

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

MATEUS CÁSSIO GOMES DE FREITAS

CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DE FERMENTAÇÃO DO POLVILHO AZEDO
PRODUZIDO PELA INDÚSTRIA DE COMÉRCIO POLVILHO MAKMIL LTDA DE
CONCEIÇÃO DOS OUROS - MG

Lorena

2020

MATEUS CÁSSIO GOMES DE FREITAS

CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DE FERMENTAÇÃO DO POLVILHO AZEDO
PRODUZIDO PELA INDÚSTRIA DE COMÉRCIO POLVILHO MAKMIL LTDA DE
CONCEIÇÃO DOS OUROS - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de
São Paulo como requisito para conclusão do Curso
de Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Ismael Maciel de Mancilha

Lorena

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Freitas, Mateus Cássio Gomes de
Caracterização do perfil de fermentação do polvilho
azedo produzido pela indústria de comércio polvilho
makmil ltda de conceição dos ouros - mg / Mateus
Cássio Gomes de Freitas; orientador Ismael Maciel de
Mancilha. - Lorena, 2020.
73 p.

Monografia apresentada como requisito parcial
para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia
Química - Escola de Engenharia de Lorena da
Universidade de São Paulo. 2020

1. Polvilho azedo. 2. Expansão ao forno. 3.
Acidez titulável. I. Título. II. Mancilha, Ismael
Maciel de , orient.

DEDICATÓRIA

A minha família, especialmente aos meus pais, pelo incentivo e amor.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Indústria de Comércio Polvilho Makmil LTDA, sem a qual a realização deste projeto seria impossível. Em especial, aos funcionários Marcos Ernane e Guilherme.

À Universidade de São Paulo (USP), por contribuir no desenvolvimento do meu intelecto e raciocínio crítico.

Ao professor Dr. Ismael Maciel de Mancilha pela permissão do uso de laboratório e equipamentos, pelas sugestões, incentivo, orientação e paciência.

Aos colegas de formação e aos professores do curso de engenharia química da Escola de Engenharia de Lorena (EEL – USP) por todo apoio nesta jornada.

Aos meus pais, em especial ao meu pai, por ter me incentivado e mostrado que persistência, trabalho duro e foco são essenciais para o sucesso.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

“Tanto o insignificante quanto
o extraordinário são arquitetos
do mundo natural”

Carl Sagan

RESUMO

FREITAS, M. C. G. **Caracterização do perfil de fermentação do polvilho azedo**; Orientador Ismael Maciel de Mancilha - Lorena, 2020. 72 P. (Monografia apresentada como requisito para a conclusão do Curso de Graduação de Engenharia Química) - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

O amido é um polissacarídeo de origem vegetal com estrutura granular e composto por duas cadeias poliméricas de amilopectina e amilose. A mandioca é um tubérculo, rico em amido e utilizada como matéria-prima para produção de fécula, polvilho doce e azedo. A fécula consiste no amido de mandioca obtido pela centrifugação do leite de amido seguido de secagem artificial; o polvilho doce corresponde ao amido parcialmente fermentado seguido de secagem natural e o polvilho azedo é obtido por meio da fermentação do amido seguido de secagem natural. O processo de produção de polvilho azedo é empírico e não há um controle rigoroso dos parâmetros da fermentação resultando em produtos com características heterogêneas. Os polvilhos são utilizados na confecção de biscoitos, sequilhos, pão de queijo, dentre outros alimentos, sendo insubstituíveis pois proporcionam um produto leve e volumoso, resultante de sua propriedade de expansão sob aquecimento em forno. As características do polvilho azedo são resultantes das modificações dos grânulos de amido em consequência da ação do ácido láctico produzido na fermentação, associado aos efeitos dos raios UV da radiação solar. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o perfil de fermentação do polvilho azedo afim de contribuir para um melhor entendimento do processo de produção do polvilho azedo, mantendo os padrões de qualidade e identidade, estabelecidos na legislação vigente. Desta forma, as diferentes amostras de polvilho, cedidas pela empresa Indústria de Comércio Polvilho Makmil LTDA, foram avaliadas no tocante do índice de expansão e acidez titulável. Os resultados contribuíram para um melhor entendimento do processo de produção do polvilho azedo, bem como para a avaliação dos parâmetros que interferem na sua qualidade.

