



**DANIEL COSTA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DOS PARAMETROS DO PROCESSO DE SECAGEM POR  
SPRAY E AGLOMERADOR PARA A PRODUÇÃO DE CAFÉ SOLÚVEL:  
UMA REVISÃO**

**LAVRAS, MG**

**2023**

**DANIEL COSTA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DOS PARAMETROS DO PROCESSO DE SECAGEM POR SPRAY E  
AGLOMERADOR PARA A PRODUÇÃO DE CAFÉ SOLÚVEL: UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do curso de engenharia de  
alimentos, para obtenção do título de  
Bacharel

Prof. Dr. Diego Alvarenga Botrel  
Orientador

Profa. Dra. Marali Vilela Dias  
Coorientadora

**LAVRAS, MG**

**2023**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me guiar, me dar forças para que essa jornada fosse completada.

Aos meus pais, Fátima e Vitalino, pela dedicação, confiança, carinho e incentivo, por terem possibilitado com muito esforço que alcançasse essa tão sonhada etapa

Aos meus irmãos, Diego e Denis, pelo carinho, conselhos e exemplos de vida que foram me ensinados.

Aos meus avós (*in memoriam*), Aparecida e Laudelino, pelas orações e conselhos, sempre me confortando e acalmando minhas preocupações, me guiando durante nessa jornada, até mesmo do lugar onde estão.

A minha namorada Laís, pelo amor, cuidado e carinho, que sempre me apoiou e me auxiliou nos momentos mais difíceis dessa caminhada, e sempre me consolou e incentivou para que essa caminhada fosse mais fácil e feliz.

Ao meu orientador Diego, pelo apoio, paciência, disponibilidade e ensinamentos, que foram de grande importância para realização desse trabalho.

A minha coorientadora Marali, que ao longo da graduação me abriu oportunidades, me auxiliando e ensinando.

Aos professores, colaboradores e técnicos do Departamento de Ciência dos Alimentos e da Universidade Federal de Lavras.

A Nestlé Brasil, por ter oferecido a oportunidade de estagiar, formar e me preparar para o mercado profissional, me proporcionando oportunidades únicas de crescimento pessoal e profissional.

Aos meus amigos de graduação, que me auxiliaram em estudos, conversas e companhias, auxiliando a tudo sempre ficar mais leve.

Por fim, a todos que de alguma forma, contribuíram de alguma forma nesse trabalho e caminhada, torcendo pelo meu sucesso.

## RESUMO

O café solúvel com o passar dos anos vem ganhando mais espaço no cotidiano dos consumidores, que desejam praticidade, facilidade, variedade e qualidade na hora de consumir seu café. Visando atender essa demanda, a indústria de café vem desenvolvendo novas formas de atender esse público, com novas tecnologias de produção, conservação e variantes do café solúvel. Neste presente trabalho, foi realizado uma revisão em bancos de dados científicos sobre os parâmetros de processamento apresentados na etapa de secagem por spray e aglomeração de café solúvel e discutidos juntamente com relatos empregados em uma grande empresa do setor. Para uma análise completa do processo, é importante observar o que caracteriza um café solúvel e suas diferenças para o grão verde, torrado, moído e bebida extraída somente dessas etapas, o objetivo da indústria é aproximar cada vez mais o café solúvel do café tradicional. Toda cadeia de produção passa que as características do grão verde de café são fundamentais para todo processo, afetando todas as etapas seguintes. Seguindo para a torra, é importante definir o perfil de torra necessário para o produto desejado, essa etapa define principalmente o aroma que a bebida irá ter no final, sendo uma torra média a mais desejada para alcançar picos de liberação dos aromas mais cobiçados. A extração é o ponto chave para o rendimento do processo, podendo ser responsável pela extração sólido-líquido do grão de café torrado e moído, pode ser opcionalmente encarregado pela extração dos aromas do café torrado e moído, tão desejados pelo consumidor. Já na concentração, vital para melhor a performance de rendimento da etapa de secagem, se reduz o extrato obtido na extração para que ocorra a secagem por pulverização. Com extrato concentrado, há um tratamento para retirada de sujidades indesejadas do extrato e otimizar a secagem do extrato. Após isso, temos uma separação de partículas que ocorre entre o ar quente e as partículas, onde há grandes mudanças na morfologia das partículas, direcionamos para um aglomerador, responsável por juntar as partículas, melhorando sua solubilidade, e apresentando o café solúvel conhecido. É observado que grande parte dos parâmetros de qualidade e eficiência de produção de um café solúvel não está somente nessa etapa, mas temos que toda cadeia do processo pode influenciar o produto final, principalmente no setor de spray dryer e aglomeração, há espaço para melhorias que atendam tanto a demanda da produção, quanto a parâmetros impostos pelo setor de qualidade.

**Palavras-chave:** Café Solúvel; Spray dryer; Café; Aglomerador; Partícula;

## SUMARIO

1. INTRODUÇÃO .....	6
2. METODOLOGIA .....	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	8
<b>3.1. História e mercado do café solúvel.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Legislação brasileira.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3. Café Solúvel: Composição e características do café.....</b>	<b>15</b>
<b>3.4. Obtenção de extrato de café concentrado.....</b>	<b>18</b>
<b>3.5. Conceito de café solúvel obtido por spray dryer e liofilização .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6. Spray drying.....</b>	<b>22</b>
<b>3.6.1. Princípios de atomização .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6.2. Separação de partículas.....</b>	<b>25</b>
<b>3.6.3. Morfologia das partículas.....</b>	<b>29</b>
<b>3.6.4. Parâmetros e variáveis do processo.....</b>	<b>30</b>
<b>3.7. Aglomeração do café .....</b>	<b>31</b>
4. RELATO E DISCUSSÃO DE PROCESSO ESTABELECIDO EM EMPRESA DO SETOR: ETAPAS DE SECAGEM E AGLOMERAÇÃO .....	35
<b>4.1. Definição interna do café solúvel produzido e parâmetros de qualidade.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.1. Processo de obtenção do café solúvel.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2. Secagem por spray de café: parâmetros do processo .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.1. Extrato concentrado .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.2. Spray Dryer .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2.3. Bag-Filter .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.4. Aglomeração.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.5. Balão de secagem.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2.6. Peneiras.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2.7. Automação e rendimento de produção .....</b>	<b>45</b>
5. CONCLUSÃO .....	47

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
------------------------------------	----

## 1. INTRODUÇÃO

O mercado de café solúvel nos últimos anos apresentou um crescimento, embalado pela maior presença no dia-dia dos consumidores, impulsionado por novas tendências em apresentar cafés de maior qualidade, aromatizados e com grande similaridade a cafés gourmets, além claro, das influências que a pandemia de COVID-19 causou no consumo de alimentos recentemente (SINGH, 2023).

Para compreender o processo de secagem por pulverização para café solúvel, é necessária uma grande cadeia de processos interligadas, onde-se faz necessário o conhecimento da composição do grão de café, passando por todo processo de seleção de grãos, torra, moagem extração sólido-líquido dos grãos moídos, concentração para então ser direcionados ao spray dryer (VENTURINI FILHO, 2016).

Neste processo temos cinco grandes fases principais. A primeira se trata da atomização de um extrato por um equipamento específico, após a atomização, pequenas gotas de alimentação do secador são submetidas a uma interação com um ar de secagem em temperatura estipulada, logo o solvente contido na molécula é vaporizado, formando um pó sólido de produto e na terceira fase, temos uma separação das partículas do ar de secagem, recepcionadas por um sistema responsável pela aglomeração desse pó de café obtido (CAL; SOLLOHUB, 2010). Após isso é feita a secagem e resfriamento do pó aglomerado do café com destinação ao envasamento do produto. Logo, analisar e entender quais parâmetros influenciam na qualidade do produto e na otimização da produção se torna imprescindível.

E com a crescimento desse mercado e o avanço das tecnologias de produção, este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica acerca do processo de secagem por spray e aglomeração para a produção de café solúvel, analisando as influências dos parâmetros do processo. Além disso, o trabalho abordará a descrição de processo de produção já estabelecido em uma grande empresa, tido como referência no mercado quando se trata de café solúvel.

## **2. METODOLOGIA**

Foi realizado um levantamento e revisão de literatura pertinentes ao assunto em banco de dados científicos e outros materiais de referência para a descrição do processo de produção de café solúvel por secagem por spray e discussão das variáveis mais importantes neste processo. Além disso, fez-se um relato realizado durante o estágio na empresa, relatando o processo utilizado por uma grande empresa do setor, indicando e discutindo pontos críticos mais importantes.



### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. História e mercado do café solúvel**

A história do café surge com uma lenda que ocorreu na Etiópia, por volta do ano 800, dizendo que um pastor de cabras observou que suas cabras apresentavam um comportamento enérgico e animado após consumirem uma fruta vermelha (BHARAT, 2023). Então o pastor levou as frutas a um monge que disse ser um fruto proibido e as jogou no fogo, surgindo um aroma intenso da queima da fruta e então colocaram-na em uma jarra com água quente para preservar, assim os monges começaram a beber essa água e perceber que ficavam mais alertas e enérgicos. Registros históricos mostram que o café começou a ser levado para outras regiões em torno do século 15, onde em 1475, em Constantinopla, surgiu a primeira cafeteria do mundo e no século 17, chegou a Europa por meio do império Otomano. E na mesma época, grãos foram levados para serem plantados no chamado novo mundo, a América, o clima quente, alta umidade e solo rico da América Latina auxiliou no crescimento do plantio de mudas de café, sendo que no século 18, se tornou um dos principais produtos produzidos em terras latino-americanas, onde o Brasil hoje, é o maior produtor mundial de café (“The History of Coffee”, 2023)

E a ideia de café solúvel surgiu em 1771 na Grã-Bretanha, com a intuito de produzir um café de forma fácil e rápida. No fim do século 19, David Strang acabou criando e patenteando o processo de fabricação do que ele nomeou de café instantâneo, utilizando o sistema de “Dry Hot-Air”, mas foi apenas em 1901, que o químico Satori Kato criou o primeiro método de café instantâneo estável. Em 1910 surgiu a primeira marca de café instantâneo, criado por George Constant Louis Washington, criando seu próprio processo para produção de café instantâneo e comercializando-o. Mas foi devido à quebra da bolsa de valores de Nova York em 1929, que foi desenvolvido o café solúvel que conhecemos, pois o governo brasileiro, afetado diretamente pela crise, se viu com um grande estoque de café sem destino nos armazéns do país, e assim o Instituto Brasileiro de Café fez um pedido aos executivos da empresa Nestlé para que se criasse um produto usando o café estocado nos armazéns, para evitar a perda dos grãos nos estoques, assim aumentando vida de prateleira e podendo vender esse café armazenado. Nessa época, não existia processos adequados para produção de café solúveis de qualidade, pois toda sensorial desse café era inferior ao café comum, além de problemas de solubilização do pó, mas a Nestlé começou a pesquisar e desenvolver um método onde o café solúvel fosse prático, saboroso e comercialmente viável, e após quase 10 anos, o cientista da Nestlé Max Morgenthaler,

desenvolveu um novo método de produção de café solúvel, e foi lançando em 1938 na Suíça, utilizando a marca NESCAFÉ, o café solúvel da Nestlé, lançada em embalagem de lata, como na Figura 1 (“History of Instant Coffee”, 2023)

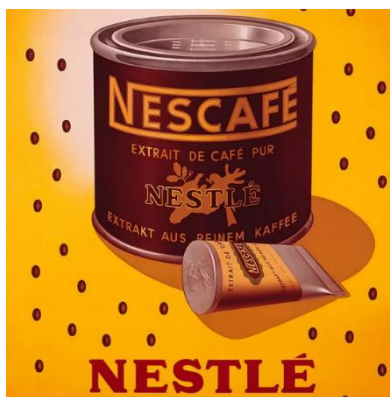


Figura 1 - Primeira embalagem de NESCAFÉ (“A história da NESCAFÉ”, 2023)

Desenvolvido para ter uma experiência sensorial superior aos cafés solúveis até então existentes, com altas concentrações de aromas e sabores. Com o início da Segunda Guerra Mundial em 1939, o NESCAFÉ foi um produto presente na ração dos soldados dos países do grupo dos Aliados. Assim a Nestlé, ao decorrer do tempo, foi desenvolvendo e aprimorando novos métodos do processo de obtenção do café solúvel, firmando parcerias com a NASA, para que o seu produto pudesse estar presente com a tripulação da Apollo 11, primeira expedição lunar tripulada da história humana, além disso, anos antes, em 1953, esteve presente na primeira expedição rumo ao topo do Monte Everest (“A história da NESCAFÉ”, 2023).

O Brasil lidera a produção de café solúvel no mundo, onde produziu cerca de 122.209 toneladas em 2022, destinando grande parte dessa produção para países europeus, asiáticos e norte-americanos. Mesmo apresentando uma queda de 9,1% no volume exportado em relação a 2021, o Brasil quebrou recorde no faturamento, obtendo US\$ 706 milhões, cerca de 24% a mais que o ano anterior, a queda do volume se deve a princípio pelo início dos conflitos entre Ucrânia e Rússia, sendo respectivamente, o segundo e décimo maiores exportadores do café solúvel brasileiro. O mercado interno também apresentou crescimento, 1,4% em comparação ao último ano, onde foi destinado 23 milhões de toneladas ao mercado brasileiro, com destaque ao café liofilizado, apresentando um crescimento de aproximadamente 14% nas vendas (“Relatório do Café Solúvel do Brasil: Relatório de desempenho - Ano Civil 2022”, 2023) Em 2020, um levantamento realizado pela LMC e divulgado pela ABICS mostrou os maiores produtores de café solúvel do mundo, apresentados na Tabela 1, e no Gráfico 1, temos a

porcentagem de produção de cada país levando em consideração apenas os 10 maiores produtores.

