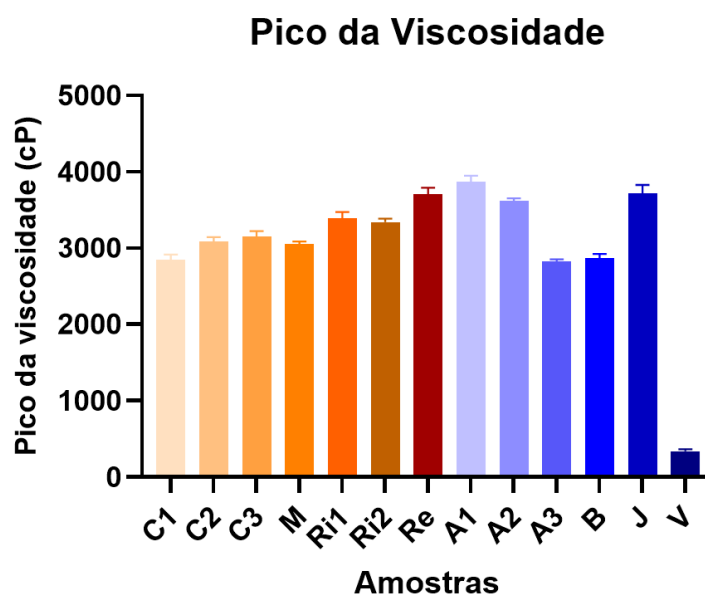


Figura 25. Representação gráfica do pico de viscosidade (cP) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

A amostra com menor pico de viscosidade dá-se para a amostra V, tendo uma diferença muito significativa quando comparado com as restantes amostras. A razão para este valor de pico tão reduzido é devido ao processo de vaporização que o arroz da amostra sofre durante o seu processo. Assim, durante o processo de vaporização, os grânulos de amido já passam por um processo de gelatinização e na cozedura não têm capacidade de absorver água. Posto isto, este tipo de arroz vai possuir um comportamento diferente dos restantes dada a peculiaridade do seu processamento.

A amostra com valor mais elevado de pico de viscosidade é a amostra A1 (pertencente à subespécie Indica), seguida da amostra J (também da subespécie Indica). Segundo a literatura, as variedades que possuem um teor de amilose menor e um teor de amilopectina superior, tipicamente associado a variedades da subespécie Japónica, têm a tendência de possuir valores de pico de viscosidade superiores. [27] A razão para este fenómeno relaciona-se com a facilidade com que os grãos destas variedades incham. [59] No entanto, nas amostras analisadas não se verificou sempre esta tendência, uma vez que as amostras A1, A2 e J, pertencentes à subespécie Indica apresentam valores de pico de viscosidade superior às amostras da subespécie Japónica. As diferenças existentes devem-se ao facto

de o teor em amilose e amilopectina não ser o único fator a influenciar a forma como o amido se comporta na presença de água e de temperatura. Há estudos que demonstram que o pico de viscosidade também é afetado por fatores ambientais, uma vez que as condições de temperatura e de humidade afetam o teor de amido presente no arroz [57, 58]. As proteínas também influenciam este valor, uma vez que as proteínas podem complexar com as moléculas de amilose. [57, 58]

O Decreto-Lei 157/2017 que define as características do arroz destinado a consumo define valores de pico para as variedades de arroz comercializadas como arroz Carolino e como arroz Agulha. Para o arroz Carolino, a legislação impõe valores de pico de viscosidade superiores a 2600cP, enquanto para o arroz Agulha o valor do pico não deve ultrapassar os 2500 cP. No entanto, das amostras analisadas, conseguimos depreender que as amostras de arroz agulha (A1 e A2) não cumprem com esta legislação. Já as amostras de Carolino, estão de acordo com o Decreto-Lei 157/2017 [49]. Este incumprimento pode ser explicado pelo facto de o Decreto-Lei ter sido elaborado há alguns anos e as propriedades reológicas variarem com as características do ano da colheita, do solo de cultivo, bem como com a localização do mesmo.

3.4.2. Temperatura de Gelatinização

A temperatura de gelatinização é outro parâmetro que se consegue extrair da análise pelo RVA e é caracterizada como sendo a temperatura mínima necessária para que a amostra aumente de viscosidade, ou seja, que se inicie a gelatinização. Na figura 26 é possível ver os valores de temperatura de gelatinização para as amostras em estudo.

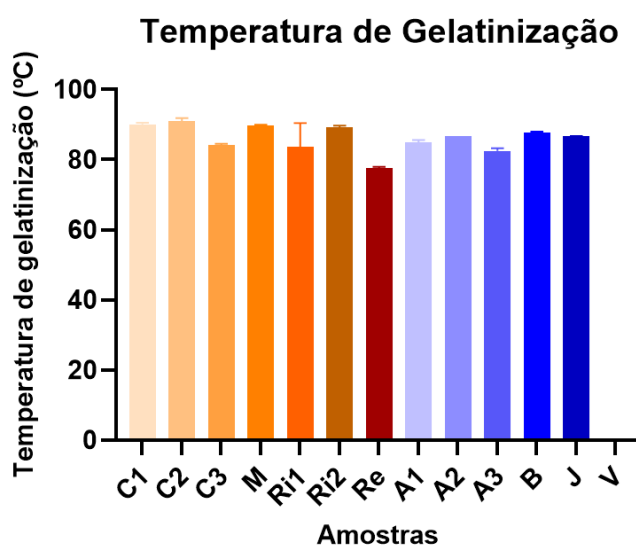


Figura 26. Representação gráfica da temperatura de gelatinização (°C) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

Como é possível concluir através da análise gráfica bem como da análise dos dados presentes no anexo A2, os valores da temperatura de gelatinização variam entre 77,5°C e 91°C, sendo o valor de temperatura mais baixo para a amostra Re (pertencente à subespécie Japónica) e o valor de temperatura mais elevado para a amostra C2 (também pertencente à subespécie Japónica). A amostra V não possui temperatura de gelatinização, uma vez que no processo de vaporização dos grãos deste arroz, estes foram submetidos a gelatinização, pelo que o equipamento não consegue determinar este dado.