Palavras-chave: Polvilho azedo; índice de expansão ao forno; acidez titulável

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Estrutura da Amilose (A) e Amilopectina (B)..... | 15 |
| Figura 2 (A) Classificação das cadeias da amilopectina; (B) Regiões amorfas e cristalinas do grânulo; (C) Anéis de crescimento (Hilum) | 17 |
| Figura 3 Fluxograma Processos para obtenção do Polvilho Azedo nas indústrias de médio e pequeno porte..... | 23 |
| Figura 4 Localização das fecularias da região do sul de Minas..... | 28 |
| Figura 5 Fluxograma do processamento de polvilho azedo na indústria Polvilho Maxmil | 33 |
| Figura 6 Ilustração da Planta de beneficiamento de mandioca da indústria de Polvilho. (A) Caixa e Rosca infinita; (B) Lavador; (C) Ralo; (D) Peneiras Rotativas; (E) Centrífuga; (F) Canaletas de Decantação; (G) Esteira para transfêrencia do polvilho; (H) Tanques de Fermentação; (I) Jiraus; (J) Panorama geral da decantação e tanques fermentativos nos galpões ; (K) Manipueira e lodo do polvilho; (L) Massa de mandioca | 35 |
| Figura 7 Tanques de fermentação e informações sobre suas fermentações | 37 |
| Figura 8 Triturador de polvilho para secagem..... | 38 |
| Figura 9 Gráfico de Gantt número do tanque em função do tempo de fermentação | 41 |
| Figura 10 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, em diferentes tempos de fermentação, das diferentes amostras analisadas | 42 |
| Figura 11 Perfil dos valores de acidez titulável do polvilho azedo, em diferentes tempos de fermentação, das diferentes amostras analisadas | 44 |
| Figura 12 Relação entre a Acidez titulável e índice de na Expansão do Polvilho Azedo ao forno..... | 45 |
| Figura 13 Valores de expansão e acidez titulável do polvilho azedo, ao término da fermentação..... | 46 |
| Figura 14 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, obtido do leite de amido não centrifugado, em diferentes tempos de fermentação | 48 |
| Figura 15 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, obtido do leite de amido centrifugado, em diferentes tempos de fermentação | 49 |
| Analizando os tanques que foram inoculados, percebe-se características desejadas nestes tanques, os dois tanques inoculados apresentaram maior média de expansão do polvilho ao forno, analisando em vários pontos: no estágio inicial da fermentação, e no final. Além disso, em 15 dias de fermentação as amostras analisadas já atingiram expansibilidade de 14 mL/g. A compilação desses dados, comparando-os com o processamento do Polvilho sem inóculo, nos dois métodos de tratamento do leite de amido, está presente no Figura 16. | 50 |
| Figura 17 Características do processo fermentativo e das amostras de polvilho azedo avaliadas nas diferentes condições. | 50 |
| Figura 18 Variação dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 4 e 11, com e sem a presença de inóculos, em diferentes tempos de fermentação | 51 |
| Figura 19 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 1 e 2, obtido do leite de amido centrifugado, em diferentes tempos de fermentação..... | 67 |
| Figura 20 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 4 e 11, obtido do leite de amido não centrifugado, em diferentes tempos de fermentação..... | 68 |
| Figura 21 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 5 e 6, obtido do leite de amido não centrifugado, em diferentes tempos de fermentação..... | 69 |

| | |
|--|----|
| Figura 22 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 7 e 8, obtido do leite de amido centrifugado, em diferentes tempos de fermentação..... | 70 |
| Figura 23 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 9 e 10, obtido do leite de amido centrifugado, com a presença de inóculo, em diferentes tempos de fermentação | 71 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 Etapas da extração de amido de mandioca e equipamentos utilizados..... | 21 |
| Quadro 2 Características das fecularias da região do sul de Minas..... | 29 |
| Quadro 3 Questionário realizado na Polvilho Maxmil | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 Análise do tanque 1 com centrifugação do leite de amido | 58 |
| Tabela 2 Análise do tanque 2 com centrifugação do leite de amido | 59 |
| Tabela 3 Análise do tanque 3 sem centrifugação do leite de amido..... | 60 |
| Tabela 4 Análise do tanque 4 sem centrifugação do leite de amido..... | 60 |
| Tabela 5 Análise do tanque 5 sem centrifugação do leite de amido..... | 61 |
| Tabela 6 Análise do tanque 6 com centrifugação do leite de amido | 62 |
| Tabela 7 Análise do tanque 7 com centrifugação do leite de amido | 63 |
| Tabela 8 Análise do tanque 8 com centrifugação do leite de amido | 64 |
| Tabela 9 Análise do tanque 9 com centrifugação do leite de amido e presença do inóculo durante a fermentação | 65 |
| Tabela 10 Análise do tanque 10 com centrifugação do leite de amido e a presença de inóculo durante a fermentação | 66 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 9 |
| 2. | OBJETIVOS | 11 |
| 2.1 | Geral | 11 |
| 2.2 | Específicos | 11 |
| 3. | REVISÃO DA LITERATURA | 12 |
| 3.1 | O Cultivo de Mandioca | 12 |
| 3.2 | Amido | 13 |
| 3.3 | Fécula | 18 |
| 3.4 | Fermentação | 18 |
| 3.5 | Amido Modificado | 19 |
| 3.6 | Polvilho | 20 |
| 3.6.1 | Polvilho doce | 22 |
| 3.6.2 | Polvilho azedo | 23 |
| 3.6.3 | Efluentes e Subprodutos | 26 |
| 3.6.4 | Panorama do setor de processamento de mandioca no estado de Minas Gerais 27 | |
| 4. | MATERIAL E MÉTODOS | 31 |
| 4.1 | Caracterização do Processamento da Mandioca e da Empresa | 31 |
| 4.2 | Avaliação das Amostras | 36 |
| 4.2.1 | Coleta das Amostras de Polvilho Azedo | 36 |
| 4.2.2 | Obtenção e aplicação do inóculo | 37 |
| 4.2.3 | Determinação do Índice de Expansão | 38 |
| 4.2.4 | Determinação da Acidez Titulável | 39 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 40 |
| 5.1 | Matéria-prima | 40 |
| 5.2 | Caracterização das amostras de polvilho azedo | 40 |
| 5.3 | Caracterização do perfil da fermentação | 47 |
| 5.4 | Perfil de fermentação do Polvilho Azedo em tanques inoculados | 50 |
| 6. | CONCLUSÕES | 52 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |
| | Apêndice 57 | |