<b>Países</b>	<b>Toneladas produzidas</b>
Brasil	122.209
México	63.715
Índia	59.673
Coreia	55.822
Espanha	49.572
Rússia	43.129
Vietnã	42.495
Alemanha	42.345
China	38.929
Reino Unido	38.551

Tabela 1 – Os 10 maiores produtores de café solúvel em 2020  
(ALMEIDA; GARCIA, 2022)

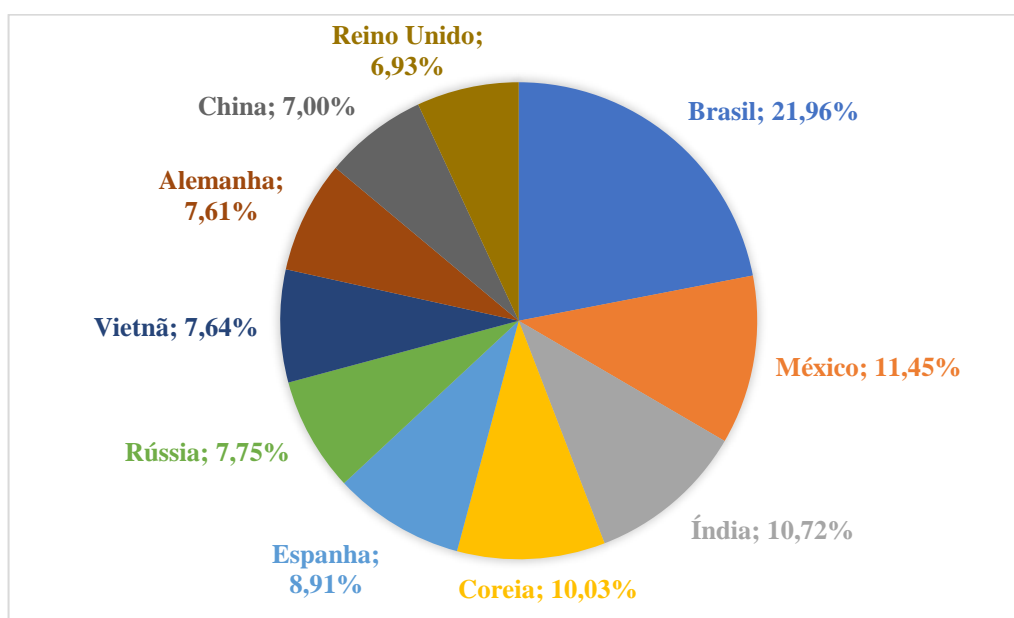


Gráfico 1 – Porcentagem dos maiores países produtores de café solúvel em 2020 (“Relatório do Café Solúvel do Brasil: Relatório de desempenho - Ano Civil 2022”, 2023)

No Gráfico 2, temos mais detalhes sobre as exportações brasileiras, onde observamos um período de 2018 a 2022, mostrando uma pequena queda no volume exportado nos últimos anos.

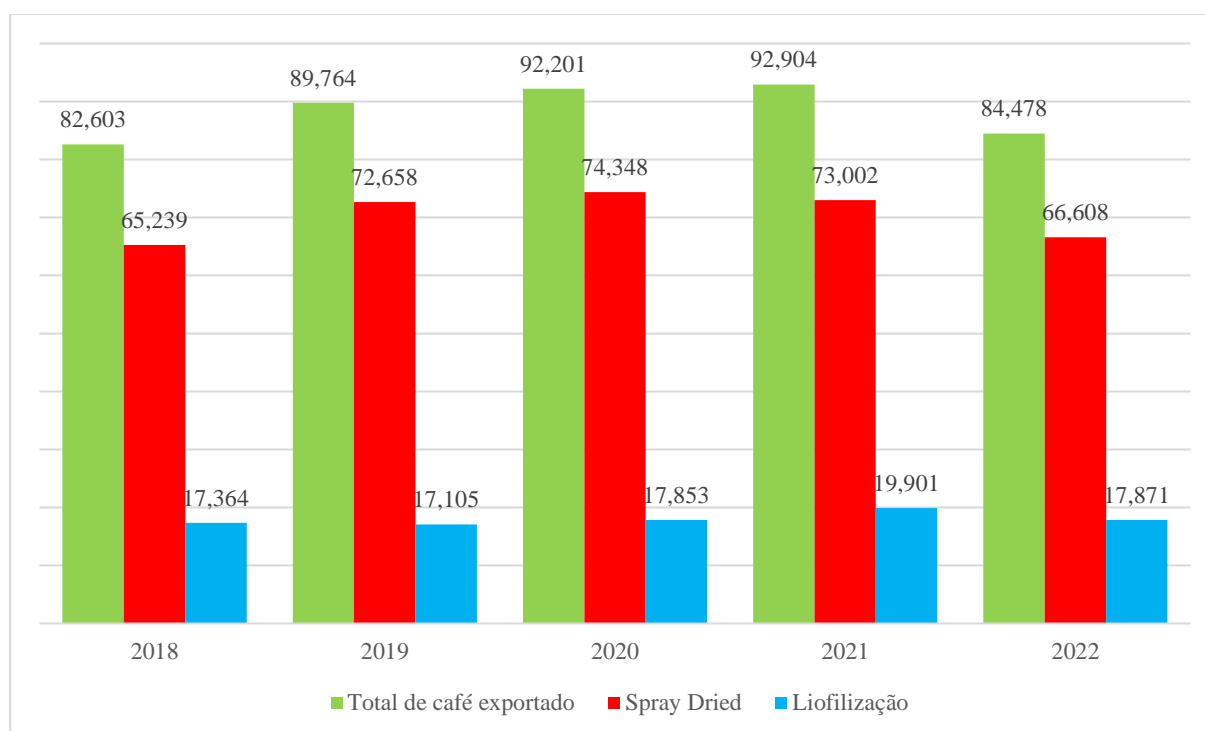


Gráfico 2 – Exportações de café solúvel realizadas pelo Brasil entre 2018 e 2022 (milhões de toneladas) (“Relatório do Café Solúvel do Brasil: Relatório de desempenho - Ano Civil 2022”, 2023)

Analisamos que há uma queda entre 2022 e 2021, motivada pela queda nas aquisições de países que figuravam no topo da lista dos maiores importadores de café solúvel brasileiro, Ucrânia e Rússia, na Tabela 2 podemos observar os destinos mais importantes para o produto brasileiro, observado, a queda da Rússia de 2ª colocada para a 8ª colocação do ranking, já a Ucrânia não aparece entre os 10 maiores, 7ª colocada, caiu para 13ª.

Países	2021	2022
Estados Unidos	16,364	17,742
Argentina	8,188	6,989
Indonésia	6,398	6,190
Japão	6,222	4,336
Polônia	3,752	4,179
Finlândia	0,681	3,627

Myanmar	2,896	3,576
Rússia	8,780	3,117
Canadá	2,227	2,697
Reino Unido	2,209	2,697

Tabela 2 – Maiores importadores de café solúvel brasileiro (em milhões de toneladas) (“Relatório do Café Solúvel do Brasil: Relatório de desempenho - Ano Civil 2022”, 2023)

A região que mais consome desse tipo de café é a Europa com, seguida pela China e Estados Unidos (SANMAX, 2020). Na Europa, os países que pertencem ao lado oriental são os principais consumidores de café solúvel, com destaque para a Rússia, pois o seu clima de extremo frio não é propício para o plantio de café, assim alavancam a demanda e devido ao poderio financeiro oriundo dos preços do petróleo e seus derivados, que cresceram fortemente nos últimos tempos, financiam essa demanda. Outros países europeus que tem grandes tendencias a consumir café solúvel são o Reino Unido, Turquia, Bielorrússia e Ucrânia

A região da APAC também apresenta grande crescimento, com grandes demandas vindo de países como China, Australia, Japão e Índia, onde a China é a principal consumidora da região. Com economias aquecidas nos ultimos tempos e a tendencia das novas gerações de trocar bebidas mais tradicionais, como o chá, para cafés solúveis. Em países como Austrália e Nova Zelandia, o café coado já começa a perder espaço para o solúvel, onde podemos observar que aproximadamente 40% de consumo de café pertencem ao café solúvel (TECHNAVIO, 2016). Na Figura 2, podemos observar um gráfico dos maiores consumidores de café solúvel no mundo em 2015.

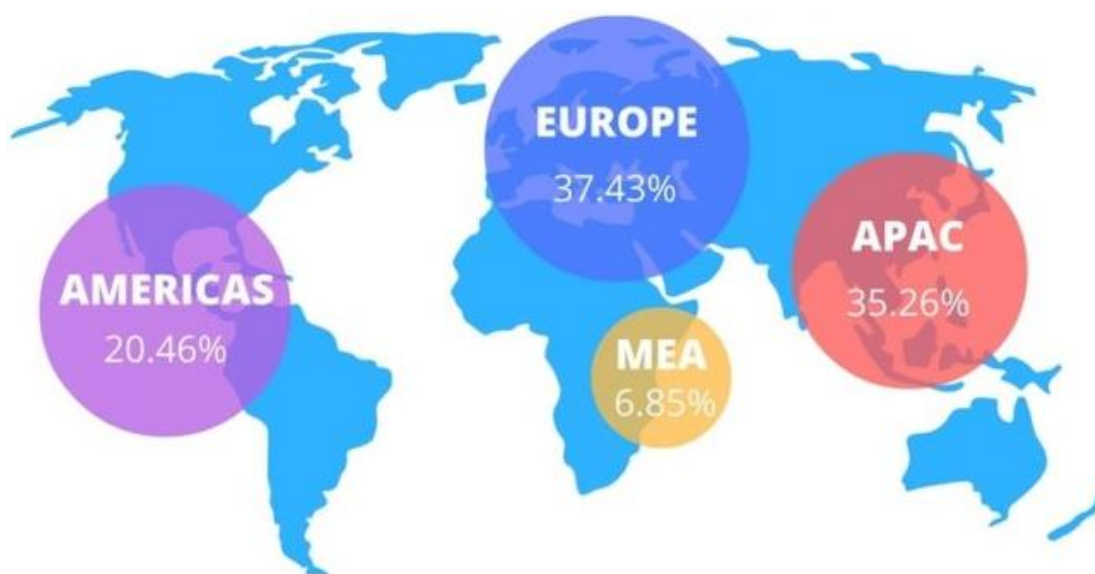


Figura 2 – Maiores regiões consumidoras de café solúvel no mundo em 2015  
(TECHNAVIO, 2016)

Já na Figura 3, podemos observar a preferência por país para cafés solúveis e tradicionais, e observamos uma tendência de maior consumo de cafés solúveis em países conhecidos pelo consumo tradicional de chás, como China e Turquia (FERDMAN, 2014).

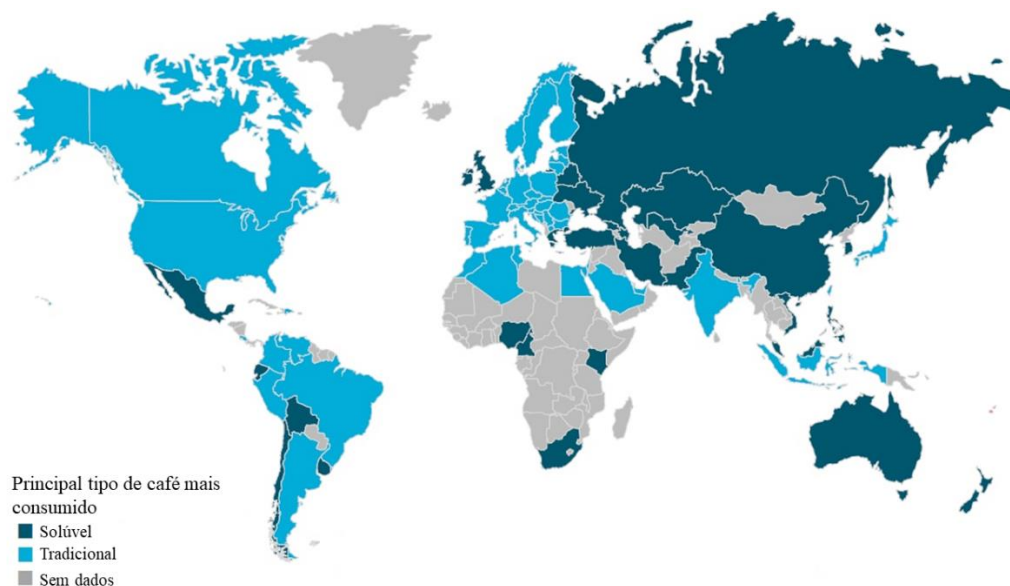


Figura 3 – Principal tipo de café consumido por país em 2013 ((FERDMAN, 2014)

A fácil preparação com uma variedade enorme presentes hoje em dia no mercado de café solúveis impulsionam esse crescimento do mercado global, com características de maior vida de prateleira, marcas investindo em marketing, e novas tecnologias surgindo, esse consumo de café solúvel tende apenas a crescer cada vez mais (TRANSPARENCY MARKET RESEARCH, 2016). Com o faturamento na marca de 13 bilhões de dólares em 2022, esse mercado pode ter uma estimativa que em 2028 o faturamento atinja a casa dos 18 bilhões de dólares (“Instant Coffee Market Share, Size and Analysis 2023-2028”, 2023)

Além do fator de consumo impactado pela pandemia de Sars-Cov-2, com súbita mudança de hábitos alavancou a busca por esse produto. Em julho de 2020, a Organização Internacional do Café (OIC), mostrou que o café solúvel foi responsável por 9,1% de todo café exportado pelo mundo, aumentando 1% em relação ao mesmo período do ano anterior (SANMAX, 2021).

Além disso, há a tendência de utilizar o café solúvel para preparo de bebidas à base de café, como cappuccinos, misturas prontas de café com leite, e outros. E aproveitando a onda de

crescimento, as marcas nos últimos anos estão lançando muito mais produtos para aumentar seu portfólio e firmando parcerias, como ocorreu em 2018, entre a Nestlé e a Starbucks, para lançarem um café solúvel premium, que chegou ao mercado em 2020. Com a ascensão do mercado de cafés especiais, o mercado de café solúvel também se aproveita dessa ascensão em oferecer produtos com maior qualidade, mais saboroso e aromático (SANMAX, 2021).

Essa tendência também se aplica a novos tipos de preparo de cafés, utilizando novos sabores, como café mocha, ou com sabores de baunilha francesa, gengibre e até caramelo de chocolate, visando atrair mais clientes. Mercados emergentes do Oriente Médio, Europa Oriental e Sudeste Asiático estão aumentando o consumo de cafés solúveis especiais, devido ao crescimento da economia dessas regiões, melhorando o poder aquisitivo do consumidor que ao passar do tempo fica muito mais exigente. Outro fator que impacta com esses lançamentos são o valor agregado que esse café pode apresentar, permitindo uma maior margem de lucro em relação aos cafés solúveis básicos. A embalagem do café solúvel também influencia, podendo existir porções individuais de consumo, permitindo que consumidores experimentem mais variedades de produtos sem a necessidade de adquirir grandes quantidades (“Instant Coffee Market Share, Size and Analysis 2023-2028”, 2023).

E durante a pandemia de Sars-Cov-2 (COVID-19), o mercado de cafés solúveis continuou aquecido, principalmente no Brasil, onde foi possível observar que o café torrado tradicional aumentou de preço 59% a mais no primeiro trimestre de 2022, fazendo o preço médio subir de R\$17,00 para R\$28,00 por quilo. Enquanto no mesmo período, o café solúvel apresentou um aumento de apenas 2 reais, saindo de R\$16,00 para R\$18,00 em média, e com isso as vendas aumentaram em aproximadamente 30% em relação a 2021 (KANTAR, 2022).