A capacidade de gelatinização do amido é influenciada pela composição deste, pelas estruturas moleculares da amilopectina (tais como comprimento da cadeia, extensão das ramificações, entre outros parâmetros) e pela proporção de estruturas cristalinas e amorfas [60]. A amilopectina influencia fortemente a estrutura cristalina do amido e a presença de amilopectina com cadeia ramificada comprida faz aumentar a temperatura de gelatinização comparativamente com cadeias ramificadas de amilopectina mais curtas. Este fenómeno deve-se ao facto de que as cadeias de amilopectina formarem regiões ordenadas e compactas nos grânulos de amido [61]. Há estudos que demonstram também que cadeias em hélice de amilopectina exigem uma temperatura superior para atingir a gelatinização [62].

A temperatura de gelatinização também pode ser influenciada pelo teor de proteínas no arroz, uma vez que estas também concorrem com o amido pela absorção de água livre, fazendo aumentar a temperatura de gelatinização [62].

Também a presença de lípidos pode afetar a absorção de água pelos grânulos de amido. Os fosfolípidos presentes nos grânulos podem complexar com a amilose, impedindo a ligação desta às moléculas de água, o que resulta numa menor capacidade de os grânulos inchar, fazendo aumentar a temperatura de gelatinização [22].

Nas amostras em estudo não há grandes variações estatisticamente significativas, não se verificando tendências de temperatura de gelatinização por subespécie existente, o que pode ser explicado pela enorme quantidade de fatores que influenciam este parâmetro.

3.4.3. Tempo do Pico

O tempo do pico é outro parâmetro que é possível extrair com a análise RVA. Este parâmetro caracteriza-se por corresponder ao tempo que uma determinada amostra demora para alcançar o seu valor máximo de viscosidade, ou seja, até alcançar o pico de viscosidade. Os valores obtidos para este parâmetro encontram-se na figura 27.

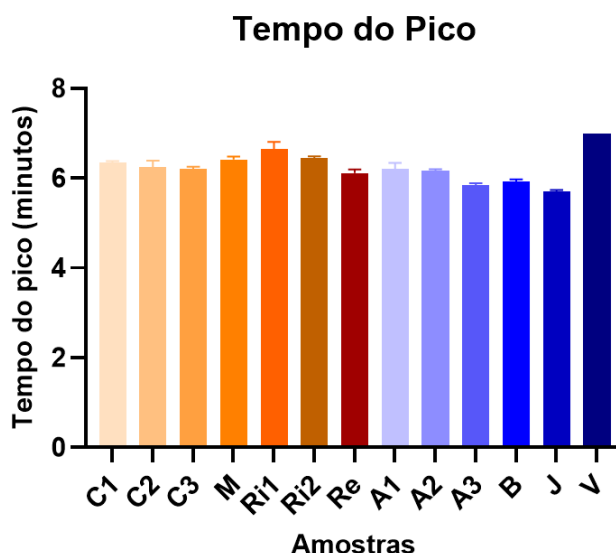


Figura 27. Representação gráfica do tempo de pico (em minutos) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

Pela análise do gráfico é possível constatar que o tempo do pico varia entre 5 e 7 minutos. Dentro dos resultados obtidos, não é possível encontrar uma tendência para os valores de tempo de pico obtidos. No entanto, há uma amostra que se destaca pelo seu valor mais elevado quando comparado com os restantes (tempo de pico = 7 minutos). Essa amostra é a amostra V e o seu valor mais elevado pode dever-se ao facto de os grãos vaporizados já terem sido submetidos a um processo de gelatinização e como tal os grânulos de amido já se estão gelatinizados o que faz com que mais dificilmente a viscosidade do amido aumente. Consequentemente, uma maior dificuldade num aumento de viscosidade é traduzido num maior tempo para atingir o seu pico.

De uma forma geral, é possível perceber que as os grânulos de amido demoram 5 a 6 minutos para absorver o máximo de água.

3.4.4. Vala da Viscosidade

No momento que os grânulos do amido absorvem a máxima quantidade de água e consequentemente atingem o pico de viscosidade, atinge-se o fenómeno de gelatinização. Este fenómeno pode ser analisado como sendo o momento em que se dá a rotura dos grânulos e a posterior lixiviação dos seus componentes. Desta forma, após o pico de viscosidade há uma acentuada diminuição da viscosidade da amostra. Este valor mínimo de viscosidade que é atingido dá-se o nome de vala da Viscosidade. Este acontecimento permite evidenciar que a gelatinização já ocorreu [57, 58].

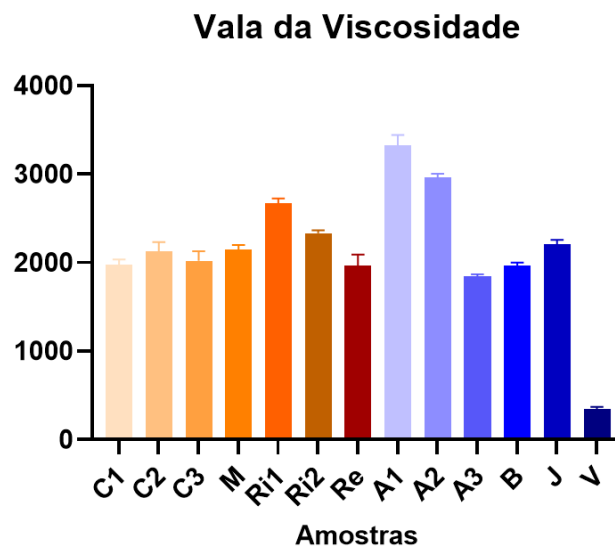


Figura 28. Representação gráfica da vala da viscosidade (cP) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

Os valores deste parâmetro para as amostras analisadas estão representados na figura 28. No entanto, o valor isolado da vala da viscosidade nada permite concluir acerca das amostras em estudo, uma vez que é a confluência entre os parâmetros de viscosidade mínima, viscosidade final que conseguem definir um padrão de viscosidade.