1. INTRODUÇÃO

O amido é encontrado na forma de grânulo tendo como componentes duas cadeias poliméricas, a amilopectina e a amilose. Essas características atribuem ao amido diversas finalidades, sendo as principais na indústria de adesivos, alimentícia, farmacêutica, petrolífera e têxtil. A fécula consiste no produto amiláceo comestível com origem no subsolo, como é o caso de tubérculos, raízes e rizomas, sendo designada como amido natural ou nativo. A modificação do amido pode ocorrer por alterações físicas, químicas e biológicas sendo que tais modificações afetam a estrutura do grânulo do amido.

A fermentação consiste na metabolização do açúcar na ausência de oxigênio, por meio de micro-organismos, resultando na formação de metabólitos. Os principais agentes de tal cadeia metabólica são as leveduras e bactérias. A cinética do processo fermentativo depende de uma série de fatores, sendo que os processos industriais fermentativos são realizados usualmente em batelada. Na fermentação, a biomassa produzida geralmente é o produto desejado do processo de fermentação e é comum à sua utilização como inóculo para fermentação subsequente.

A mandioca é um tubérculo de importância nacional, seja para o consumo direto, ou como fonte de amido para outros processos. Na indústria alimentícia, a mandioca é matéria-prima para três principais produtos: a fécula, o polvilho doce e o polvilho azedo, os quais se diferenciam pelo grau de fermentação, apresentando os seguintes níveis, respectivamente: sem fermentação, fermentação parcial e fermentação completa. Dessa forma, o polvilho consistiu-se de um amido modificado por fermentação espontânea, que será o principal ingrediente para a fabricação de biscoitos, pão de queijo, sequilhos, entre outros.

A produção do polvilho azedo depende das mais diversas variáveis, dentre elas pode-se citar: as condições de plantio, colheita da mandioca e o seu processamento nas fecularias. A fermentação deste processo ainda não é conhecida completamente. Dessa forma a maioria dos produtores estimam o final da fermentação por meio de métodos empíricos. Tal modificação proporciona ao polvilho certas características, como o aumento da acidez, a mudança no sabor e a expansão com aquecimento. O poder de expansão é a principal característica para avaliar a qualidade do polvilho, pois esta proporcionará aos biscoitos menor massa específica, sendo mais agradável ao paladar, além de aumentar a produtividade.

Dentre as principais regiões produtoras desse amiláceo, a cidade de Conceição dos Ouros no sul de Minas Gerais é a pioneira na fabricação de polvilho azedo e comporta fecularias que suprem, consideravelmente, a demanda do mercado do Sudeste, além de atuar

como referência na qualidade de tal produto. Devido à importância comercial do polvilho, necessita-se ampliar os estudos sobre as tecnologias de processamento de mandioca tendo em vista que a qualidade dos derivados é heterogênea, apresentando propriedades significativamente diferentes entre lotes de uma mesma unidade, bem como entre as fecularias.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Contribuir para o entendimento do processo de produção de polvilho azedo com vistas a promover melhorias visando a obtenção de produtos de melhor qualidade no tocante as características relativas aos padrões de qualidade e identidade estabelecidos na legislação vigente.

2.2 Específicos

Caracterizar o perfil de fermentação do processo de produção do polvilho azedo, por meio da determinação dos parâmetros índice de expansão e acidez titulável de amostras obtidas em diferentes fases do processo de produção da Indústria de Comércio Polvilho Makmil LTDA - Polvilho Maxmil, de Conceição dos Ouros – MG.

Propor alterações/adaptações do processo de produção de polvilho azedo, visando a obtenção de polvilho azedo com características estabelecidas na legislação vigente, em menor tempo de fermentação.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 O Cultivo de Mandioca

A espécie *Manihot esculenta* (sinônimo *Manihot utilíssima*) pertence a família das Euphorbiaceae, popularmente conhecida como mandioca, e consiste em um tubérculo perene e arbustivo. Seu cultivo remete aos povos ameríndios, e as condições de plantio abrangem as mais diversas condições dos climas tropicais e subtropicais. A sua cultura tem como valores de contorno a altitudes que correspondem a até 2.300 metros em relação ao nível do mar, tendo como região ótima de 600 a 800 metros; média anual de temperatura de 16 °C a 30 °C, tendo como faixa ótima 20 °C a 24 °C; precipitação pluvial em torno de 1.000 a 1.500 mm; luminosidade solar por volta de 12 horas diárias; e solo do tipo franco-arenoso a argilo-arenoso (EMBRAPA, 2006).