### **3.2. Legislação brasileira**

A legislação brasileira define as características e parâmetros de café solúvel na portaria nº 130, de 1999. E só pode ser considerado café solúvel um produto que é resultado de uma desidratação, podendo sofrer processos de spray dryer, onde se extrai a partícula de café por meio de secagem de pulverização, aglomerados, quando ocorre o mesmo processo, mas com a adição do processo de aglomeração para formar partículas maiores ou grânulos. Já cafés liofilizados é uma substituição ao spray dryer e obtém ele por meio do congelamento da água do extrato e remoção por sublimação, essa deve ser constada que foi realizado esse processo.

Já características físicas e químicas há a presença da umidade, resíduo mineral fixo, cafeína, café descafeinado e pH. A umidade deve ter no máximo 5%, resíduos minerais no máximo 14%,

a cafeína deve conter no mínimo 2% e descafeinado no máximo 0,3% de cafeína. A faixa de pH é de 4,5 a 5,5. Para adição de aditivos deve-se constar em uma legislação específica (BRASIL, 1999).

### **3.3. Café Solúvel: Composição e características do café**

Para definir a composição do café solúvel e suas características, é interessante ter conhecimento da composição do grão de café, assim podemos analisar as diferenças causadas pelo processamento do café solúvel.

O café contém uma complexa composição química, e ela tem muitas variáveis que podem afetar sua composição, como fatores genéticos dos grãos que foram plantados, ambientais, com exemplo, clima local, acesso a água e chuva e outros, além das práticas aplicadas de manejo feitas antes e após a colheita. Então o composto característico do café é o alcaloide cafeína, responsável pelo gosto amargo e conhecido por sua ação no sistema nervoso humano, causando efeitos energizantes ao ser consumido. Temos também a presença de lipídios, açúcares, ácidos, aminoácidos, compostos fenólicos, aldeídos, proteínas e enzimas (VENTURINI FILHO, 2016).

O café contém também celulose, minerais, taninos e polifenóis. Os minerais se com maior presença são potássio, magnésio, sódio, e outros, sendo presentes em pequenas partes, quase insignificantes. Os açúcares são predominantemente sacarose, glicose e frutose, podendo contar com outros tipos de açúcares, e os aminoácidos temos a alanina, ácido glutâmico, glicina e outros. Além disso, o café pode conter vitamina do complexo B, niacina (vitamina B3), e ácidos, com presença cinco vezes maior que a cafeína. Importante é que a cafeína é a única substância resistente ao calor, sendo capaz de resistir a torra excessiva do grão, mas as proteínas, açúcares, ácidos e outros não tem a mesma capacidade de resistir a degradação causada pela torra inadequada. Mas uma torra realizada com tempo e temperatura ideais, podem preservar esses componentes (MUSSATTO et al., 2011).

Um café de qualidade irá apresentar uma acidez considerável, apresentando ácidos málico e cítrico em quantidades maiores em relação aos outros ácidos que compõe quimicamente o café, e pequenas quantidades do ácido clorogênico, responsável pelo amargor do café juntamente com a cafeína, mas sua presença acaba apresentando um sabor adstringente. A presença em menores porções de proteínas solúveis, carboidratos, lipídeos insaponificáveis, fenóis hidrolisáveis também impacta para a perda de qualidade. Todos esses pontos podem ser influenciados desde o manejo do plantio até as etapas finais do processamento industrial (VENTURINI FILHO, 2016).



O aroma da bebida do café vem principalmente da sua torra, reações de Maillard, degradação de Strecker, quebra de enxofre e prolina, tem como principal relevância para a qualidade do café. A produção de café solúvel pode apresentar gostos indesejados para o produto, como o gosto de café velho, já oxidado por exemplo, além de sabores e aromas característicos de cafés de qualidade inferior, devido a todo processo empregado para obtenção desse café solúvel (LEOBET et al., 2020). Abaixo temos a Tabela 3, onde podemos observar a composição química entre as diferentes fases que o café tem no processo de café solúvel.

<b>Compostos</b>	<b>Café Verde (%)</b>	<b>Café Torrado (%)</b>	<b>Café Solúvel (%)</b>
<b>Carboidratos</b>	60	53	50
<b>Óleos</b>	13	15	0,2
<b>Proteínas</b>	13	13	4
<b>Cinzas</b>	4	4	14
<b>Ácido Clorogênico</b>	7	4	13
<b>Cafeína “Arábica”</b>	1	1	3,5
<b>Cafeína “Robusta”</b>	2	2	7

Tabela 3 – Composição centesimal do café verde, torrado e solúvel (UFRGS, 2023)

Analisando a tabela podemos observar uma perda acentuada de óleos e proteínas, causadas pelo processamento do café solúvel, e assim aumentando a proporção de ácido clorogênico e cafeína, responsáveis pelo amargor, causando sabor adstringente e indesejado para o consumidor.

A característica de um café solúvel, ou instantâneo, é apresentada principalmente pela praticidade, onde temos uma bebida de café que pode ser preparado apenas diluindo, não necessitando de filtros, prensas francesas, ou outros métodos de obter a bebida de café (SILVA, 2023). Mas suas diferenças estão no sabor e aroma, onde grãos recém moídos e frescos vão apresentar componentes químicos intactos, conferindo um sabor e aroma mais completo e agradável do que os cafés solúveis (HERNÁNDEZ, 2020).

Um fator importante de um café, seja ele solúvel ou não, é sua quantidade de sólidos solúveis, pois esse fator não se aplica apenas a esse produto, mas a praticamente em todos alimentos que passam por processos de separação, decantação ou semelhantes. É analisando o teor de sólidos solúveis que viabiliza análises rápidas e fáceis para o cotidiano de produção, assim determinando o rendimento do processamento dessa matéria prima. Quando tratamos de

uma análise de uma amostra diferente de uma solução de sacarose, se faz necessário um fato de correção pré-determinado para precisão do resultado (ZEFERINO et al., 2010)

Assim, a escolha da matéria prima para um processo em que seu principal objetivo é realizar uma extração sólido-líquido, caso do café solúvel, o teor de sólidos solúveis é o ponto principal para a indústria. Logo, esse fator implica na escolha direta da matéria-prima, pois o café conilon, conhecido por ter um alto teor de cafeína e sólidos solúveis em seus grãos, tem grande uso na indústria de café solúvel, pois o seu processamento acarreta em uma maior rentabilidade na extração desses sólidos (ROSA; GONÇALVES; HALLUCH, 2016). Mas sua utilização necessita de uma atenção redobrada em relação a sua qualidade, pois em comparação com o café arábica, ele apresenta uma qualidade sensorial menor (ZEFERINO et al., 2010). Em números, o conilon apresenta em seu grão verde, 2% a mais de teor de sólidos solúveis na sua composição em comparação ao arábica, com o arábica contendo um teor de sólidos solúveis na faixa entre 23,8% e 27,3% (m/m) e conilon na faixa de 26% a 30% (m/m). Seus valores podem variar pelo clima aplicado as plantações, tempo utilizado para maturação e manejo da colheita (SILVA; PASQUIM, 2018)

Com isso, sabe-se que o café arábica apresenta uma sensorial superior, mas uma rentabilidade menor, mas o índice de sólidos solúveis não tem apenas aplicação industrial, a maior presença de sólidos solúveis no café, seja ele grão verde, torrado ou solúvel, contribui para apresentar o corpo sensorial da bebida, mantendo-a ainda mais encorpada e prazerosa de se consumir. Por isso é interessante o monitoramento desse parâmetro desde a matéria-prima até o produto final (LOPES; PEREIRA; MENDES, 2000).

Logo, com novas tendências dos consumidores em buscar cafés de maior qualidade, a indústria acaba aplicando misturas de arábica com conilon, levando o objetivo de melhorar os lucros em função do menor preço do conilon. Mas é importante levar em consideração as características sensoriais que o café conilon pode apresentar ao blend, para evitar uma possível rejeição por parte do consumidor. Mas há mudanças significativas no resultado final destas misturas que podem ser observadas já na torrefação dos blends, onde o aumento da porcentagem de conilon da mistura acarretará no aumento da umidade, açúcares redutores e sólidos solúveis. Já em contrapartida, esse aumento de conilon na mistura faz que o grão torrado apresente menores índices de açúcares totais e não redutores, além do extrato etéreo. A umidade é representada pois o conilon contém teores de umidade maiores que o café arábica. A perda de açúcares não redutores e o aumento dos açúcares redutores sugere uma perda da qualidade

sensorial do café, pois açúcares não redutores (sacarose), são esperados para um café de qualidade. A perda extrato etéreo com o aumento dos níveis de conilon, nos mostra que há a perda de qualidade do café, pois o óleo do café é o principal componente para garantir as características organolépticas do produto (PEREIRA et al., 2000). Na Tabela 4, apresentamos alguns níveis de blend de cafés e valores encontrados no café verde.

<b>Arábica (%)</b>	<b>Conilon (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Açúcares totais (%)</b>	<b>Açúcares redutores (%)</b>	<b>Açúcares não redutores (%)</b>	<b>Extrato Etéreo (%)</b>	<b>Sólidos Solúveis (%)</b>
<b>100</b>	0	9,47	7,96	0,35	7,23	10,70	38,73
<b>90</b>	10	9,95	8,78	0,48	7,88	9,96	36,89
<b>80</b>	20	9,89	8,18	0,51	7,28	8,99	38,85
<b>70</b>	30	10,33	7,23	0,61	6,29	8,13	39,08
<b>0</b>	100	12,21	4,58	0,92	4,24	3,70	42,75

Tabela 4 - Níveis dos principais componentes de diferentes proporções de blends entre conilon e arábica (PEREIRA et al., 2000)

### 3.4. Obtenção de extrato de café concentrado

Para obter o café solúvel, tem-se toda a produção de um café comum, mas é necessário a produção de um líquido concentrado para secagem, assim podemos pegar o café torrado e moído, introduzir em equipamentos responsáveis por extrair um xarope ou licor. Então um evaporador de múltiplos efeitos é utilizado para aumentar a concentração e melhorar o rendimento, podendo resfriá-lo ou não após a evaporação (VENTURINI FILHO, 2016).

Para iniciar a produção, é necessário realizar a seleção, ela é uma etapa responsável por higienizar o grão de café verde e padronizá-lo, eliminando impurezas indesejadas, realizar seleção dos grãos de acordo com as normas de qualidade, podendo utilizar peneiramento para a seleção e limpeza (SILVA; PASQUIM, 2018). Nesta mesma etapa temos também a classificação dos cafés, e se necessário, realizando o blend entre café arábica e conilon (RELVAS, 2023).

Logo, esse café já limpo, está pronto para realização da torra do café verde. Essa etapa é responsável pelo sabor final que o café apresentará ao se tornar bebida, existindo vários graus de torra que vão afetar diretamente esse sabor e também a coloração. É realizando um determinado grau de torra que determinará vários compostos que serão extraídos durante o

preparo, tanto da bebida, quanto do café solúvel. A coloração desses grãos torrados é o fator que determina o grau de torra, e é possível observar que existem três características importantes que vão determinar a qualidade da bebida por meio do grau de torra, quando temos uma torra mais clara, a acidez é o atributo mais notado, mas aumentando o grau da torra, tornando o grão mais escuro, a acidez deixa de ser a característica destacada, e quem ganha ênfase é o aroma do café. Com um aumento no grau da torra, novamente há um decaimento do grau de notoriedade da acidez juntamente com o aroma, assim é notado a presença maior do corpo da bebida, mas quando os níveis chegam em altos graus de torra, é nítido um crescimento exponencial do grau de sabor de queimado, uma ferramenta utilizada pela indústria de torrefação de café para atenuar sabores adstringentes em cafés de baixa qualidade. Na Figura 4 podemos observar um gráfico que mostra o grau de qualidade que cada atributo vai ter com o passar dos graus de torra. Importante ressaltar, que quanto mais escuro essa torra for, menor será a qualidade das características e maior será a presença de sabor e aroma de queimados (MELO, 2004).

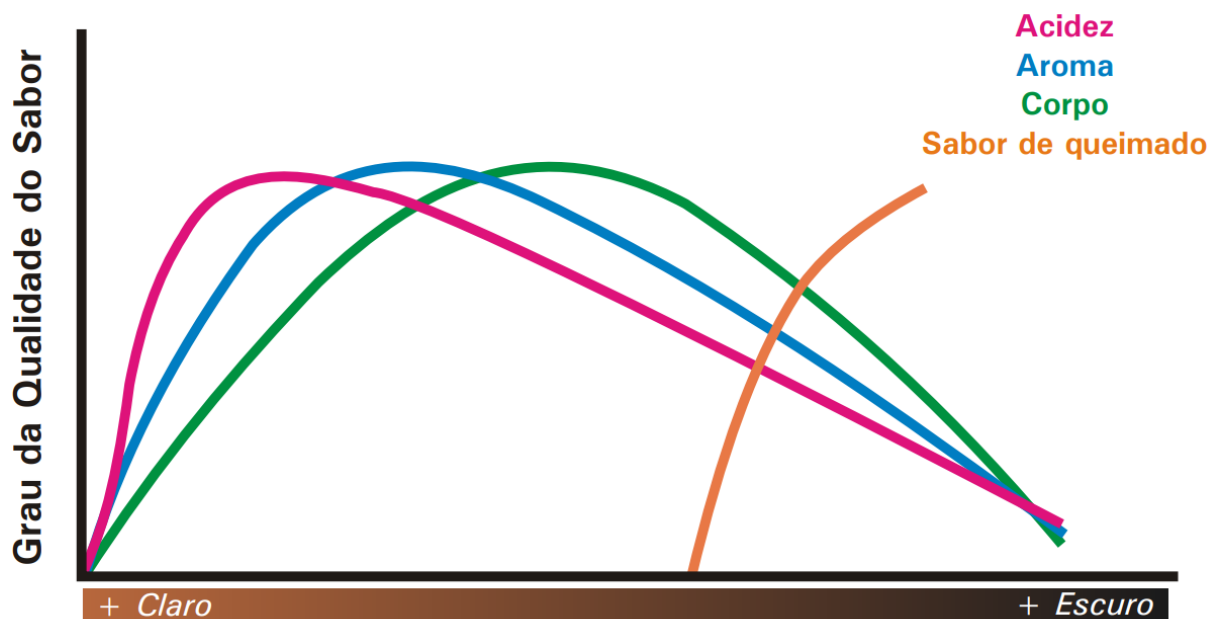


Figura 4 – Curvas de qualidade de atributos do café em relação ao grau de torra(MELO, 2004)

Nesta etapa também ocorre mudanças químicas e físicas no grão, onde temos reações de Maillard e caramelização da sacarose, os compostos voláteis importantes para as características organolépticas do café ocorrem nessa etapa, principalmente se houver uma torra de grau médio, onde os atributos estão mais destacados e presença mínima ou nenhuma de sabores e aromas de queimado. Basicamente, o café torrado não irá sofrer mudanças nas porções de cafeína e óleos essenciais, mas alguns compostos voláteis podem ser perdidos nessa etapa.