3.4.5. Breakdown

O valor do breakdown é resultado da diferença entre o valor do pico da viscosidade e o valor da vala da viscosidade. Este parâmetro permite medir o grau de desintegração dos grânulos de amido [63]. Amostras com elevado valor de breakdown são indicativas de uma elevada desintegração dos grânulos de amido e, consequentemente, amostras com um reduzido valor de breakdown sugerem precisamente o oposto [64].

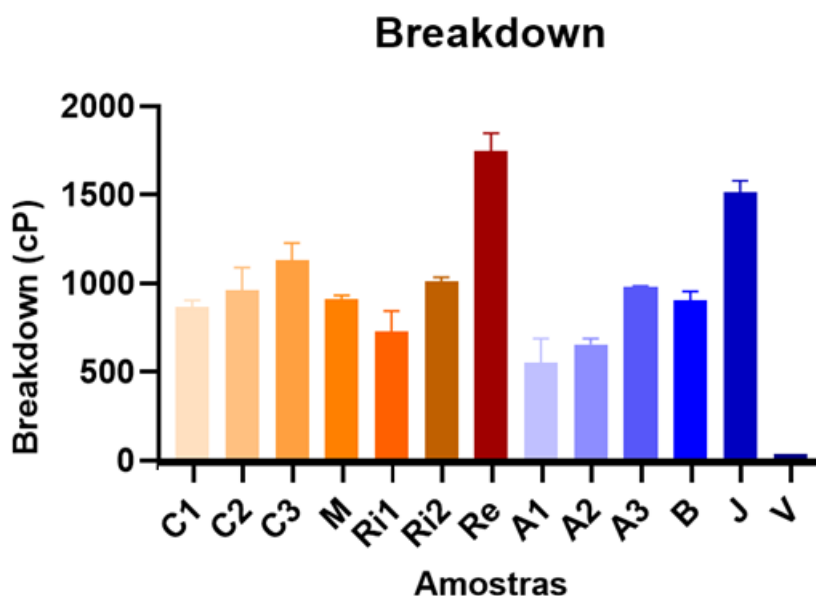


Figura 29. Representação gráfica do breakdown (cP) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

Os valores obtidos de breakdown para as diversas amostras em estudo podem ser analisados na figura 29.

Da análise do gráfico é possível compreender que as amostras que apresentam maiores valores de breakdown são as amostras Re (pertencente à subespécie Japónica) e amostra J (pertencente à subespécie Indica), sendo significativamente diferentes das restantes ($p < 0,05$). Desta forma, estas amostras possuem maior diferença entre do pico de viscosidade e a vala de viscosidade, o que indica que ocorreu maior desintegração dos grânulos de amido nestas variedades de arroz.

Já a amostra V destaca-se das restantes por apresentar um valor muito reduzido. Este valor deve-se à mínima diferença existente entre o pico de viscosidade e a vala de viscosidade que o amido da amostra atinge. Como os grânulos de amido deste tipo de arroz já foram submetido a gelatinização (durante o processo de vaporização), a capacidade destes grânulos incharem e de se desintegrarem é muito reduzida, o que não permite obter dados conclusivos.

3.4.6. Viscosidade Final

A viscosidade final do amido corresponde à viscosidade da pasta de amido após o arrefecimento até 50°C. Assim, este parâmetro permite avaliar a capacidade do amido formar uma pasta viscosa após o processo de cozedura e posterior arrefecimento.

O teor de amilopectina também influencia a viscosidade final obtida para os grânulos de amido. Uma vez que o maior teor de amilopectina é simultaneamente indicativo de um menor teor de amilose, é de esperar que um baixo valor deste polímero leve a um valor de viscosidade final inferior. Um menor teor de amilose faz com que após o processo de recristalização haja menor teor de água a ser expulso do interior dos grânulos recristalizados e como tal, menor será o valor de viscosidade final após o arrefecimento. [64]

Assim sendo, será expectável que as variedades de subespécie Japónica, caracterizadas por um teor de amilopectina superior, possuam valores de viscosidade final inferior à das variedades da subespécie Indica.

Os dados obtidos de viscosidade final para as amostras em estudo estão representados na figura 30.

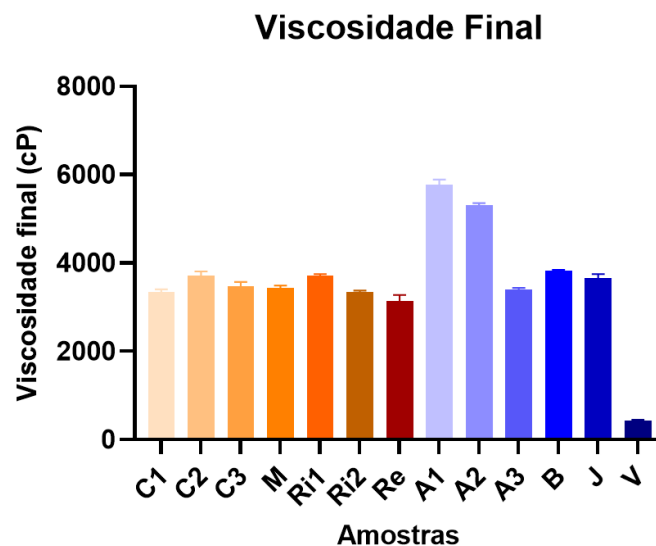


Figura 30. Representação gráfica da viscosidade final (cP) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

Por análise do gráfico e dos dados da tabela A2 constata-se que a viscosidade final das amostras A1 e A2 é mais elevada que a viscosidade final das amostras das variedades da subespécie Japónica, conforme expectável. No entanto, para as restantes amostras de variedade da subespécie Indica, o mesmo já não se verifica.