A planta apresenta grande variabilidade genética, com cerca de 4 mil variedades, com uma crescente demanda por novas variedades, decorrente das suas novas aplicações, tendo como principal critério para o consumo humano direto o baixo teor de ácido cianídrico, devido a sua toxicidade, porém para alguns processos industriais, tal critério não é tão relevante (EMBRAPA, 2006). A mandioca absorve grandes quantidades de nutrientes, sendo sua raiz uma excelente fonte de amido. Dentre as plantas cultivadas nos trópicos é a terceira maior fonte de carboidrato, após o arroz e o milho (FAUQUET; FARGETTE; MUNIHOR, 1990).

A mandioca com alta concentração de cianeto é denominada popularmente como mandioca brava ou amarga. Tal tubérculo tem concentração equivalente a 100 – 150 mg HCN/Kg de polpa da raiz úmida, pode causar problemas de saúde caso ocorra a sua ingestão. Dessa forma, as mandiocas bravas só podem ser consumidas após o cozimento ou algum processo que reduza após o processamento para que ocorra a destoxificação (EMBRAPA, 2006).

As principais aplicações da mandioca correspondem a alimentação humana, animal e uso industrial, sendo essa última tendo como foco a fabricação de farinha, fécula e polvilho, cola e produtos farmacêuticos (EMBRAPA, 2006). Os maiores produtores de tal cultura são a Nigéria, o Brasil, Indonésia e a Tailândia, respectivamente. (IBGE, 2017)

O sistema de produção de mandioca se concentra em três configurações: a unidade doméstica, familiar e a empresarial. Tais configurações, influenciam nas interconexões entre

a origem da mão de obra, capital envolvido, participação no mercado e recursos tecnológicos. Cada unidade tem suas peculiaridades, a doméstica tem pouca participação no mercado, baixo capital e utiliza mão de obra familiar assim como a unidade familiar; essa dispõe de capital mais elevado e mais técnicas e tecnologias; a unidade empresarial tem mão de obra de terceiros, alto capital, assim como tecnologias mais aprimoradas do que o sistema de produção anterior (GARNEIRO et al., 2003).

Segundo IBGE (2017) a produção anual de mandioca alcançou cerca de 20.901.444 toneladas, sendo a região brasileira com maior expressividade o Norte com participação de 42,6% da produção. Nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná a produção correspondeu a 844.388, 1.043.222 e 2.762.797 toneladas, respectivamente, nesses estados a produção tem como foco às indústrias de farinha, fécula e polvilho, além disso, esses estados possuem lavouras mais aprimoradas obtendo rendimento médio de 26 toneladas por hectare. O preço da raiz de mandioca varia conforme a época do ano, sendo a média anual dos preços por pagamento à vista das safras de 2015, 2016, 2017 correspondente à R\$ 152,65; R\$ 327,2; R\$ 522,43 por tonelada, respectivamente (CEPEA, 2018).

Na indústria, o amido de mandioca é extensivamente usado para os mais diversos processos. Dessa forma, é preferível elevados teores de massa seca e de amido nas raízes tuberculosas da cultura. As principais características do amido de mandioca consistem em pureza elevada, baixo custo de obtenção, propensão a aumentar viscosidade de pastas. Contudo, devido a sua origem, as culturas podem sofrer as mais diferentes intempéries, além da época de colheita, tais variáveis impactam diretamente na qualidade do amido e evitam certa homogeneidade de propriedades de uma colheita (DINIZ; PIROZI, 2006).

3.2 Amido

O amido é um carboidrato, homopolissacarídeo de origem vegetal, sólido, e forma uma solução coloidal em água. Este composto é a principal reserva energética de um vegetal, tendo valores consideráveis em peso seco de grão e cereais (40% a 90%), leguminosas (30% a 50%), frutas imaturas ou verdes (40 % a 70%) e tubérculos (65% a 85%). Além disso, é de suma importância para a alimentação humana e animal, sendo a principal fonte de carboidrato para os humanos, cerca de 80% a 90%. O ciclo do amido consiste na geração de glicose nas folhas, em seus cloroplastos, onde vai ser acumulado e consumido conforme a demanda energética da planta, o excedente será transportada e polimerizado em amido e

posteriormente será armazenado nas mais diversas estruturas, da planta, tais como: sementes, frutas, tubérculos e raízes (DENARDIN; SILVA, 2009; IFA, 2018).