Além da coloração apresentar mudanças, que pode ser observada na Figura 5, o grão de café apresenta mudanças na sua massa e tamanho, onde o peso é reduzido, e o tamanho do grão aumenta (BHARAT, 2023).



Figura 5 – Grau de torra do café verde (à esquerda), do grau mais claro até o mais escuro (da esquerda para a direita)(OCTAVIO, 2020)

Logo, o café é colocado em torradores, que trabalham com temperaturas na faixa de 210 a 230 °C, faixa considerada ideal para ocorrer a torrefação. Importante ressaltar que o café realiza uma rampa de aquecimento até atingir a temperatura ideal, pois como o grão está a temperatura ambiente, há um tempo para que ele atinja tal temperatura, e nessa rampa há pontos que ocorrem várias mudanças no grão. A partir de 100 °C, a água perde boa parte da sua concentração, tornando o café amarelado e entre 120 e 130 °C, a coloração muda para castanho. A partir dos 150 °C, o odor do óleo essencial do café surge, chegando a 180 °C, gases de combustão surgem, desprendendo CO e CO<sub>2</sub>, e a coloração chega no tom marrom, o volume aumenta, e na faixa ideal, os aromas e sabores ideais surgem (VENTURINI FILHO, 2016). Após a finalização da torra, é necessário o resfriamento dos grãos para dar continuidade para a produção, assim podendo-se injetar ar frio comprimido ou água fria, quando ocorre com água, a porcentagem de água aumenta em uma pequena quantidade no grão, e fazendo assim o grão torrado ganhar um pouco de peso. (BHARAT, 2023)

Após essa etapa a moagem, ou granulação, ocorre para que o grão seja partido em pedaços uniformes, aumentando a superfície de contato entre o grão de café e a água, utilizada na extração, melhorando a eficiência da extração dos sólidos solúveis dos grãos e logo, aumentando o rendimento do processo. Idealmente essa moagem não pode acontecer com

granulometria menor, pois há chances de acontecer entupimentos ao longo dos próximos processos, principalmente pelo filtro de extração (RELVAS, 2023).

Na extração temos um sistema de estações com vasos, onde ocorre a percolação de água, com água quente a 150 °C e pressão média de 21 kgf/cm<sup>2</sup>, passando pelas cargas de café moído e torrado depositadas no interior desses vasos. Nessa etapa, a moagem afeta diretamente o rendimento do processo, pois é necessário que esse café moído não forme canais entre os grãos e também da compactação do grão de café. Então a água irá fluir através das cargas entre todos os vasos, desde a primeira até a última coluna, e essa passagem continua e sucessiva da água pelas colunas realiza a extração dos sólidos solúveis presentes no café. Uma eficiente extração é quando os teores de sólidos solúveis presentes no extrato final é entre 25 a 35%. Após isso, a borra utilizada na extração é retirada dos vasos, que são recarregados com café moído novo e realizado uma nova extração (VENTURINI FILHO, 2016).

Após a extração, é realizada a centrifugação e concentração do extrato, onde a centrifugação tem como objetivo principal realizar a separação de resíduos do extrato. Realizada por meio da clarificação, aperfeiçoando as características do extrato, pois retira resíduos responsável pelo amargor da bebida, além de retirar possíveis borras que acabam transpassando os filtros de extração. Após isso, também pode ocorrer a separação da água do extrato por meio da diferença de densidade, pois o extrato é mais pesado que a água, sua retirada facilita a concentração do extrato (SILVA; PASQUIM, 2018).

Já na concentração, existem vários métodos de evaporação da água para aumentar a concentração do extrato de café, o mais utilizado são evaporadores de múltiplos estágios, onde temos a retirada da água por meio do emprego de calor, concentrando em torno de 40% de sólidos solúveis, mas pode apresentar a perda de compostos responsáveis pela qualidade do café (VENTURINI FILHO, 2016).

Mas há a utilização de processo com vácuo, onde a temperatura de ebulição da água cai, necessitando de menos temperatura para a sua evaporação, e assim, preservando mais os aromas da bebida final. Outro método aplicável a concentração de extrato é a concentração a frio, onde temos um resfriamento que cristaliza parte da água presente no extrato, removendo os cristais de água, preservando compostos voláteis importantes para o aroma da bebida (RELVAS, 2023).

Esse extrato concentrado é direcionado a tanques que podem ser resfriados para maior preservação (VENTURINI FILHO, 2016), e assim podem ser enviados para a etapa de secagem do café.

### **3.5. Conceito de café solúvel obtido por spray dryer e liofilização**

O café solúvel que passa pelo processo de spray dryer tem diferenças significativas em relação ao obtido pelo processo de liofilização. No spray dryer há um emprego de grandes temperaturas, na faixa de 100 °C, ou até 150 °C, e se tratando de café, há a presença de compostos voláteis responsáveis pelo aroma e sabor do café, como os ácidos, compostos nitrogenados e açúcares (MACHADO et al., 2021). Esses compostos acabam se perdendo ao longo do processamento graças ao emprego do calor necessário para a realização da secagem (VENTURINI FILHO, 2016).

Já a liofilização trabalha com baixas temperaturas, congelando o extrato em uma câmara de vácuo, realizando assim a sublimação da água, e assim conservando grande parte desses compostos que se perdem ao longo do processamento com emprego de calor (CALDER, 2022).

### **3.6. Spray drying**

#### **3.6.1. Princípios de atomização**

Para que ocorra a secagem por pulverização, precisamos de um líquido, que neste caso é o extrato concentrado de café, para que seja pulverizado, ou seja, atomizado em pequenas gotas que acabam secas através de um fluxo de ar quente. Essa atomização é a etapa fundamental para o spray drying e do processamento do café solúvel, é responsável pela formação das gotas, aumentando a relação do volume da gota para a sua área de superfície, e quando exposta ao ar quente, permite uma secagem muito mais eficiente, aonde obtemos a primeira transformação do produto, saindo da forma líquida para a sólida. A definição de atomização, se trata inicialmente de um sistema com um produto líquido, e ocorre a separação desse sistema, praticamente separando em uma fração mínima do tamanho original, logo, atomizar um fluido, facilita sua secagem. Com a formação das gotas (ou atomização), sua resistência interna para transferir a umidade de dentro da gota para o meio externo é facilitado, pois houve um aumento considerável da sua área de contato com o ar, facilitando a transferência de calor e a separação da água presente na gota do restante dos componentes. Além disso, a atomização é responsável por influenciar a forma final do produto, estrutura molecular, além de parâmetros de processo, como velocidade das gotas, tamanho e distribuição. Assim, minimiza ou evita as perdas de compostos voláteis, mantendo a morfologia e características do produto (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015).

Existem diferentes tipos de atomização em spray drying, mas os dois principais são:

- Disco rotativo: seu funcionamento se baseia em uma descarga de líquido em alta velocidade até o centro de um disco rotativo (Figura 6). À medida que o disco gira em alta velocidade, a força centrífuga faz com que o líquido se espalhe na superfície do disco e forme uma camada fina. A interação da camada líquida com o ar resulta na formação de gotas finas. A força necessária para atomizar é a centrífuga, mas pode utilizar a força de pressão, cinética, sônica ou elétrica, conseguindo produzir qualquer tipo de spray desejado, de finos aos grossos, com tamanho médio da gota. É possível manipular a viscosidade e a abrasão do extrato, sendo assim ideal para lidar com matérias-primas abrasivas, tendo vantagem pela sua rotação, impede a obstrução dos furos do bico e produz gotas mais uniformes, podendo ser aplicado com baixa pressão de alimentação em relação aos outros bicos. Sua desvantagem é quando trabalha com um líquido mais viscoso, além de não ser possível a instalação em um spray dryer horizontal (SELVAMUTHUKUMARAN, 2020).

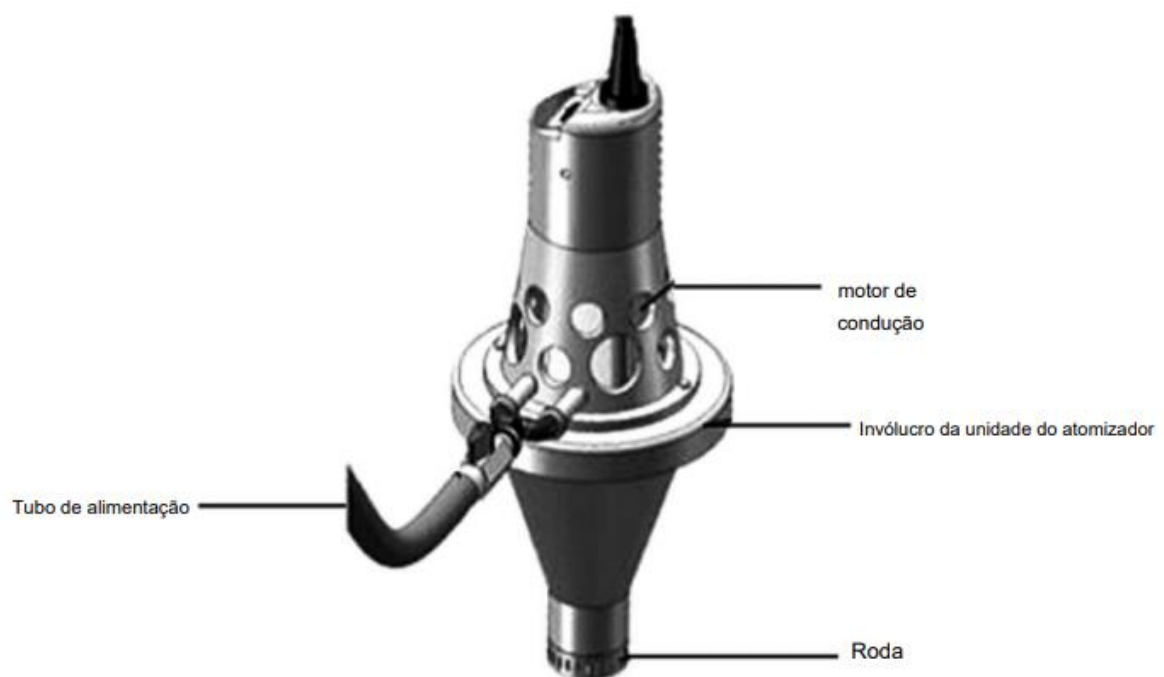


Figura 6 - Bico de disco de pressão (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015)

- Bico de Pressão: Neste bico, o líquido é bombeado para uma câmara de alta pressão e forçado a passar através de pequenos orifícios ou bicos, a alta pressão faz com que o líquido seja pulverizado em gotas finas quando passa pelos orifícios, podendo controlar o tamanho das gotas ajustando a pressão e/ou o diâmetro dos orifícios. Essa energia



fornecida pela pressão é convertida em energia cinética, fornecendo uma alimentação com um jato de alta velocidade que se rompe, formando um spray carregado de gotas, produzindo um spray menos homogêneo e mais denso, ideal para ser aplicado a extratos com baixa viscosidade (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2015). Mas em contrapartida, com altas taxas de alimentação, os sprays tendem a perder a homogeneidade e as gotas ficam maiores do que os atomizadores de bico rotativo. (SELVAMUTHKUMARAN, 2020). Graças aos ângulos de pulverização menores, a câmara de secagem pode ter maior altura, mas com menor largura, e para um aumento de na taxa de alimentação do bico, deve-se usar um arranjo de vários bicos (Figura 7), pois sua capacidade de alimentação do bico é limitada (MUJUMDAR, 2006).

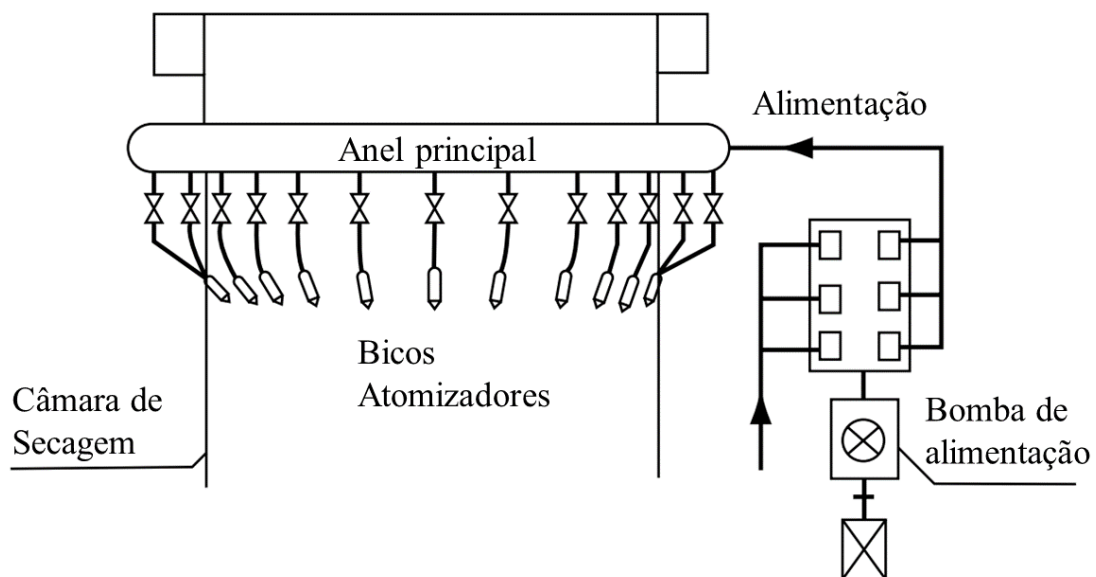


Figura 7 - Esquema com vários bicos de pressão (MUJUMDAR, 2006)

Outros bicos atomizadores são: bico pneumático, ou de duplo fluido, tendo o fluido desejado a ser secado, e outro, um gás comprimido em alta velocidade, responsável por criar um campo de cisalhamento, atomizando o líquido e produzindo as gotas (SELVAMUTHKUMARAN, 2020). Os ultrassônicos, contém um dispositivo eletromecânico que produz uma vibração com frequência alta, quebrando a tensão superficial, e após isso, o líquido passa por um conjunto de discos e uma ponta ressonante, assim forma-se um escoamento fino e quando a vibração aumenta, há a formação de gotículas. E por último temos os atomizadores eletro hidrodinâmicos, que utiliza uma carga eletrostática para a atomização, com uma corrente elétrica aplicada entre dois eletrodos localizados entre o extrato, com a

necessidade de solvente para a utilização, porém produz um fluxo de secagem extremamente baixo em relação aos outros métodos (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015).