Mais uma vez, consegue-se concluir que o teor de amilopectina não é o único fator a influenciar este parâmetro.

3.4.7. Retrogradação (*Setback*)

A retrogradação, ou também designada por *Setback*, é outro parâmetro que pode ser extraído pela análise de RVA. Este é obtido pela diferença entre a viscosidade do pico e a viscosidade final [64].

Este parâmetro influencia a textura final do arroz após cozedura.

Segundo a literatura, o *setback* é muito influenciado pelo teor de amilose dos grânulos de amido, sendo que, geralmente, um maior teor de amilose (característico das variedades da subespécie *Indica*) vai levar a um maior valor de *setback*. Pelo contrário, um menor teor de amilose propicia menores valores para a retrogradação, o que se traduz num maior poder de inchaço. Apesar da capacidade de inchar dos grânulos esteja principalmente controlado pelo teor em amilopectina, a amilose atua com o efeito contrário, dificultando o inchaço [65].

Este parâmetro permite avaliar a qualidade do arroz quando cozido, pelo que um arroz com um valor de *setback* mais baixo (associado maioritariamente a variedades da subespécie japónica) não vai sofrer tanta retrogradação e como tal não fica rígido após a cozedura, mas sim com uma textura mais caldosa, característica muito apreciada nas variedades de *Carolino*, por exemplo. Este fenómeno é explicado na literatura com o facto de que a amilose, por ter uma estrutura essencialmente linear, sofre retrogradação mais rapidamente que a amilopectina [66]. Já no caso de valores de valores de *setback* mais elevados (associado às subespécies *Indicas*, como é o caso do arroz *Agulha*) vai levar a um processo de retrogradação superior, originando um arroz mais seco.

Na figura 31 estão representados os dados obtidos para o valor de *setback* para as amostras em estudo.

Por análise dos dados, consegue-se constatar que, de uma forma geral, as amostras das variedades da subespécie Japónica possuem um valor de *setback* inferior às variedades da subespécie *Indica*, com exceção das amostras A3, J e V.

No caso da amostra V, e à semelhança do que acontece nos restantes parâmetros obtidos pelo RVA, o arroz vaporizado sofre um processo de gelatinização anterior ao estudo, pelo que todos os resultados obtidos são afetados por esse fenómeno.

A amostra J apresenta valor de setback negativo, que se deve ao facto do pico da viscosidade não ter sido superado pelo aumento da viscosidade durante o arrefecimento. No entanto, para a variedade de Jasmin, apesar da mesma pertencer à subespécie Indica, esta apresenta tipicamente valores de setback negativos, o que é indicativo de uma textura após arrefecimento mais pastosa do que a textura vulgarmente atribuída às variedades indicas [67].

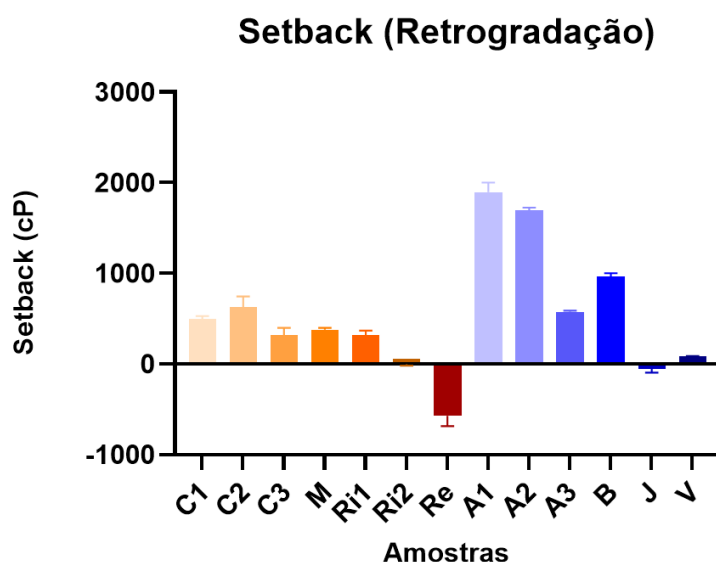


Figura 31. Representação gráfica do setback (cP) das variedades de arroz da Campanha 2023/2024 em estudo

Em Portugal, o Decreto-lei, à semelhança do que acontece para o valor do pico de viscosidade, também define valores de retrogradação para o Arroz Agulha e arroz Carolino. Os valores de setback para arroz do tipo Carolino não deve exceder os 600 cP, enquanto para o arroz Agulha o valor obtido de setback deve ser superior a 750cP. [49] As amostras de Carolino estudadas cumprem o estipulado no decreto-lei, sendo que a amostra C2 está ligeiramente acima do limite desse valor. No caso das amostras de Agulha, a amostra A1 e A2 estão claramente em concordância com a legislação, no entanto a amostra A3 não cumpre com o valor mínimo de 750 cP.

3.4.8. Correlação de parâmetros com o Pico de Viscosidade

Ao longo das várias interpretações efetuadas nos dados obtidos do RVA, verificou-se uma correlação entre o pico da viscosidade e outros parâmetros, tais como com a viscosidade final, com o breakdown e com a viscosidade final.

A correlação realizada entre estes parâmetros pode ser encontrada na figura 32.

Pela análise dos valores obtidos, é possível admitir uma correlação positiva entre os parâmetros. Assim, conclui-se que quanto mais elevado for o valor do Pico da viscosidade,

maior será a vala da viscosidade ($r = 0,8842$), maior será o breakdown ($r = 0,6504$) e também será maior a viscosidade final dos grânulos de amido ($r = 0,8416$).