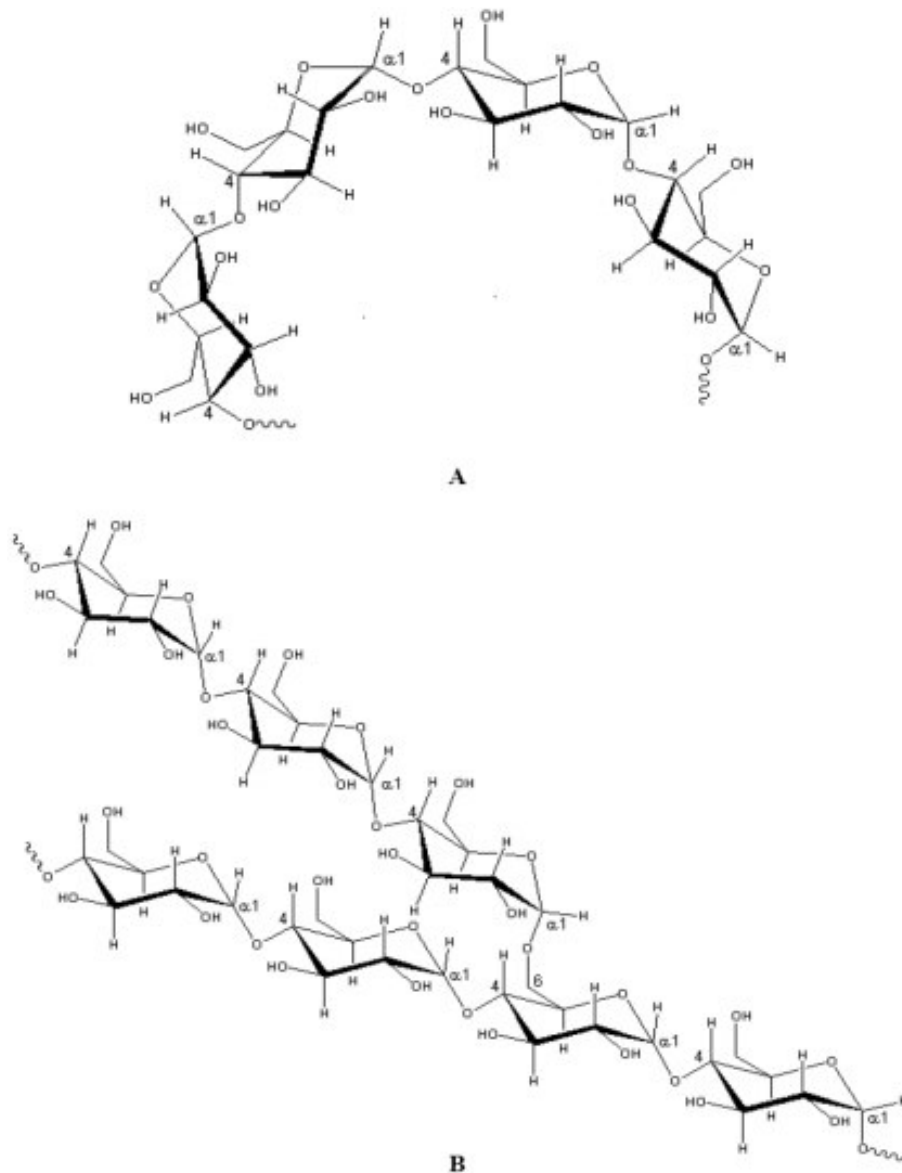
Sua configuração estrutural consiste em cadeias de amilose e amilopectina, sendo que o percentual desses polímeros no grão de amido depende da espécie proveniente e da época de colheita. A amilose apresenta ligações glicosídicas α -1,4 entre as moléculas de glicose formando uma cadeia linear; a amilopectina corresponde a uma cadeia de moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6, formando uma estrutura ramificada. Com isso, essas cadeias ligadas por pontes de hidrogênio conferem ao amido o formato de um grânulo apresentando diferentes distribuições e comprimento das cadeias de amilose e amilopectina, além da cristalinidade do grânulo, conforme a origem deste amido (DENARDIN; SILVA, 2009).

O amido apresenta certas propriedades destacando-se: cristalinidade definida como o empacotamento das moléculas afim de formar arranjos ordenados, a gelatinização, processo no qual ocorre a dilatação dos grânulos quando esses são submetidos à água aquecida, aumentando seu volume, devido ao amido ser hidrófilo e sua membrana permeável ao aquecimento, tal processo provocará mudanças na estrutura, rompendo as pontes de hidrogênio entre as cadeias de amilose e amilopectina; A retrogradação do amido consiste no armazenamento e resfriamento do amido gelatinizado, nesse processo as moléculas perdem energia e as ligações de hidrogênio fortalecem, ordenando as cadeias, com isso simples e duplas hélices se formam e originam novas áreas cristalinas. A principal influência da retrogradação é a modificação da textura além de facilitar a digestão de alimentos amiláceos (PHILIPPI, 2006; DENARDIN; SILVA, 2009).