Após a atomização, é necessário que haja uma corrente de ar quente para ocorrer a secagem, com a alimentação atomizada acontecendo, é necessário que o ar quente entre em contato com o extrato atomizado, dentro de uma câmara (SELVAMUTHUKUMARAN, 2020). Esse ar quente pode entrar de duas maneiras no balão (Figura 8), pela parte superior ou inferior, onde a entrada superior se mostra mais viável, por se tratar um sistema concorrente, assim há uma temperatura mantida baixa, devida a alta taxa de evaporação ocorrendo, sendo mais efetivo. Já o arranjo contracorrente, onde o ar quente entra no balão pela margem inferior, oposta a entrada do bico atomizador, logo a temperatura do produto de saída é maior que a do ar de entrada, esse arranjo é destinado a produtos que contém maior resistência ao calor. Podemos também ter um sistema híbrido, onde temos os fluxos mistos, para produção de pó com granulometria maior e com fluxo livre, mas causa a maior temperatura de saída do produto (MUJUMDAR, 2006).

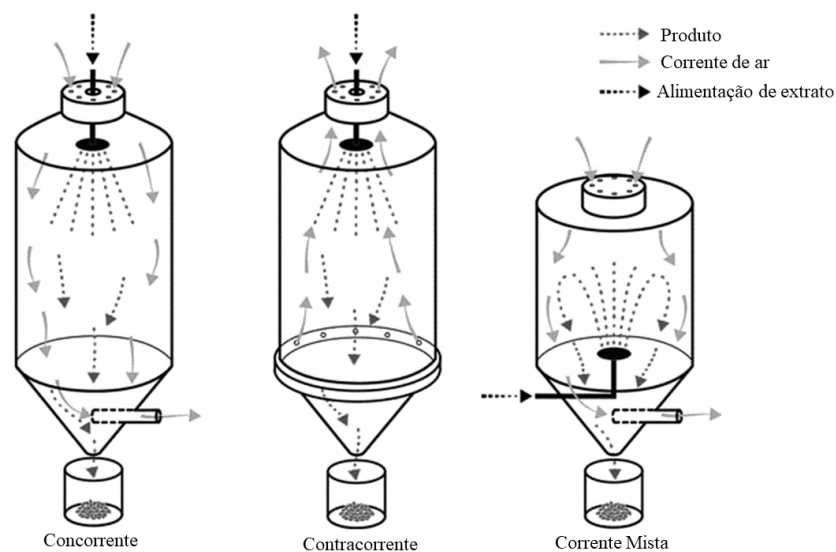


Figura 8 – Esquema comparativo entre métodos de alimentação e entrada de ar quente (MUJUMDAR, 2006)

### 3.6.2. Separação de partículas

A separação de partículas em um spray drying é a etapa responsável por retirar o produto seco do ar quente que foi utilizado na secagem, para que o alimento seja envasado ou repassar por mais um processo, que é o caso do café solúvel (SELVAMUTHUKUMARAN, 2020).

Para isso, é instalada uma câmara de separação, que recebe a corrente de ar quente com pó seco tangencialmente, e com uma força centrífuga, as partículas de pó secas são lançadas no interior da câmara, onde vamos obter a separação do pó do ar quente. Os parâmetros de fluxo de ar, tamanho e densidade das partículas de pó serão importantes e influenciam a eficiência dessa separação. O separador pode também ter um sistema de recirculação de pó, instalado em pontos estratégicos da produção, para que seja reaproveitado pó que não esteja conforme o produto final que se deseja obter, assim melhorando a homogeneidade, evitando perdas ao longo da produção e de que o produto fique fora dos parâmetros da qualidade. Além de todas essas funções, cabe ao separador de moléculas evitar que o próprio sistema de circulação de ar acabe jogando pó para a atmosfera, evitando a poluição do ar ao redor da unidade fabril, além de modificar a umidade e auxiliar na secagem do pó produzido (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015).

Existem dois sistemas de separação de partículas mais utilizados industrialmente, sendo eles:

- Separação por ciclone: é normalmente aplicado juntamente ao spray dryer, onde temos um dispositivo mecânico que irá induzir uma força centrífuga para que ocorra a separação do gás de arraste (ar quente). Ele é formado por um balão com formato cilíndrico na sua parte superior conectado a um cone na margem inferior, com um cano interno, como demonstrado na Figura 9 (MUJUMDAR, 2006). Então o ar quente entra no ciclone carregado de pó pela parte superior do separador e acaba caindo no cone, assim se forma um ciclone externo. Com o aumento da velocidade do ar no ciclone, ele irá fornecer uma força centrífuga para as partículas, que acaba separando-as da corrente de ar quente, e quando essa corrente chega ao fim do cone, é criado um ciclone interno, onde se inverte a direção da corrente de ar e ele acaba saindo no topo como ar limpo, ausente de pó. Sua simplicidade causa baixo investimento e manutenção, além de ser eficiente para partículas grandes. Mas em compensação, quando se trata de partículas pequenas, sua eficiência é extremamente baixa, acarretando em problemas para produção, como interrupções, intervenções não planejadas, além de conter um nível de emissão de partículas para a atmosfera mais alto (SELVAMUTHUKUMARAN, 2020)

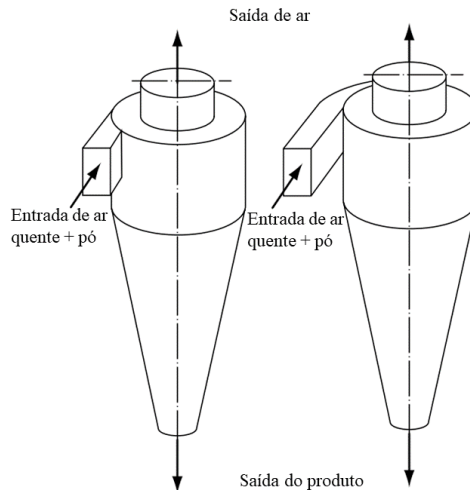


Figura 9 – Separador de ciclone (MUJUMDAR, 2006)

- Bag-filter: é composto também por um balão com uma porção final cônica (Figura 10), e conta na sua parte interna com várias estruturas metálicas, chamadas de gaiola, que são revestidas por um pano, chamado de manga, na parte externa, que é onde ocorre o contato com o pó. Então o ar carregado de partículas entra no balão do bag-filter, por sucção ou pressão, o ar acaba passando pelos filtros e o pó que estava na corrente de ar fica retido na superfície externa do filtro, o ar limpo passa pelas mangas e segue para a saída do filtro de mangas. Após isso, acontece uma descarga de ar comprimido que vem por meio de válvulas, posicionadas acima do vão central de gaiola, e essas válvulas injetam ar comprimido para que o fluxo de ar se inverta momentaneamente, fazendo que o material particulado que está retido nos filtros seja removido e caiam na parte inferior do separador. As vantagens desse sistema se dão as emissões de poluentes extremamente baixas, sua operação e limpeza simplificada, mas requerem um detector de monóxido de carbono na saída de ar, além de serem mais caros para montagem e manutenção (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015).

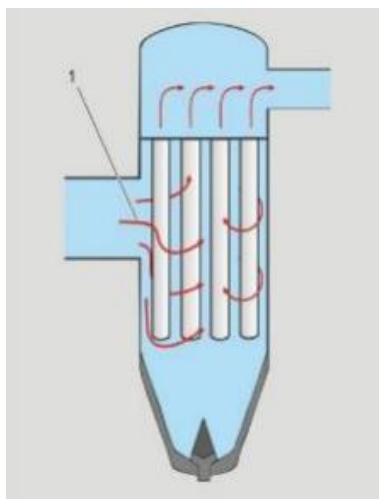


Figura 10 – Separador Bag-filter (do autor, 2023)

Temos também um separador por precipitação eletrostática (Figura 11), onde um precipitador eletrostático composto por fios de descargas elétricas e placas coletoras de pó. Uma certa voltagem é aplicada pelos fios, formam um campo elétrico entre o fio e a placa, ionizando o ar entre eles, carregando as partículas de pó presentes no ar e que acabam sendo coletadas pela placa usando a força de Coulomb, enquanto o ar segue seu fluxo. Esse pó coletado pela placa é removido por meio de batidas na placa ou raspagem com escovas. Esse sistema é pouco utilizado por demandar um alto custo e baixo rendimento para produção (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015).

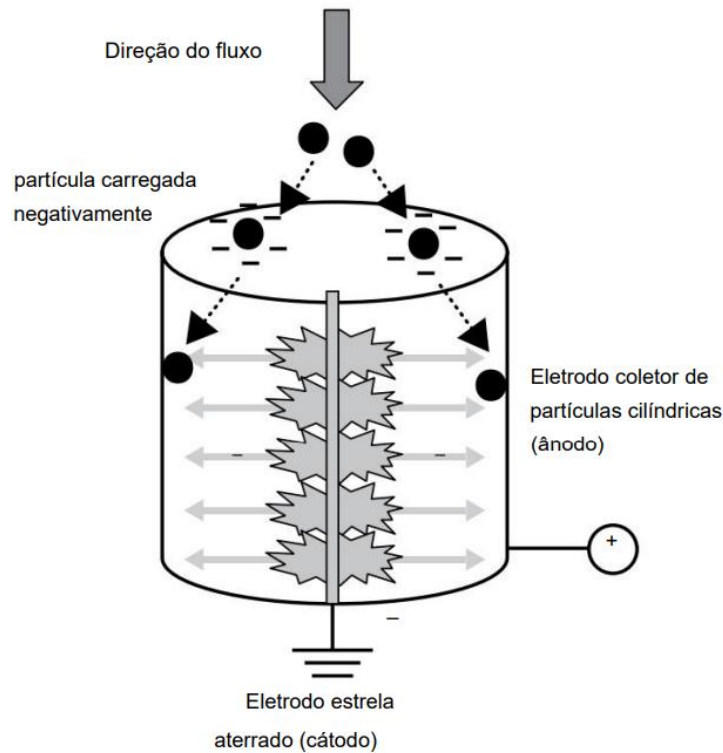


Figura 11 – Separador eletrostático (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015)

### 3.6.3. Morfologia das partículas

A morfologia apresentada por uma partícula que é submetida ao processo de spray drying é diretamente influenciada pelos parâmetros empregados na secagem, por se tratar de um processo que transforma um extrato líquido em um pó sólido, existem diversas variáveis que impactam na morfologia final da partícula (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015). A qualidade do pó será observada principalmente pela sua capacidade de reconstituição e sua fluidez, que são propriedades influenciadas pela morfologia apresentada pela partícula, como tamanho e forma apresentadas, os efeitos da área superficial da partícula do pó, peso específico e porosidade (BOTH; BOOM; SCHUTYSER, 2020).

De acordo com Anandharamakrishnan (2015) e Selvamuthkumaran (2020), quando acontece a secagem, os eventos ocorrem da seguinte maneira, na primeira etapa, após a secagem da superfície da partícula, obtemos a “casca”, parte mais externa da partícula, e então dois destinos para essa partícula, onde o primeiro ela irá ter uma casca seca, mantendo a temperatura ela originará uma partícula esférica sólida, ou se a temperatura for alta de mais, acaba formando partículas quebradas, com formatos aleatórios. A casca úmida irá originar uma partícula com interior oco, contendo uma bolha no seu interior, e ela pode tanto, colapsar a bolha interna, e

reconstituir a bolha em seguida, e se a temperatura for alta, inchar essa bolha interna, enrugando ou estourando a casca externa. Logo, a temperatura é o maior ponto que influencia a morfologia da partícula, desde o formato, tamanho e porosidade. Mas a tensão superficial do extrato também modifica o tamanho e o formato, podendo ser esféricas, bastões e outras, e quanto maior a tensão superficial, mais próximas do formato esférico as partículas irão apresentar. A porosidade é formada pelas bolhas internas, e elas beneficiam a partícula, aumentando sua solubilidade, aumentando a área de contato da partícula, e também influencia a capacidade de fluxo do pó dentro da instalação, a estabilidade e reatividade dessa partícula.

O principal ponto para o café em relação a sua morfologia é a retenção de voláteis, onde podemos observar que se trata de um grande problema, sabendo que o café solúvel vai conter menos de 10% dos aromas presentes na bebida original. Mas o tratamento e posteriormente a sua reintrodução ao produto garantem um custo extra ao processo, além que posteriormente, a volatilização alta desses compostos em baixas concentrações tenderá a evaporar muito mais rápido em soluções aquosas, mas quando essa concentração é mais alta, ocasionalmente ocorre o contrário. Logo com uma concentração de sólidos mais alta, o coeficiente de difusão de alguns compostos voláteis vai se tornar menor do que da água, assim são retidos com uma resistência maior durante a secagem, esse fenômeno é chamado de “difusão seletiva”, explicando como parâmetros do processo podem ser otimizados para proporcionar uma retenção maior dos compostos voláteis. Mas o efeito da morfologia ou mudanças nela que ocorrem durante a secagem por pulverização ainda permanecem desconhecidas e apenas são especuladas (WALTON; MUMFORD, 1999).

#### **3.6.4. Parâmetros e variáveis do processo**

Um spray dryer é um processo bastante complexo, contendo várias etapas com diferentes parâmetros para realizar as etapas necessárias do processo, assim temos os principais que influenciam diretamente a eficácia e qualidade da produção.

A atomização, localizada no bico atomizador é onde ocorre a fissão do extrato, tem como parâmetros a vazão de alimentação e a viscosidade do extrato, que acaba modificando o tamanho da partícula seca, dependendo do modelo do bico, temos a força aplicada pela vazão de extrato e a viscosidade relacionada a força de ligação das moléculas. A tensão superficial do extrato de alimentação é importante para que seja quebrada e forme as gotículas necessárias para o processo (MUJUMDAR, 2006) opcionalmente pode-se adicionar aditivos emulsificantes

para auxiliar na quebra da tensão superficial (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015).

Todos esses parâmetros estão lidando apenas com a porção responsável pelo extrato e atomização, mas outros parâmetros após a atomização pelo bico vão influenciar no processo e o principal deles é o ar quente de secagem (CAL; SOLLOHUB, 2010). A temperatura que esse ar entra é de extrema importância, ela que irá fornecer a energia necessária para retirar a água do interior das partículas, e manter um controle desse ar pode resultar em melhores condições, pois temperaturas altas tendem a degradar compostos termo sensíveis, que para a indústria de alimentos não se mostra interessante, e a pressão que esse ar entra também é importante, pois ela pode modificar a umidade final do produto (SELVAMUTHUKUMARAN, 2020). Logo a temperatura que a partícula sai do equipamento segue a mesma importância, por ela é possível determinar a temperatura que o ar carregado de pó tem antes de entrar no ciclone de secagem, pois ela está diretamente ligada a um equilíbrio termodinâmico que acontece entre massa e calor dentro do balão de secagem, e por isso não pode ser controlada diretamente (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015).