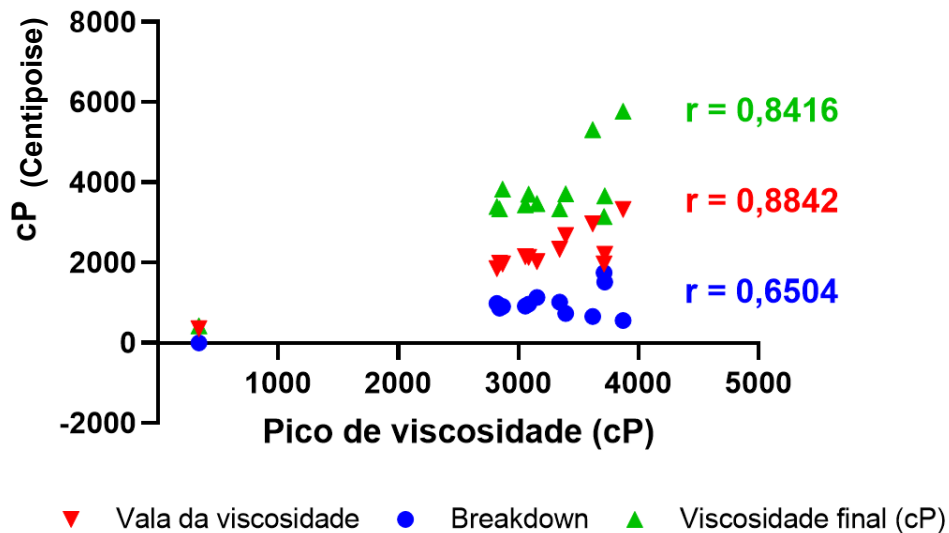


Figura 32. Correlação positiva entre o pico da viscosidade (cP - Centipoise) e os parâmetros Vala da Viscosidade, Breakdown e Viscosidade Final

Apesar da correlação positiva entre estes parâmetros, nem sempre os dados obtidos coincidem com o expectável. As diferenças obtidas são explicadas pelo facto de o grão de arroz e os grânulos de amido possuírem variados componentes que afetam o comportamento do amido. Como já mencionado ao longo da discussão, os componentes que podem afetar o comportamento do amido contemplam fatores intrínsecos, tais como lípidos e proteínas, bem como fatores extrínsecos, como a temperatura e pH [68].

4. Conclusão

A realização deste estágio cumpriu os objetivos inicialmente estipulados. Primeiramente, permitiu-me conhecer e integrar-me numa indústria alimentar, contactar com certificações de qualidade alimentar e interagir com os principais desafios que a Novarroz enfrenta diariamente. A nível pessoal, este estágio também cooperou para a formação de habilidades e competências que só se desenvolvem com a presença no mundo industrial.

Ao longo do tempo de estágio, também foi possível caracterizar algumas variedades de arroz da campanha 2023/2024 e definir as tendências para as diversas características físico-químicas, tendo em conta a variedade de arroz em estudo.

Relativamente à caracterização das variedades de arroz, para o parâmetro da humidade constatou-se que o valor deste varia entre 13,09% e 15,2%. Dentro dos resultados obtidos,

verificou-se que existem amostras que estão acima do valor legislado pelo Decreto-Lei português (Humidade < 14%). No entanto, quando tal se verifica, o teor de humidade do arroz é corrigido antes do processo de transformação.

Quanto à caracterização física dos grãos, a biometria permitiu concluir que a subespécie Japónica possui comprimentos inferiores e larguras superiores aos grãos de arroz da subespécie Indica, onde os grãos são mais finos e alongados. Consequentemente, caracteriza-se a subespécie Indica por possuir uma maior relação C/L. A percentagem de grãos gessados e o grau de brancura também foram analisados e permitiu concluir que a subespécie Japónica possui um valor de percentagem de grãos gessados superior quando comparado à subespécie Indica. Já os grãos vaporizados não possuem grãos gessados devido tratamento a que são submetidos, e devido à sua coloração amarelada, possuem um valor de kett inferior às restantes amostras.

O parâmetro tempo de cozedura também foi alvo de análise para a diferenciação das diferentes variedades de arroz. Como explicado, o valor obtido vai depender das características do grão, mas de uma forma geral os valores de tempo de cozedura são inferiores para os grãos pertencentes à subespécie Indica do que Japónica. No entanto, o tempo de cozedura das amostras analisadas variaram apenas entre os 16 e os 24 minutos. No caso do arroz vaporizado, o tempo de cozedura registado foi o menor, uma vez que este arroz já sofreu um processo de gelatinização. Por confluência de dados, foi possível correlacionar a relação comprimento/largura do grão com o seu tempo de cozedura, o que permitiu concluir que um grão com maior relação comprimento/largura terá um menor tempo de cozedura (correlação negativa).

No que diz respeito às propriedades reológicas do arroz obtidas por realização do RVA, foi possível constatar-se que o arroz vaporizado apresenta um comportamento muito diferente quando comparado com as restantes variedades de arroz. Este comportamento distinto deve-se ao processo de vaporização que leva a uma alteração do amido existente no grão de origem, uma vez que o amido sofre gelatinização total e como tal, no momento do presente estudo, o amido já estava previamente gelatinizado. A gelatinização prévia faz com que os dados obtidos por uma segunda gelatinização já sejam bastante diferente da gelatinização ocorrida no processo de vaporização. A razão para tal, deve-se ao facto da estrutura dos grânulos sofrer alterações irreversíveis aquando da presença de água e de temperaturas elevadas. No caso das amostras pertencentes à subespécie Japónica, que são caracterizadas por um baixo teor em amilose, seria expectável que apresentassem um valor de pico de viscosidade elevado, resultado da elevada habilidade do amido se ligar à água, o que, no entanto, não se verificou para todas as amostras dada a variabilidade de