O polímero amilose contém cerca de 6.000 unidades do monômero α -D-glicose, monossacarídeo com forma molecular $C_6H_{12}O_6$ sendo um estereoisômero de grande ocorrência na natureza. A amilose contribui de maneira significativa para a retrogradação do amido. A proporção de amilose no amido será fundamental na susceptibilidade à hidrólise enzimática, no comportamento de pasta; e na viscosidade da dispersão do amido em solução aquosa com aquecimento. O polímero amilopectina é menor com cerca de 1.000 unidades de α -D-glicose, essa cadeia é menos propensa à retrogradação, tende a ser solúvel, absorve muita água durante a cocção do amido sendo responsável pelo aumento do volume do grânulo (REBOUÇAS, 2015). A estrutura desses polímeros encontra-se representada na Figura 1.

O grânulo de amido apresenta tamanhos, que variam de 1 a 100 μ m, composições e formas sendo as principais circular, ovalada, lenticular ou poligonal, dependendo da espécie. Entre os tubérculos, a mandioca apresenta tamanho de grânulo de 5 a 35 μ m, sendo o formato redondo-oval, devido ao baixo conteúdo de amilose, correspondendo a cerca de 17%, sendo o restante de sua composição a amilopectina, tal composição resulta em géis mais fracos, pouco consistentes, alta viscosidade, longos, fibrosos e baixa tendência a retrogradação (REBOUÇAS, 2015).

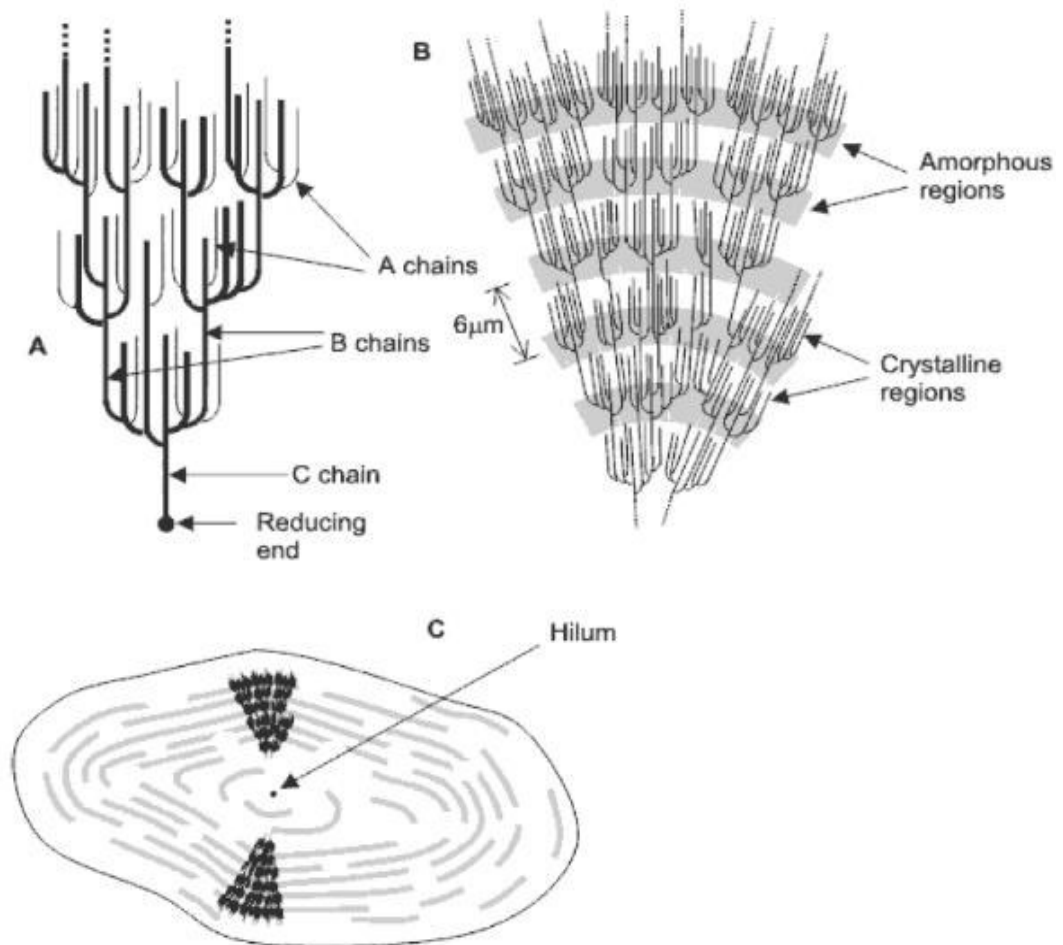
Figura 1 Estrutura da Amilose (A) e Amilopectina (B)



Fonte DENARDIN; SILVA (2009)