### 3.7. Aglomeração do café

A aglomeração do café é uma etapa onde ocorre a união das partículas pequenas, obtidas pelo bico atomizador, assim formando partículas grandes, aglomerados de pó que tem formatos de grumos, observado na Figura 12.

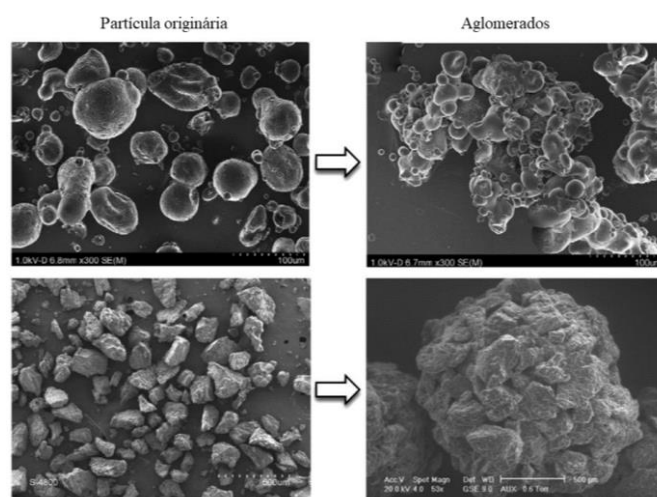


Figura 12 – Exemplos de pós finos que passaram pela aglomeração (CUQ et al., 2013b)



Isso é resultado de uma adesão ou uma força de colisão entre as partículas. Assim a colisão pode ocorrer entre duas ou mais partículas secas, duas gotas de um líquido ou entre uma gota líquida e uma partícula seca, e a adesão vai depender da força que ocorre o impacto e o tempo de contato entre as partículas. A aglomeração também depende da morfologia da partícula, principalmente da superfície, viscosidade, atividade de água e capacidade de solubilidade, pois durante o processo de spray dryer, temos mudança em todos esses parâmetros da partícula. A aglomeração tende a melhorar a solubilidade de alimentos após a produção (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015)

A solubilidade está diretamente ligada a composição da superfície da partícula, pois ela impacta diretamente nas propriedades funcionais do pó, pois com a presença de água na superfície, ou outro tipo de solvente utilizado para realizar a aglomeração, facilita a ligação entre as moléculas do pó e o solvente a ser dissolvido, assim, aumentando a dissolução do componente aglomerado (CUQ et al., 2013a).

Mas a aglomeração não se restringe apenas a indústria alimentícia, podendo incluir fabricação de cerâmicas, ração para animais, produtos de limpeza doméstica e fármacos. Mas a indústria de alimentos tem um grande interesse pois é possível o controle da porosidade e da densidade do material com maior facilidade. Para cafés, ela facilita sua solubilidade, pois se trata de uma molécula porosa, com maior contato direto com o solvente, assim, solubilizando com maior facilidade, além de conservar os aromas, quando o café aglomerado solúvel é dissolvido, ele libera com maior intensidade aromas característicos de café. A aglomeração também melhora propriedades como reidratação e reconstituição, facilitando estocagem e transporte de alimentos, tanto em níveis industriais como domésticos. Existem cerca de 4 métodos de aglomeração mais utilizados na indústria de alimentos, sendo elas a pôr agitação, pressão, térmico e pulverização ou dispersão (DHANALAKSHMI; GHOSAL; BHATTACHARYA, 2011). Na Figura 13, temos o exemplo de um esquema de aglomerador de leite fluidizado e na Figura 14, temos um equipamento de aglomeração de pó.

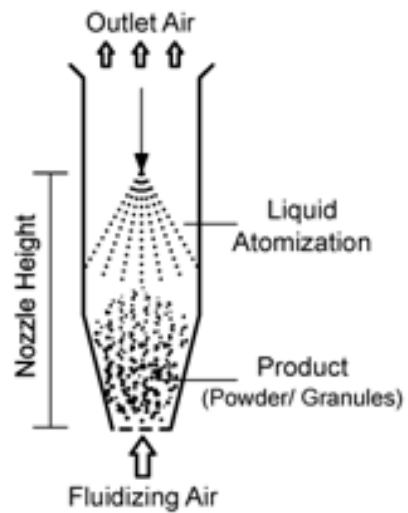


Figura 13 – Esquema de aglomerador de leito fluidizado (DACANAL; MENEGALLI, [s.d.])



Figura 14 – Equipamento de aglomeração de pó (“Agglomeration / Coating - Vibra MASCHINENFABRIK Schultheis GmbH”, 2023)

Já o café solúvel, após passar pelo processo de aglomeração pode apresentar duas texturas: fina e padrão, onde há a variância dos parâmetros, pois o aglomerado fino (Figura 15) é menos aglomerado e o padrão (Figura 16) é mais aglomerado.



Figura 15 – Café solúvel aglomerado de textura fina, pouco aglomerado (“SPRAY DRIED INSTANT COFFEE POWDER - 21food”, 2023)



Figura 16 – Café solúvel aglomerado de textura padrão (“Brown Organic Instant Coffee Powder”, 2023)

Neste ponto, a umidade é modificada e ela é tão importante pois o café solúvel tem baixos índices de umidade, com a legislação brasileira permitindo no máximo 5% de umidade, mas em relação ao café verde ou torrado, ela é menor, aumentando seu tempo de vida (STREIT, 2021).

#### **4. RELATO E DISCUSSÃO DE PROCESSO ESTABELECIDO EM EMPRESA DO SETOR: ETAPAS DE SECAGEM E AGLOMERAÇÃO**

O café solúvel é um produto que contém um complexo sistema para sua obtenção, vários parâmetros são essenciais para que haja no final, um café de qualidade e de acordo com as normas tanto de qualidade, quanto de segurança alimentar. Levando em consideração também a complexidade de todo processo, o foco no sistema de spray dryer se dá principalmente ao seu balanço de energia, complexo e com um grande número de parâmetros para que haja influências no produto final (OLIVEIRA, 2018).

Nestas sessões, vamos discutir alguns parâmetros utilizados pela empresa na obtenção do café solúvel no setor de pulverização e aglomeração, suas influências sobre o produto final, sua eficiência de produção e qualidade do produto obtida pelo processo.

##### **4.1. Definição interna do café solúvel produzido e parâmetros de qualidade**

Antes de definir os parâmetros de processo, é necessário ter conhecimento da definição do café solúvel para a empresa, onde um café solúvel pode ser classificado em 4 tipos, dependendo da característica de aglomeração que ele apresentar. E são eles o aglomerado, pó aglomerado tradicional, produzido em spray drying e com grumos grandes característicos. Aglomerado fino, apresenta como textura grumos de granulometria menor em comparação ao aglomerado tradicional. Já o pó fino é conhecido por ser ausente de aglomeração, um pó próximo ao pó primário, obtido após a atomização e secagem. E por fim, temos o liofilizado, café que passa pelo processo de liofilização e apresenta um grumo com textura mais lisa que o aglomerado tradicional. Já relacionado a qualidade, são indicados pela umidade, densidade, fragilidade, aparência e sabor.

A umidade é a mais importante pois ela é exigida por legislações alimentares ao redor do mundo, com diferentes normas para cada país, além da própria norma interna da empresa e a preservação da qualidade, pois a umidade presente vai indicar principalmente o tempo de prateleira, e cada produto tem uma margem aceitável de quantidade de umidade, alguns na faixa de 3% de umidade, outros com cerca de 2% de umidade, variando de acordo com o produto e destino. A densidade do pó está ligada a aparência e especificações das embalagens, quando se trata de uma embalagem de vidro, por exemplo, pode apresentar diferença visual entre os produtos, podendo acarretar em uma percepção errada ao consumidor. Fragilidade do pó é um ponto que principalmente, vai conferir qualidade visual ao consumidor, mostrando resistência durante o processo e transporte. A aparência é o ponto mais impactante para a decisão de

compra, como a cor apresentada e formato do aglomerado. O sabor e aroma do café, quanto maior a intensidade de ele apresentar, maior será a qualidade empregada ao café solúvel.

#### **4.1.1. Processo de obtenção do café solúvel**

O processamento de café solúvel se inicia na recepção de café verde em docas, onde esses cafés estão armazenados em carretas para o transporte, são feitos testes de garantia de qualidade, e todas essas big bags onde o café vem, já tem destino traçado, pois o controle de armazém para uma produção de 24 horas e ininterrupta necessita de um planejamento de antemão para organizar a produção.

Logo os grãos são armazenados em um armazém específico, para que seja direcionado ao setor chamado café verde, responsável por retirar o café das big bags e despejar nas linhas de produção. Utilizando sopradores, esteiras e elevadores de caneca, essa etapa contém 2 coletores de café para abastecer as 3 linhas adiante de produção. Nessa etapa também é importante fazer a separação do grão de café da sujidade, chamada de palha de café, ela é realizada por meio de *Roots* (Sopradores), utilizando a aceleração dos motores e diferença de densidade entre a palha e o grão de café, é feita a limpeza do café. Importante frisar que nesta etapa já existe a necessidade de cuidados com a limpeza da linha, sendo que quando se despeja cafés do tipo *conilon* e depois *arábica*, ou cafés com baixos índices de glifosato, é necessário a limpeza do sistema para não acontecer a contaminação cruzada no café, por se tratarem de produtos de origem diferentes.

Após isso o café é direcionado aos silos de armazenamento onde ficam disponíveis para os torradores, e antes mesmo do café chegar aos torradores, é feita a pesagem, o blend, se necessário, de dois ou mais tipos de café diferentes. Então, esse café é despejado no cilindro do torrador, aproximadamente 500kg, e com aproximadamente 15 minutos, o café está torrado de acordo com a especificação, padronizando cor e umidade.

O café é direcionado aos silos de café torrado, onde é direcionado para as linhas de extração, passando pela moagem do grão, aonde a granulometria é aproximadamente de uma quireira de arroz. Esse café moído desce para o sistema de mixer, onde teremos a obtenção do aroma dos grãos de café e esse aroma é direcionado a um equipamento para tratamento do aroma. Os grãos de café vão seguir para um silo móvel para despejo em células de extração, essas células são responsáveis pela extração sólido-líquido do extrato chamado fino, onde se aumenta a pressão, injeta água quente e vapor, e depois passa-se em filtros para retirada de sujidades, obtendo o extrato fino de café, com aproximadamente 16 °BRIX de sólidos.

Após isso o extrato fino de café é direcionado aos evaporadores, passando por centrifugas para separação de sujidades, tanto no extrato fino, quanto no concentrado, esse extrato fino é direcionado a um evaporador de múltiplos estágios, para concentração a cerca de 60 °BRIX, convertendo para Teor de Concentração, cerca de 50% de sólidos no extrato.

Após todo esse processo, o extrato concentrado é armazenado em tanques pulmão do pulverizador, para que seja preparado para a secagem por Spray Drying, sendo necessário em algumas linhas a reinserção do aroma do café no extrato concentrado, sendo feito a mistura nessa etapa quando a linha contém o sistema de obtenção de aroma na extração, na Figura 17, é possível observar um fluxograma de todo processo que o café é aplicado até chegar na aglomeração.



Figura 17 – Fluxograma de produção de café solúvel (DO AUTOR, 2023).

## 4.2. Secagem por spray de café: parâmetros do processo

### 4.2.1. Extrato concentrado

O início de todo setor de pulverização se trata da parte de extrato, ele é obtido por toda cadeia de produção, e aqui temos os tanques de extrato concentrado localizados nos evaporadores. Esse extrato está ligado a uma bomba e uma válvula de abertura e saída, que puxam esse extrato para o tanque pulmão de alimentação do spray dryer.

Localizado no pavimento do térreo do setor, estes tanques contém um filtro para retenção de possíveis sujidades ainda existentes no extrato, e após isso, são pressurizados para o andar onde está localizado a resistência de aquecimento do extrato e o injetor de CO<sub>2</sub>. Esses dois equipamentos mudam parâmetros da viscosidade, que de acordo com Anandharamkrishnan (2015) e Selvamuthkumaran (2020), a viscosidade está diretamente

ligada a tensão superficial que o extrato apresenta, e a tensão superficial é um dos pontos que determina a eficiência da atomização do extrato para secagem, ou seja, quanto maior a tensão superficial que o extrato, maior resistência a atomização ele irá apresentar.

Como o extrato que sai do evaporador acaba passando por um resfriador antes de chegar aos tanques, para que haja maior conservação e assim a possibilidade de formação de estoque de extrato concentrado, a temperatura irá cair, e de acordo com a definição de viscosidade de um fluido, a temperatura está diretamente ligada a viscosidade que o fluido apresentará (MUSON, 2004). Então, seguindo essa definição, a viscosidade do extrato concentrado de café na entrada do pulverizador será maior, apresentando maior tensão superficial e maior dificuldade de atomização.

Logo, o aquecedor do extrato terá a função de diminuir a tensão superficial, e assim facilitando a atomização do extrato, mas também há a inserção de gás CO<sub>2</sub> no extrato antes do aquecimento, esse gás visa também em diminuir a tensão superficial apresentada pelo extrato, facilitando assim sua atomização (KOROBENIKOV et al., 2021), e a escolha do CO<sub>2</sub> para esse procedimento é devido a sua característica de não interferir na característica organoléptica e boa solubilização no extrato. Após esse procedimento, o extrato está pronto para ser direcionado ao Spray Dryer, para realização da sua secagem e obtenção do chamado pó primário, um pó com partículas extremamente pequenas, que ainda não se trata do produto final.

Nessa etapa é imprescindível a atenção nestes 3 pontos principais, o fluxo de CO<sub>2</sub> utilizado, a temperatura do aquecedor de extrato e a potência da bomba. Como foi dito acima, os dois primeiros parâmetros servem para diminuição da tensão superficial, mas a inserção de CO<sub>2</sub> tem um papel importante na questão visual e qualitativa do café solúvel.

Quanto maior o fluxo de CO<sub>2</sub>, melhor será a atomização, e conseqüentemente, a cor será mais clara, e o peso específico do produto será menor, produzindo um pó “leve”. Mas nem sempre isso é o objetivo, a inserção de gás em excesso tem um tópico específico nos documentos de procedimento, além de diminuir o tamanho da partícula, podendo tornar irreversível depois desse ponto a readaptação do peso específico, acontece algo chamado de “efeito camaleão”, onde temos um pó que acaba saindo claro, mas após a secagem e retirada da umidade, ele acaba modificando sua cor, escurecendo o pó a ponto de ser imprevisível o comportamento da cor.

Outro problema que ocorre nessa etapa, é a formação de espuma no fim dos tanques de extrato concentrado, essa espuma, quando chega as bombas de pressurização da linha, acabam

aumentando sua velocidade, e ocasionando um possível desligamento do pulverizador, uma solução para isso seria um separador de espuma contínuo, onde não há necessidade de aditivos, e com a produção contínua, separaria a espuma do extrato por meio de densidade, um equipamento como da Figura 18.