fatores que influenciam o comportamento do amido. Já o valor de breakdown, de uma forma geral, foi mais elevado para esta subespécie devido à elevada desintegração que os grânulos de amido sofrem ao absorverem mais água e ao incharem mais, no entanto este padrão não se verificou para todas as amostras. Com o arrefecimento simulado no equipamento, a subespécie Japónica caracterizou-se por possuir uma menor capacidade de se reorganizar levando à obtenção de um valor de setback e de viscosidade final mais baixo, levando à produção de um produto final mais macio e viscoso e menos firme. Já as amostras da subespécie Indica, de modo geral, possuíram um comportamento contrario à subespécie Japónica. Como possuem um teor de amilose superior, a subespécie Indica apresentou uma capacidade de absorção de água inferior, o que se traduziu numa desintegração de grânulos de amido igualmente menor. No entanto, estas amostras possuíram uma capacidade maior de reorganização após o arrefecimento da pasta de amido, o que resultou em valores de setback mais elevados. Estes factos levaram a que fosse obtido um gel mais duro e firme. Apesar destas generalidades acerca das várias variedades de arroz, houve amostras que não cumpriram o comportamento expectável, o que pode ser explicado devido à existência de mais fatores e compostos que interagem no grão de arroz e cujo comportamento não pode ser previsto. É o caso das proteínas e lípidos que interagem com o amido presente no grão e provocam alterações comportamentais, o que leva a valores de parâmetros de viscosidade distintos. No entanto, também se constatou que há correlação positiva entre alguns dos parâmetros analisados: pico da viscosidade, vala de viscosidade, breakdown e viscosidade final.

Para além do contributo para o meu conhecimento sobre arroz e sobre a realidade de uma indústria alimentar, este estágio também permitiu à Novarroz complementar o seu estudo acerca das variedades da Campanha em vigor e permitir adequar o arroz que possuía às características que o consumidor pretende. A caracterização das variedades fornece um importante contributo para ir de encontro às especificações e necessidades dos consumidores.

Perspetivas futuras sugerem a continuação do estudo das mesmas amostras ao longo do tempo para poder compreender o efeito do tempo de prateleira do arroz nas suas propriedades e características, bem como a realização das análises a um número mais alargado de amostras para a obtenção de um estudo mais completo e de uma tendência mais detalhada.

5. Referências Bibliográficas

1. *World Population Review Rice Production by Country Available online.*
2. Roy, P., et al. *Processing Conditions, Rice Properties, Health and Environment.* International Journal of Environmental Research and Public Health, 2011. **8**, 1957-1976 DOI: 10.3390/ijerph8061957.
3. Britannica, *Rice*, in *Encyclopedia Britannica*, T.E.o. Encyclopaedia, Editor.
4. Huang, X., et al., *A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice.* Nature, 2012. **490**(7421): p. 497-501.
5. Molina, J., et al., *Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice.* Proceedings of the National Academy of Sciences, 2011. **108**(20): p. 8351-8356.
6. Sweeney, M. and S. McCouch, *The complex history of the domestication of rice.* Ann Bot, 2007. **100**(5): p. 951-7.
7. Fornasiero, A., R.A. Wing, and P. Ronald, *Rice domestication.* Current Biology, 2022. **32**(1): p. R20-R24.
8. Bajaj, S. and A. Mohanty, *Recent advances in rice biotechnology—towards genetically superior transgenic rice.* Plant Biotechnology Journal, 2005. **3**(3): p. 275-307.
9. Nizolli, V.O., C. Pegoraro, and A.C.d. Oliveira, *Rice blast: strategies and challenges for improving genetic resistance.* Crop Breeding and Applied Biotechnology, 2021. **21**.
10. FILHO, C.M.G.K.F.P.B. *Como a planta de arroz se desenvolve.* 2017. Infoteca-e
11. Bank, R.K. *Step-by-Step Production.* 26 dezembro, 2024]; Available from: <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production>.
12. Smiderle, O.J. and P.R.V.d.S. Pereira, *Épocas de colheita e qualidade fisiológica das sementes de arroz irrigado cultivar BRS 7 TAIM, em Roraima.* Revista Brasileira de Sementes, 2008. **30**.
13. Neto, A.A.d.O., *A cultura do Arroz.* 2015: Companhia Nacional de Abastecimento.
14. Arroz, C.d. *História do Arroz em Portugal.* 26 de dezembro de 2024]; Available from: <https://casadoarroz.pt/historia-do-arroz-em-portugal/>.
15. Carlos Manuel Faísca, D.F.e.C.M.V., *The State and Natural Resources: 250 Years of Rice Production in Portugal, 18th-21st Centuries.* Ler História, 2021. **79**.

16. Instituto Nacional de Estatística (INE), I.N.d.E., accessed in 27 de dezembro de 2024
17. Juliano, B. and A. Tuaño, *Gross structure and composition of the rice grain*. 2019. p. 31-53 from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00002-2>.
18. Nations, F.a.A.O.o.t.U. *Rice in human nutrition*. 28 de dezembro de 2024];
19. Fernando, W., *Rice as a Source of Fibre*. Rice Research: Open Access, 2013. **1**.
20. Walter, M., E. Marchezan, and L.A.d. Avila, *Arroz: composição e características nutricionais*. Ciência Rural, 2008. **38**.
21. T S, R.P., et al., *Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: a review*. J. Ethic. Food. 2019.
22. Cornejo-Ramírez, Y.I., et al., *The structural characteristics of starches and their functional properties*. CyTA- Journal of Food, 2018. **16**(1): p. 1003-1017.
23. Bao, J., 3 - *Rice starch*, in *Rice (Fourth Edition)*, J. Bao, Editor. 2019, AACC International Press. p. 55-108.
24. Kennedy, G. and B. Burlingame, *Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective*. Food Chemistry, 2003. **80**(4): p. 589-596.
25. Denardin, C.C. and L.P.d. Silva, *Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas*. Ciência Rural, 2009. **39**.
26. Wani, A.A., et al., *Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties—A Review*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2012. **11**(5): p. 417-436.
27. Roberto Marques Silva, G.F.F., Marianne Ayumi Shirai, Ângela Haas, Melian Luiza Scherer, Célia Maria Landi Franco, Ivo Mottin Demiate, *Physicochemical characteristics of starches modified with potassium permanganate/lactic acid and sodium hypochlorite/lactic acid* Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2008.
28. Amagliani, L., et al., "*Chemistry*", *structure, functionality and applications of rice starch*. Journal of Cereal Science, 2016. **70**: p. 291-300.
29. Tako, M., et al., *The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation*. Food and Nutrition Sciences, 2014. **Vol.05No.03**: p. 12.
30. Amagliani, L., et al., *The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: A review*. Trends in Food Science & Technology, 2017. **64**: p. 1-12.
31. Verma, D.K. and P.P. Srivastav, *Proximate Composition, Mineral Content and Fatty Acids Analyses of Aromatic and Non-Aromatic Indian Rice*. Rice Science, 2017. **24**(1): p. 21-31.
32. Hemavathy, J. and J.V. Prabhakar, *Lipid composition of rice (Oryza sativa L.) bran*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1987. **64**(7): p. 1016-1019.