A estrutura do grânulo de amido é formada em anéis concêntricos, denominados anéis de crescimento, os quais são sintetizados diariamente pelo tubérculo, sendo depositados na superfície do grânulo. O centro do grânulo (hilum) é estruturado de forma que comporta o final das cadeias dos polímeros de amilose e amilopectina, esse final de cadeia possui caráter redutor, tal aspecto garante menos organização em relação aos outros anéis que envolvem o grânulo do amido. Os terminais não redutores dos polímeros amilose e amilopectina direcionam-se para a superfície permitindo a união de novos monômeros de glicose, possibilitando o crescimento do grânulo. Tal estrutura, confere ao amido regiões cristalinas e amorfas alternadas, ou seja, parcial cristalinidade, o amido torna-se semicristalino. O modelo cristalino do grânulo apresenta duas formas (A ou B) e uma intermediária (C), sendo classificado conforme o seu empacotamento e o comportamento em relação a água. Enquanto a estrutura do tipo A é mais frequente em cereais (milho, trigo e arroz), o tipo B é mais frequente entre tubérculos, e o tipo C em raízes e sementes (ervilha lisa e fava). Os amidos do tipo A apresentam suscetibilidade à hidrólise, sendo duas as possíveis explicações: a primeira a presença de poros superficiais em A; ou as cascas protetoras, também denominadas blocos cristalinos, em B, tornando A mais passível de erosões químicas e enzimáticas (DENARDIN; SILVA, 2009). O grânulo é representado conforme Figura 2.

Figura 2 (A) Classificação das cadeias da amilopectina; (B) Regiões amorfas e cristalinas do grânulo; (C) Anéis de crescimento (Hilum)



Fonte DENARDIN; SILVA (2009)

Na indústria, o amido e a sua forma modificada têm grande aplicabilidade na área de alimentos, sendo utilizados desde adesivos, na indústria têxtil, papel e celulose, farmacêutica, petrolífera e alimentos. Todavia, in natura o amido tem sua participação limitada, cedendo espaço aos amidos modificados, uma vez que a sua viscosidade é complicada de se controlar. O amido tem importância crescente na fabricação e desenvolvimento de novos produtos pois é barato e tem alta oferta. Sua característica mais marcante é sua capacidade de inchamento, em uma suspensão aquosa. Além disso, com a necessidade de suprir as demandas do mercado, os amidos modificados são fundamentais, uma vez que superam as limitações dos amidos originais (GARNEIRO et al., 2003; REBOUÇAS, 2015).

3.3 Fécula

Segundo a ANVISA (1978), amido consiste no produto extraído de partes aéreas e comestíveis dos vegetais como sementes, frutas, etc., enquanto fécula é o produto amiláceo comestível com origem no subsolo, como é o caso de tubérculos, raízes e rizomas. Porém ambos podem ser designados como amidos naturais ou nativos. Os amidos naturais são utilizados na indústria de alimentos, papel e têxtil, sendo que os padrões microbiológicos para a comercialização se encontram estabelecidos na legislação.

A fécula de mandioca é extraída artesanalmente ou industrialmente conforme a necessidade, sendo que aproximadamente 10% da produção de mandioca do país são destinadas na produção de fécula. Os principais estados responsáveis pela produção de fécula são: Paraná (71,1%), Mato Grosso do Sul (13,9%) e São Paulo (12,9%). Nos últimos 10 anos, foram produzidas cerca 550 mil toneladas de fécula anualmente, isso garante ao Brasil o segundo maior produtor do mundo em fécula de mandioca (EMBRAPA, 2006; FELIPE; ALVES; CAMARGO, 2010; CONAB, 2017).

As fecularias são empresas as quais extraem os amidos naturais de mandioca, e podem ou não os modificar, além disso, elas não são homogêneas na questão de autossuficiência de matéria-prima. A escala ótima de produção consiste em 400 toneladas diárias, porém existem diversas escalas de processamento, devido a alta variedade de fecularias. Quase 90% dos produtores de fécula investem seus recursos para a ampliação das unidades e operações das empresas na área, pois não o mercado não se encontra estacionário, e sim, que um consumo ascendente (GARNEIRO et al., 2003).

3.4 Fermentação

Na ausência de oxigênio o açúcar é metabolizado por determinadas espécies de micro-organismos resultando na formação de metabólitos como ácidos orgânicos, gases, álcool, dentre outros, sendo este metabolismo conhecido como fermentação. Os principais agentes de tal cadeia metabólica são as leveduras, bactérias e células musculares humanas (PRESCOTT; HARLEY; KLEIN, 2005). Os agentes buscam como principal objetivo a geração de ATP, complexo orgânico o qual fornece energia as células. A fermentação é dívida conforme a formação dos seus produtos sendo as principais a fermentação láctica, fermentação alcoólica, fermentação acética e fermentação butírica. Além disso, existe um processo bem raro, realizado principalmente por leveduras, que é a fermentação aeróbica,

ou seja, fermentação na presença de oxigênio, sendo realizada principalmente pelas seguintes linhagens: *Saccharomyces*, *Dekkera*, *Schizosaccharomyces* (RAO, 2005; DASHKO et al., 2014).

O uso da fermentação nas atividades humanas reside desde a pré-história, há evidências de que no Neolítico tal processo era utilizado na fabricação de queijos e bebidas, embora atualmente a fermentação continue tendo como foco a produção de alimentos, existe inúmeras outras aplicações, como a produção de combustíveis. Os processos industriais fermentativos são realizados usualmente em batelada, pois embora uma produção contínua seja a desejada e reduza os custos de produção, possibilite um aumento de escala da planta, ela apresenta uma série de empecilhos, entre eles o elevado custo de implementação, a falta de conhecimento de todas as variáveis do processo e a dificuldade em manter a esterilidade (STANBURY, PETER F.; WHITAKER, ALLAN; HALL, 1999).