Figura 18 - Separador de espuma (L&J TECHNOLOGIES, 2023)

#### 4.2.2. Spray Dryer

O Spray Dryer basicamente é composto pelo bico atomizador, também chamado de bico central ou bico de líquido, bocal de ar quente, diafragma do balão e o balão de secagem, então o extrato já aquecido é direcionado ao bico atomizador, onde temos um arranjo do encanamento de extrato em diagonal, e o ar quente é direcionado na vertical, paralelamente ao bico atomizador, vindo de cima para baixo, como segue a Figura 19 abaixo:

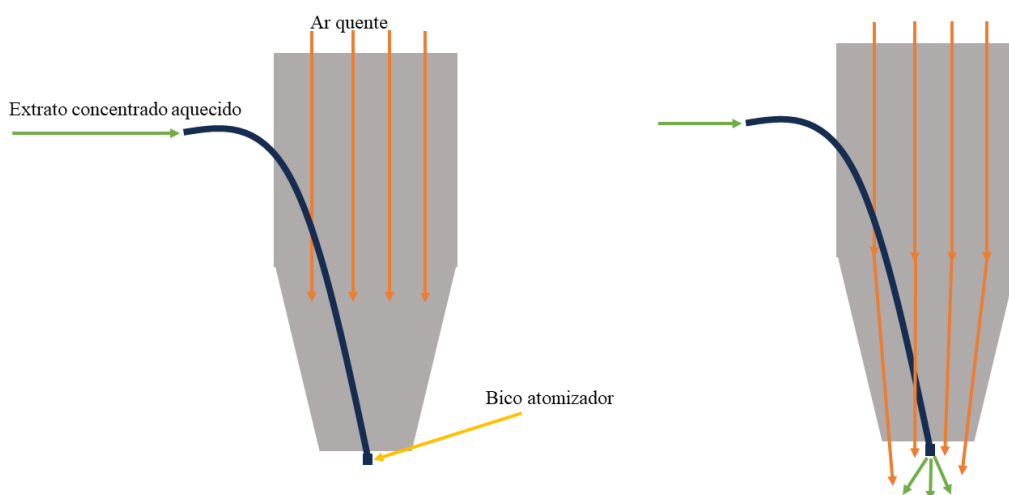


Figura 19 – Esquema simplificado do Spray Dryer (DO AUTOR, 2023).



O ar quente é originado por fornos que produzem esse ar quente, e podemos trabalhar com essa entrada de ar quente com duas variáveis, temperatura e pressão do ar quente, ambas impactam no processo de secagem. Após o ar quente vier para o bocal de saída, ele entra em contato com o extrato pulverizado, assim ele realiza a secagem, retirando água presente no interior de cada molécula atomizada (MUJUMDAR, 2006), obtendo o pó seco, chamado de pó primário. Na Figura 20 há um o arranjo de uma planta genérica de spray dryer, onde temos a alimentação de extrato, passando por bombas para pressurização, o ar que tem uma bomba e aquecedor, um sistema de separação de partículas e o exaustor de ar interno do spray dryer.

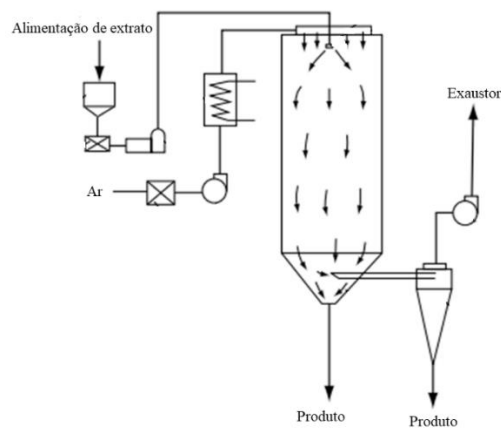


Figura 20 – Arranjo genérico de um spray dryer (MUJUMDAR, 2006).

#### 4.2.3. Bag-Filter

O bag-filter se trata de um sistema de separação de partículas presente no secador por pulverização, por se tratar de um sistema onde temos a separação realizada por mangas, e posteriormente sua queda por pulsos de ar dentro das mangas (MUJUMDAR, 2006). Logo para que esse pó carregado saia do balão de secagem do spray dryer e chegue a separador de partículas, há dois arranjos possíveis de acordo com Selvamuthkumaran (2020), um onde a entrada irá estar na parte de baixo do balão ou na parte superior do balão.

O pulverizador na empresa contém a sua entrada de balão de secagem-separador de partículas na parte superior de ambas câmaras, logo, há uma necessidade que tenha uma corrente de ar para carregar essas partículas para o interior do separador. Assim temos o chamado ar exausto, esta corrente de ar é resultado de um exaustor instalado no bag-filter, que puxa o ar na parte superior do balão, e assim podemos obter essa transferência do pó de um balão para outro. Assim o pó adere a superfície das mangas, e com pulsos de ar, é direcionado para baixo, onde temos uma peneira fluidizada com formato cônico, e no centro, a saída de pó desse separador

É importante frisar que no bag-filter podem ocorrer entupimentos, devido a muitos fatores, como a saturação das mangas, podendo ocorrer entre elas a formação de pelotes de café, a pressão e temperatura do ar da peneira fluidizada, que se trata de uma chapa metálica cheia de pequenos furos, por onde passam o ar e assim criam um leito fluidizado com ar para direcionamento do pó primário a saída do separador, evitando acúmulos internos.

Seguindo a cartilha de funcionamento da empresa para o setor de pulverização, a formação de pelotes entre as mangas podem ter várias causas, umidade relativa do pó, do ambiente, temperatura do ar pulsante e do ar exausto. A pressão do ar da peneira fluidizada deve ser ideal também, para que haja uma direção adequada do pó para o chamado pescoço do bag-filter, e assim sua continuidade no processo.

No bag-filter também é instalado um sistema de aspirações ligadas as peneiras, essas são responsáveis pelo reaproveitamento de pó, visando a retirada de pó fino e/ou pó primário da etapa final do pulverizador, evitando assim desperdício de produto, além da melhor adequação aos padrões de qualidade da produção.

O funcionamento do soprador pulsante é parcial, chamado de helicóptero, ele se trata de uma régua com saídas de ar, que se posicionam no bocal das gaiolas, e assim pulsam uma quantidade específica de mangas para que haja a descida do pó, aqui podemos manipular a velocidade que ocorre o pulso e a temperatura desse ar de pulso.

#### **4.2.4. Aglomeração**

Responsável direto pela qualidade visual do café, a aglomeração se trata da reidratação do pó primário para o que chamamos de café aglomerado, com texturas ideais, responsáveis pela melhor solubilização do pó, facilitando sua reconstituição em formato de bebida (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015).

Essa etapa é quase ligada diretamente a separação de partículas, pois após o pó primário sair do bag-filter, ele passa por moinhos que quebram qualquer resquício de pelote, e um soprador leva esse pó dos andares inferiores até o andar da caixa de pó primário, mas a tubulação entre a caixa e o soprador, temos um trocador de calor encamisado (BERMAN, 2019), onde na parte interna se passa o pó primário, e na externa, água gelada.

Isso se deve a morfologia da partícula, onde há a interação posterior de água e pó, e seguindo a cartilha da empresa, há necessidade de uma condensação do vapor em partículas

frias de pó primário, melhorando a efetividade da aglomeração, e produzindo grumos com visual mais aceitável.

Então o café sai do bag-filter é resfriado pelo trocador de calor, e algo semelhante a um separador de partículas na parte superior da caixa de pó fino, chamado de Bühler, ele tem um arranjo semelhante, com mangas, gaiolas e um soprador pulsante na parte superior, mas diferentemente do bag-filter, ele não contém o helicóptero, sendo assim contendo apenas tubulações constantes nas mangas.

Após o pó aderir a superfície da manga, ser pulsado para baixo, assim temos a chamada caixa de pó aglomerado, ela está conectada a uma rosca infinita juntamente com um vibrador, que dará fluxo para esse pó, e após temos uma conexão aos bicos de aglomerar.

Nesta parte, haverá uma explicação mais generalista, por se tratar de um design próprio da empresa para os bicos de aglomerar, mas basicamente temos uma caneca receptora de pó, onde temos dois tipos de vapores responsáveis pela aglomeração. Segundo Dhanalakshmi (2011), o bico aglomerador trabalha com jatos de vapores, como é um processo contínuo, as partículas vão cair no bico e são molhadas por jatos de vapor turbulentos, forçando a colisão das partículas, e assim realizando a aglomeração. Um ponto importante é que, devemos utilizar este método apenas em produtos hidrofílicos, por se tratar da utilização de água, é importante que não haja impedimento para que aconteça a interação entre a água e a partícula.

Para que os bicos possam realizar essa aglomeração, temos uma linha de vapor saturado seco que vem do setor de utilidades, responsável também pela operação dos fornos do spray dryer, ela é utilizada tanto para o vapor central, responsável por dar vazão de pó para dentro do balão dos bicos de aglomerar, quanto para o vapor lateral, mas que antes de ser direcionado ao bico aglomerador, ele passa por um tanque do sistema de Desuper Water, onde temos um tanque com água quente, o vapor seco, há uma interação entre o vapor e a água quente, e assim direcionamos o vapor úmido para os bicos de aglomerar, mas antes da entrada no bico, ele passa por um separador de gotas, para retirada de qualquer vestígio de condensado de água, assim entrando nos bicos de aglomerar e é espalhado de forma uniforme por meio de facas e peneiras.

Aqui temos o ponto crucial para o aglomerador, onde podemos controlar peso específico, cor e umidade final do café, pois o contato do pó primário com os vapores o escurece, e quanto maior esse contato, mais escuro será. Por se tratar de um vapor úmido, a umidade está diretamente relacionada a esta etapa. Já o peso específico é importante para o armazenamento

e peso final de cada frasco de produto (MUSON, 2004), logo, quanto maior o contato do pó primário com o vapor lateral, mais aglomerado ele será e assim, menor seu peso específico.

Como há a utilização de vapor saturado nesse ponto, é importante reforçar pontos que podem causar risco a produção, como o vazamento de condensado, ou até mesmo aos operadores, por se tratar de altas temperaturas com grandes aplicações de pressão. Aqui temos para melhorar a qualidade do café produzido, um equilíbrio entre pressões, tanto na saída do vapor central, vapor lateral e do tanque do Desuper water para que o aglomerado ocorra da melhor forma, sem ocasionar entupimentos nos bicos, gerando o ponto preto, que nada mais é que pó primário em contato com condensado ou vapor carregado de gotículas de água.

No aglomerador, toda a instalação de Bühler, caixa de pó primário, Desuper Water e bicos de aglomerar, ficam no mesmo andar do spray dryer, assim são instalados para que a queda do pó aglomerado venha ocorrer e caia no balão de secagem, onde ele formará um redemoinho e seguirá para as próximas etapas de produção.

#### **4.2.5. Balão de secagem**

Nesta etapa é onde ocorre a secagem principal do café solúvel durante a produção, o layout de permite que contenha apenas um balão de secagem, e assim economizando espaço e custos de instalação e manutenção que seriam pedidos por mais um balão. Como foi dito acima, a parte superior do balão de secagem contém os aglomeradores, spray dryer e diafragma. Na porção intermediária, há uma bomba de vácuo e batedores de balão.

O diafragma é a abertura superior onde se vai o bico atomizador, é possível controlar a porcentagem de abertura desse diafragma, impactando diretamente na secagem do pó primário. Segundo Mujumdar (2006) e Anandharamakrishnan (2015), temos uma diferença entre densidade do pó primário e pó aglomerado, logo o ar exausto do bag-filter só terá capacidade de captar o pó primário, com menor densidade, para dentro do bag filter, já o aglomerado, auxiliado pela bomba de vácuo, desce em um formato de ciclone pelo balão, e segue para as peneiras. Os batedores são necessários em produções de cafés que contém um certo risco de que o café que desce pelos bicos de aglomerar acabe encrostando nas paredes do balão, sua morfologia facilita essa interação e para evitar, temos a colisão entre o batedor e o balão, evitando sua adesão a superfície.

#### 4.2.6. Peneiras

No pulverizador temos 3 peneiras com funções distintas e de extrema importância para a produção: separadora rotativa, secadora vibratória e resfriadora vibratória. Suas funções são importantes para o âmbito de qualidade do café e de rendimento de produção.

Na peneira separadora rotativa, temos um equipamento com um ângulo pré-definido de inclinação entre a entrada e a saída, então o café entra nesta peneira que está conectada ao final do cone do balão, e no seu interior temos o arranjo composto de dois quadros com peneiras na sua porção superior, onde a primeira peneira é feita a retenção e retirada de pós aglomerados com tamanhos superiores ao desejado, na segunda peneira é feita a retenção do pó tido como ideal pela sua granulometria, deixando passar apenas pó finos de mais para serem considerados dentro dos padrões de qualidade. O pó tido como indesejado, tanto a partícula grande quanto a pequena, são direcionado aos moinhos, que quebram essas partículas e um soprador os direciona novamente para a caixa de pó primário. Sobre a peneira de retenção de grumos grandes, temos também uma manta de borracha alimentícia que juntamente com o movimento realizado, quebra esses grumos em pedaços menores e diminui as chances de formação de pelotes (MUJUMDAR, 2006).

Logo, essa peneira (Figura 21) contém uma movimentação em rotação, com a força centrífuga, ela movimenta o pó dentro das peneiras, juntamente com a inclinação do equipamento, temos uma eficiente separação do produto (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015).



Figura 21 - Peneira separadora rotativa (GOOGLE IMAGENS, 2023)

Após o café passar pela separação, ele chega na peneira secadora, onde temos um leito fluidizado com funcionamento semelhante ao leito fluidizado do bag-filter, mas aqui a diferença é que o ar que entra não só tem como função dar fluidez ao pó, mas secar e controlar a umidade do café, além disso a vibração é a responsável direta pela fluidez sobre o leito, com uma pequena angulação, e temos um orifício no fim da peneira para direcionamento para outra peneira, além de termos as aspirações conectadas ao bag-filter, por causa da diferença de densidade entre o

pó aglomerado e primário, o pó primário acaba carregado pelo ar secador, e direcionado ao bag-filter para recirculação. Já a peneira resfriadora tem o mesmo princípio de funcionamento, onde temos a diferença apenas na temperatura do ar de entrada, onde na secadora a temperatura de entrada é próxima da ebulição da água, e na resfriadora, abaixo da temperatura ambiente.

Após essas etapas, o pó é encaminhado para um elevador de caneca ou é direcionado diretamente para as bicas de descarregamento de pó, onde temos um detector de metais, para descartar qualquer tipo de resíduo metálico, e depois temos o envase em TOTES ou big-bags.