33. Itani, T., et al., *Distribution of Amylose, Nitrogen, and Minerals in Rice Kernels with Various Characters*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002. **50**(19): p. 5326-5332.
34. F.M. Anjum, I.P. and M.A.B.a.M.S.B. , *MINERAL COMPOSITION OF DIFFERENT RICE VARIETIES AND THEIR MILLING FRACTIONS* Pak. J. Agri. Sci., 2007. **44**.
35. Mira, N.V.M.d., et al., *Extração, análise e distribuição dos ácidos fenólicos em genótipos pigmentados e não pigmentados de arroz (Oryza sativa L.)*. Food Science and Technology, 2008. **28**.
36. Mbanjo, E.G.N., et al., *The Genetic Basis and Nutritional Benefits of Pigmented Rice Grain*. Frontiers in Genetics, 2020. **11**.
37. Sun, Q., et al., *White rice, brown rice, and risk of type 2 diabetes in US men and women*. Arch Intern Med, 2010. **170**(11): p. 961-9.
38. Chen, X.Y., et al., *Black Rice Anthocyanins Suppress Metastasis of Breast Cancer Cells by Targeting RAS/RAF/MAPK Pathway*. Biomed Res Int, 2015. **2015**: p. 414250.
39. Shin, W.K., et al., *Multi-Grain Rice Diet Decreases Risk of Breast Cancer in Korean Women: Results from the Health Examinees Study*. Nutrients, 2020. **12**(8).
40. Muchlisiyah, J., et al., *Parboiled Rice Processing Method, Rice Quality, Health Benefits, Environment, and Future Perspectives: A Review*. Agriculture, 2023. **13**(7): p. 1390.
41. Peanparkdee, M. and S. Iwamoto, *Bioactive compounds from by-products of rice cultivation and rice processing: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries*. Trends in Food Science & Technology, 2019. **86**: p. 109-117.
42. Hour, A.-I., et al., *Genetic Diversity of Landraces and Improved Varieties of Rice (Oryza sativa L.) in Taiwan*. Rice, 2020. **13**(1): p. 82.
43. Doi, K., H. Yasui, and A. Yoshimura, *Genetic variation in rice*. Current Opinion in Plant Biology, 2008. **11**(2): p. 144-148.
44. Johns, M.A. and L. Mao, *Differentiation of the two rice subspecies indica and japonica: a Gene Ontology perspective*. Functional & Integrative Genomics, 2007. **7**(2): p. 135-151.
45. Vaughan, D.A., B.-R. Lu, and N. Tomooka, *The evolving story of rice evolution*. Plant Science, 2008. **174**(4): p. 394-408.
46. Santos, P., *Caracterização de variedades de arroz*. 2017, Universidade Aveiro.
47. Pinto, C., *Caracterização e Aproveitamento TEcnológico de variedades de arroz autóctone de Timor-leste*, in *Instituto Superior de Agronomia* 2009, Universidade Técnica de Lisboa.

48. Jie, Y., et al., *Identification of Key Volatiles Differentiating Aromatic Rice Cultivars Using an Untargeted Metabolomics Approach*. *Metabolites*, 2021. **11**(8).
49. Portuguesa, D.d.R., *Decreto-Lei n.º 157/2017*. 2017.
50. Yu, X., et al., *Wild rice (Zizania spp.): A review of its nutritional constituents, phytochemicals, antioxidant activities, and health-promoting effects*. *Food Chemistry*, 2020. **331**: p. 127293.
51. Me, N. and T. Bee Ling, *By-products of Rice Processing: An Overview of Health Benefits and Applications*. *Rice Research: Open Access*, 2016. **4**.
52. Spaggiari, M., et al., *Rice Bran By-Product: From Valorization Strategies to Nutritional Perspectives*. *Foods*, 2021. **10**(1): p. 85.
53. Keppler, S., et al., *Evaluation of dry heat treatment of soft wheat flour for the production of high ratio cakes*. *Food Research International*, 2018. **107**.
54. PAES, M.C.D.G., P. E. de O.; CARVALHO, C. W. P. de; OLIVEIRA, A. C. de, *Perfil viscoamilográfico de amidos isolados de híbridos de milho*. Embrapa, 2021.
55. Nevame, A.Y.M., et al., *Relationship between High Temperature and Formation of Chalkiness and Their Effects on Quality of Rice*. *Biomed Res Int*, 2018. **2018**: p. 1653721.
56. Garcia, I.C.M., *Influência de diferentes variedades de arroz carolino no seu comportamento em cozedura*, in *IPC - Instituto Politécnico de Coimbra 2017*, Universidade de Coimbra.
57. Balet, S., et al., *Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physiochemical Properties in Cereals: a Review*. *Food Analytical Methods*, 2019. **12**(10): p. 2344-2360.
58. Fitzgerald, M.A., et al., *Viscosity of Rice Flour: A Rheological and Biological Study*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003. **51**(8): p. 2295-2299.
59. Derycke, V., et al., *Impact of Proteins on Pasting and Cooking Properties of Nonparboiled and Parboiled Rice*. *Cereal Chemistry*, 2005. **82**(4): p. 468-474.
60. Denardin, C. and L.P. Silva, *Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas*. *Ciencia Rural- CIENC RURAL*, 2009. **39**.
61. Sander Ferreira, P. and E. Almeida, *AMIDO – UMA ABORDAGEM ACERCA DA COMPOSIÇÃO, ESTRUTURA, PROPRIEDADES, MODIFICAÇÃO E APLICAÇÃO*. 2022. p. 892-908.
62. Li, C., *Recent progress in understanding starch gelatinization - An important property determining food quality*. *Carbohydrate Polymers*, 2022. **293**: p. 119735.