#### **4.2.7. Automação e rendimento de produção**

Para que o pulverizador trabalhe de maneira correta, ele contém uma certa automatização responsável pela produção. Paradas, partidas, sistemas de segurança, muitos desses parâmetros seguem uma lógica que é responsável pelo controle de todos parâmetros do setor.

Assim podemos controlar também outros parâmetros que irão influenciar na qualidade do pó obtido. Na linha de extrato concentrado, modificar a adesão de gás e pressão da bomba de extrato pode resultar em diferenças notáveis no pó primário. Mas todos pulverizadores contém uma lógica automática para a bomba de extrato, que está ligada diretamente a temperaturas de balão e ar exausto. Se quisermos que a produção suba, por exemplo, podemos modificar algumas dessas temperaturas, fazendo que automaticamente a bomba de extrato aumente sua potência, para que jogue mais extrato no balão, e aí está a lógica, pois a programação usa o próprio extrato para resfriar e controlar a temperatura do balão e ar exausto, esse sistema é batizado de APC.

Outro parâmetro relacionado a temperatura é a pressão de ar quente do spray dryer, quando a aumentamos, também o sistema entende que deve puxar mais extrato para que a temperatura não suba a níveis emergenciais.

Mas modificar o ar exausto impacta diretamente na morfologia da partícula, pois ele acabará retirando mais água das moléculas quando a temperatura está alta, resultando em um pó menor, e com menor chance de aglomerar, aumentando o peso específico e assim podendo interferir no produto final.

O bag-filter tem parâmetros que impactam diretamente o rendimento da produção do que de qualidade de produto, e o principal ponto é enquadrar um equilíbrio dos parâmetros, devido à natureza do complexo sistema envolvido, para que não haja parados não planejadas ou excessivas.

O trocador de calor pode ter sua temperatura controlada pela velocidade que a bomba de água trabalha, assim podendo aumentar ou diminuir sua temperatura.

Nos aglomeradores temos faixas de trabalho para todas pressões, por se tratarem de uma zona de risco, devido a presença de superfícies quentes e vapores saturados, e principalmente, onde está o principal fator de qualidade do produto, é controlado manualmente, apenas automatizando a abertura e fechamento de válvulas, parciais ou totais.

Para o balão temos o controle da temperatura, que impacta diretamente no rendimento produtivo na unidade, e do vácuo do balão, esse vácuo é responsável por puxar o pó aglomerado e realizar o redemoinho, ele se trata de um ponto já automatizado em algumas linhas, com a leitura de temperatura de bulbo úmido e bulbo seco (MEIRELES; PEREIRA, 2020), ele realiza as operações necessárias e faz o controle adequado desse vácuo, sendo que o aumento do vácuo resulta numa maior resistência do pó para chegar nas peneiras, diminuindo sua eficiência produtiva e podendo ocasionar paradas por formações de incrustações.

Já na peneira rotativa não há nenhum tipo de controle, o motor já trabalha em sua potência máxima, e apenas seus moinhos de resíduos, onde caem o produto tido como não ideal, tem sua pressão e vazão monitoradas, sendo que em algumas linhas há uma ineficiência desses moinhos, sendo que são responsáveis pela moagem de possíveis pelotes, mas muitas vezes acabam travando e necessitando de intervenções em campo, assim causando paradas não desejadas. As peneiras secadoras e resfriadoras são automáticas, tanto em suas vibrações e quanto em suas temperaturas, apenas em casos isolados são necessárias mudanças manuais por parte dos operadores.

## **5. CONCLUSÃO**

O café solúvel introduz um dos processos mais complexos da área de alimentos, com várias vertentes para ser obtido e inúmeros parâmetros que impactam diretamente no rendimento e na produção do café.

Para o setor de pulverização e aglomeração, é possível observar que principalmente a temperatura dita a qualidade que se obterá do produto. Desde a temperatura do extrato para que haja a diminuição da tensão superficial, até a temperatura do ar que entra na peneira resfriadora, é necessário um grande conhecimento do equipamento e do processo, pois uma mudança pode ocasionar grandes perdas para a empresa.

Para produzir um café de qualidade alinhado com uma produção eficiente, é necessário um equilíbrio entre os parâmetros, pois alguns impactam diretamente em ambos lados, outros apenas de um lado ou outro, mas como um processo contínuo, há espaços para melhorias que beneficiam ambos os lados, sempre observando seus impactos, positivos ou negativos para o processo.

E com novas tecnologias é possível em um futuro breve que possamos produzir cafés solúveis que se equiparam com cafés tradicionais, com aplicação e conservação de aromas e sabores que estão presentes no café, mas devido aos processos de obtenção do café solúvel podem se perder ao longo da produção.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**A história da NESCAFÉ.** Disponível em: <<https://www.nescafe.com/cwa/pt-cwa/historia-da-nescafe>>. Acesso em: 8 jun. 2023.

**Agglomeration / Coating - Vibra MASCHINENFABRIK Schultheis GmbH.** Disponível em: <<https://www.vibra-schultheis.de/en/products/drying-cooling/agglomeration-coating.html>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

ALMEIDA, E. R.; GARCIA, A. DE O. WHITE PAPER. **ABICS**, 16 nov. 2022.

ANANDHARAMAKRISHNAN, P. C.; ISHWARYA, S. **Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation.** First Edition ed. [s.l: s.n.]. v. 1

BERMAN, T. L. **Incropera fundamentos de transferência de calor e de massa.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. v. 1

BHARAT, A. **PM Formalisation of Micro Food Processing Enterprises Scheme HANDBOOK OF PROCESSING OF COFFEE POWDER.** [s.l: s.n.].

BOTH, E. M.; BOOM, R. M.; SCHUTYSER, M. A. I. Particle morphology and powder properties during spray drying of maltodextrin and whey protein mixtures. **Powder Technology**, v. 363, p. 519–524, 1 mar. 2020.

BRASIL. PORTARIA Nº 130 DE 19 DE FEVEREIRO 1999. . 19 fev. 1999.

**Brown Organic Instant Coffee Powder.** Disponível em: <<https://www.indiamart.com/proddetail/organic-instant-coffee-powder-22878514391.html>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

CAL, K.; SOLLOHUB, K. **Spray drying technique. I: Hardware and process parameters.** **Journal of Pharmaceutical Sciences** John Wiley and Sons Inc., , 2010.

CALDER, A. **The Battle Of Spray Dried Vs Freeze Dried Coffee: The Truth! - Coffee Grind Guru.** Disponível em: <<https://www.coffeegrindguru.com/spray-dried-vs-freeze-dried-coffee/>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

CUQ, B. et al. Advances in Food Powder Agglomeration Engineering. Em: **Advances in Food and Nutrition Research.** [s.l.] Academic Press Inc., 2013a. v. 69p. 41–103.

CUQ, B. et al. Agglomeration/granulation in food powder production. Em: **Handbook of Food Powders: Processes and Properties.** [s.l.] Elsevier Inc., 2013b. p. 150–177.

DACANAL, G. C.; MENEGALLI, F. C. EXPERIMENTAL STUDY OF FLUIDIZED BED AGGLOMERATION OF ACEROLA POWDER. v. 25, n. 01, p. 51–58, [s.d.].

DHANALAKSHMI, K.; GHOSAL, S.; BHATTACHARYA, S. **Agglomeration of food powder and applications**. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, maio 2011.

FERDMAN, R. A. **Almost half of the world actually prefers instant coffee - The Washington Post**. Disponível em:

<<https://www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2014/07/14/almost-half-of-the-world-actually-prefers-instant-coffee/>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

GOOGLE IMAGENS. **Peneira Rotativa**. Disponível em: <<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcThWrE3xCN7mN7MzVD5tTpml02ymt9izXVMGQkUQptHA&s>>. Acesso em: 14 jul. 2023.

HERNÁNDEZ, A. **Do que é realmente feito o café instantâneo**. Disponível em: <<https://www.abics.com.br/do-que-e-realmente-feito-o-cafe-instantaneo/>>. Acesso em: 8 jun. 2023.

**History of Instant Coffee**. Disponível em: <<http://www.historyofcoffee.net/coffee-history/instant-coffee-history/>>. Acesso em: 4 jul. 2023.

**Instant Coffee Market Share, Size and Analysis 2023-2028**. Disponível em: <<https://www.imarcgroup.com/instant-coffee-processing-plant>>. Acesso em: 14 jul. 2023.

KANTAR. **Pandemia impulsionou o hábito de tomar café em casa**. Disponível em: <<https://www.kantar.com/brazil/inspiration/consumo/2022-mercado-de-cafes-consumo>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

KOROBENIKOV, I. et al. Modification of liquid steel viscosity and surface tension for inert gas atomization of metal powder. *Metals*, v. 11, n. 3, 1 mar. 2021.

LEOBET, E. L. et al. Effect of the drying process on the volatile compounds and sensory quality of agglomerated instant coffee. *Drying Technology*, v. 38, n. 11, p. 1421–1432, 3 ago. 2020.

L&J TECHNOLOGIES. **Foam Separator - Shand & Jurs Biogas**. Disponível em: <<https://www.ljtechnologies.com/sjbio/digester-gas-stream-equipment/97180-foam-separator/>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

LOPES, L. M. V.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDES, A. N. G. **TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS, ACIDEZ TOTAL TITULÁVEL E pH DE GRÃOS CRUS E TORRADOS DE SETE CULTIVARES DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) E SUAS VARIACÕES COM O PROCESSO DE TORRAÇÃO**. Belo Horizonte: [s.n.].

MACHADO, J. L. et al. COMPOSTOS VOLÁTEIS E NOTA GLOBAL DOS ATRIBUTOS SENSORIAIS NA DISCRIMINAÇÃO DE VARIEDADES CLONAIIS DE *Coffea canephora* COM GENÓTIPOS DE DIFERENTES CICLOS DE MATURAÇÃO VOLATILE COMPOUNDS AND GLOBAL GRADE OF SENSORY ATTRIBUTES IN THE DISCRIMINATION OF CLONAL VARIETIES OF *Coffea canephora* WITH GENOTYPES FROM DIFFERENT MATURATION CYCLES. **Revista Ifes Ciência**, v. 1, p. 1–14, 2021.

MEIRELES, M. A. DE A.; PEREIRA, C. G. **Fundamentos de Engenharia de Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2020. v. 6

MELO, W. L. DE B. A importância da informação sobre do grau de torra do café e sua influência nas características organolépticas da bebida. **Comunicado Técnico**, 2004.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. Third Edition ed. [s.l.] Taylor & Francis Group, 2006.

MUSON, B. R. **Fundamentos da mecânica dos fluidos**. São Paulo: Editora Bluncher, 2004. v. 1

MUSSATTO, S. I. et al. **Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues**. **Food and Bioprocess Technology**, jul. 2011.

OCTAVIO, C. **Como acontece o processo da torra e quais as modificações que ocorrem na estrutura do grão – Octavio Café**. Disponível em: <<https://octaviocafe.com.br/como-acontece-o-processo-da-torra-e-quais-as-modificacoes-que-ocorrem-na-estrutura-do-grao/>>. Acesso em: 14 jul. 2023.

OLIVEIRA, K. DE S. **MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE MICROENCAPSULAÇÃO DE LIPÍDIOS POR SPRAY DRYING**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2018.

PEREIRA, R. G. F. A. et al. **COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CAFÉ OBTIDO PELA MISTURA EM DIFERENTES PROPORÇÕES DE ARÁBICA (*Coffea arabica* L.)**,

**BEBIDA RIADA E CONILON (Coffea canephora Pierre) Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil.** Belo Horizonte: [s.n.].

**Relatório do Café Solúvel do Brasil: Relatório de desempenho - Ano Civil 2022.**

Disponível em: <[www.abics.com.br/AnálisededesempenhoAnocivil2022](http://www.abics.com.br/AnálisededesempenhoAnocivil2022)>. Acesso em: 8 jun. 2023.

**RELVAS, E. MANUAL DE CAFÉ SOLÚVEL PARA BARISTAS: TÉCNICAS DE PROCESSOS.** São Paulo: [s.n.].

**ROSA, L. N.; GONÇALVES, O. V. F.; HALLUCH, T. C. Café Solúvel.** Curitiba: Centro Estadual de Educação Profissional de Curitiba, dez. 2016.

**SANMAX, I. M. The Rise Of Instant Coffee - Perfect Daily Grind.** Disponível em: <<https://perfectdailygrind.com/2020/08/the-rise-of-instant-coffee/>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

**SANMAX, I. M. O novo momento do café solúvel no Brasil - PDG Brasil.** Disponível em: <<https://perfectdailygrind.com/pt/2021/12/09/o-novo-momento-do-cafe-soluvel-no-brasil/>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

**SELVAMUTHUKUMARAN, M. Handbook on Spray Drying Applications for Food Industries.** Boca Raton: CRC Press, 2020. v. 1

**SILVA, C. DE F. Café solúvel: saiba tudo sobre ele AGORA! - Coffee Valore - Produção de Café.** Disponível em: <<https://coffeevalore.com.br/cafe-soluvel-saiba-tudo-sobre-ele-agora/>>. Acesso em: 21 jun. 2023.

**SILVA, M. I. DE A.; PASQUIM, T. B. S. ACOFFEE-INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL.** Apucarana: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

**SINGH, S. Instant Coffee Market Size, Share, and Analysis till 2030.** Disponível em: <<https://www.marketresearchfuture.com/reports/instant-coffee-market-7834>>. Acesso em: 21 jun. 2023.

**SPRAY DRIED INSTANT COFFEE POWDER - 21food.** Disponível em: <<https://www.21food.com/products/spray-dried-instant-coffee-pow-2169023.html>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

**STREIT, L. How Long Does Coffee Last? How to Store Coffee.** Disponível em: <<https://www.healthline.com/nutrition/how-long-does-coffee-last>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

TECHNAVIO. **Prominence of café culture to boost the global instant coffee market through 2020, says Technavio.** Disponível em: <<https://www.comunicaffe.com/prominence-cafe-culture-boost-global-instant-coffee-market-2020-technavio/>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

**The History of Coffee.** Disponível em: <<https://www.nescafe.com/in/understanding-coffee/coffee-history>>. Acesso em: 4 jul. 2023.

UFRGS. **Composição Centesimal do Café Solúvel.** Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/mpoutro/cafe/compbase.htm>>. Acesso em: 8 jun. 2023.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas não alcoólicas: ciência e tecnologia.** 2. ed. [s.l.] Editora Blucher, 2016. v. 2

WALTON, D. E.; MUMFORD, C. J. The morphology of spray-dried particles. The effect of process variables upon the morphology of spray-dried particles. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 77, n. 5, p. 442–460, 1999.

ZEFERINO, L. B. et al. **EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS DO EXTRATO DE CAFÉ CONILON NO ÍNDICE DE REFRAÇÃO, NA DENSIDADE E NA VISCOSIDADE DO EXTRATO.** Goiânia: [s.n.].