63. Zaidul, I.S.M., et al., *RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches*. Carbohydrate Polymers, 2007. **69**(4): p. 784-791.
64. Shafie, B., et al., *Characterization and classification of whole-grain rice based on rapid visco analyzer (RVA) pasting profile*. 2016. **23**: p. 2138-2143.
65. Li, C., et al., *Causal relations among starch chain-length distributions, short-term retrogradation and cooked rice texture*. Food Hydrocolloids, 2020. **108**: p. 106064.
66. Kong, X., et al., *Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations*. Food Chemistry, 2015. **172**: p. 433-440.
67. Wang, A.K.M.a.Y.-J., *Characterization of jasmine rice cultivars grown in the United States*. Discovery, The Student Journal of Dale Bumpers College of Agricultural, Food and Life Sciences, 2020. **21**(1): p. 59-68.
68. Jia, R., et al., *A review of starch swelling behavior: Its mechanism, determination methods, influencing factors, and influence on food quality*. Carbohydrate Polymers, 2023. **321**: p. 121260.

6. Anexos

Tabela A1. Valores obtidos da análise da humidade, tempo de cozedura, grau de brancura, valor de kett e biometria das amostras das variedades da Campanha 2023/2024

		Humidade farinha (%)	Tempo cozedura (min)	Kett	% gessados	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Relação C/L
Subespécie Japónica	C1	13,4	19	41.1	1.1	6,0	2,4	2,5
	C2	14,5	22	42,0	0.52	6,1	2,5	2,4
	C3	13,6	24	41.6	0.9	6,3	2,5	2,6
	M	14,2	20	43.4	0.9	5,6	2,6	2,1
	R1	14,7	22	45.7	1,0	6,5	3,2	2,1
	R2	13,7	23	44,0	0.64	5,5	3,1	1,8
	Re	15,2	20	46.8	8.0	4,5	2,7	1,7
Subespécie Indica	A1	13,7	16	40.2	0.57	6,8	2,0	3,5
	A2	14,5	19	44,0	0,0	6,9	2,0	3,4
	A3	13,6	21	43.5	0.035	6,7	2,1	3,2
	B	13,6	17	38,7	0,0	7,1	1,6	4,5
	J	13,8	17	40.3	0.22	6,4	1,8	3,5
	V	13,1	17	29,4	0,0	6,9	2,0	3,5

Tabela A2. Valores obtidos da análise das propriedades reológicas das amostras das variedades da Campanha 2023/2024

		RVA						
		Pico (cP)	Vala 1 (cP)	Breakdown (cP)	Viscosidade final (cP)	Setback (cP)	Tempo do pico (min)	Pasting Temp (°C)
Subespécie Japónica	C1	2844,3	1979,0	865,3	3339,0	494,8	6,3	90,1
	Desv. padrão	55,3	42,8	31,6	50,5	25,7	0,0	0,3
	C2	3084,0	2125,5	958,5	3708,3	624,3	6,3	91,1
	Desv. padrão	55,9	90,8	115,1	86,4	104,8	0,1	0,7
	C3	3155,0	2023,3	1131,8	3474,3	319,3	6,2	84,2
	Desv. padrão	62,8	90,1	82,7	82,9	67,7	0,0	0,3
	M	3056,0	2145,8	910,3	3434,5	378,5	6,4	89,9
	Desv. padrão	30,8	46,9	19,0	45,4	16,0	0,1	0,0
	R1	3393,5	2667,0	726,5	3711,0	317,5	6,6	83,7
	Desv. padrão	72,4	51,1	102,9	33,7	45,4	0,1	5,8
	R2	3343,3	2332,5	1010,8	3340,5	-2,8	6,5	89,3
	Desv. padrão	38,5	29,4	19,9	29,8	12,6	0,0	0,4
	Re	3712,5	1966,0	1746,5	3142,0	-570,5	6,1	77,6
	Desv. padrão	69,5	109,2	89,2	119,3	100,3	0,1	0,4
Subespécie Indica	A1	3871,8	3320,3	551,5	5767,8	1896,0	6,2	84,9
	Desv. padrão	69,3	106,1	119,0	103,2	91,2	0,1	0,7
	A2	3616,8	2961,0	655,8	5309,5	1692,8	6,2	86,7
	Desv. padrão	35,0	38,5	28,9	42,2	27,8	0,0	0,0
	A3	2820,8	1843,0	977,8	3394,5	573,8	5,9	82,5
	Desv. padrão	27,9	20,9	7,2	35,1	11,5	0,0	0,7
	B	2867,0	1964,0	903,0	3829,0	962,0	5,9	87,7
	Desv. padrão	47,5	31,5	46,1	15,1	33,5	0,1	0,3
	J	3718,3	2203,5	1514,8	3663,0	-55,3	5,7	86,8
	Desv. padrão	99,1	48,0	56,2	78,0	35,5	0,0	0,0
	V	340,3	343,8	-3,5	423,3	83,0	7,0	0,0
	Desv. padrão	20,5	20,5	0,5	25,0	4,9	0,0	0,0