A velocidade em que ocorre o processo fermentativo depende do tipo de micro-organismo e sua concentração no meio, assim como a concentração do substrato, células e enzimas, além da temperatura e pressão em que o processo será submetido. A biomassa produzida geralmente é o produto desejado do processo de fermentação, contudo deve-se ser ponderado o seu uso como inóculo para fermentação subsequente, devido a possibilidade de mutações e possíveis desvios dos produtos desejados. Para determinadas fermentações é necessário separar as células da biomassa, pois essas podem continuar atuando com término do substrato e podem iniciar um consumo da biomassa (STANBURY, PETER F.; WHITAKER, ALLAN; HALL, 1999).

3.5 Amido Modificado

O amido *in natura* pode ser modificado por alterações físicas, degradação controlada e também na presença de radicais químicos, sendo que tais modificações afetam a estrutura do grânulo do amido. A nomenclatura genérica para uso alimentar das féculas e amidos é classificada da seguinte forma: os amidos nativos e aqueles modificados por via enzimática ou física são classificados como amidos; já os modificados quimicamente recebem o nome genérico de amidos modificados. As modificações promovidas por meios físicos consistem em submeter o amido em diferentes condições de temperatura e pressão. No tratamento enzimático, são empregadas enzimas modificando o amido afim de obter produtos solubilizados ou hidrolisados; e a modificação por meios químicos é aquela nas quais

substâncias químicas inorgânicas atuaram sobre o grão de amido, todas essas modificações podem ocorrer em estado seco ou úmido (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2002).

O amido modificado mantém muitas das características dos amidos de origem, porém a modificação pode selecionar ou intensificar um fator de interesse. As modificações físicas do amido são decorrentes das seguintes variáveis: calor, radiação, cisalhamento, sendo o calor a variável mais efetiva. As principais razões para modificar os amidos consistem em: reduzir gelificação, aumentar a transparência das pastas e géis, melhorar a textura, diminuir a retrogradação, melhorar a adesão em superfícies, como é o caso da indústria têxtil (BORZANI et al., 2003).

Os principais subgrupos da modificação do amido são: pré-gelatinizados, dextrinas, pirodextrinas, annealing e tratamento à baixa umidade. As modificações químicas são divididas em três grupos de reações: pastas de amido gelificadas em água; com amido granular seco ou parcialmente seco; ou em suspensões de amido granular em água. A oxidação do amido é a principal forma de modificação química, é muito utilizada na indústria de papel e papelão, devido a sua capacidade de aumentar elasticidade e resistência a abrasão, normalmente eles são oxidados por hipoclorito de sódio (BORZANI et al., 2003).

Uma das modificações naturais que ocorrem no amido para o surgimento do polvilho é a oxidação natural, porém durante essa fermentação ocorrem outras modificações complementares ao processo (BORZANI et al., 2003), entre essas modificações o incremento da acidez durante o processo fermentativo contribui para a degradação do amido modificado (PLATA OVIEDO; 1991).

3.6 Polvilho

O polvilho ou “sour cassava starch” em inglês é um produto da fécula de mandioca, obtido por processo artesanal, com grande heterogeneidade, amplamente utilizado na culinária brasileira, na fabricação de biscoito, pão de queijo e sequilhos. O polvilho por ser classificado em doce (amido com pouca fermentação) ou azedo (amido fermentado). A indústria do polvilho apresenta diferentes níveis técnicos, conforme a capacidade de produção da fecularia, dessa forma, os equipamentos utilizados são separados segundo VILELA (1989) conforme o Quadro 1.

Quadro 1 Etapas da extração de amido de mandioca e equipamentos utilizados

| Etapas de Processamento | Equipamento utilizados |
|--|---|
| 1. Lavagem e descascamento das raízes | A Manual com escovas |
| | B Lavador-descascador |
| | C Lavador-descascador |
| 2. Obtenção do Leite de Amido (Ralação) | A Ralos manuais |
| | B Ralador-Depurador |
| | C Picador e desintegrador |
| | A Peneiras de taquara |
| 3. Peneiramento do leite de amido | B Escovadeiras e peneiras vibratórias |
| | C Extratores-peneiras cônicas horizontais |
| | A Cochos de madeira |
| 4. Obtenção do amido | B Planos de sedimentação e turbinas |
| | C Centrífugas e ciclones |
| | A ao sol com terreiros e jiraus |
| 5. Secagem | B Secagem de túnel |
| | C Secador Pneumático (flash-dryer) |
| <hr/> A Processos Rústicos B Pequenas e Médias Indústrias C Grandes Indústrias | |

Fonte: VILELA (1989)

Tecnicamente polvilho doce e fécula são o mesmo produto, todavia comercialmente a fécula é secada em fornos diretamente após sua extração, o polvilho doce e o azedo são produtos obtidos em secagem artesanal, ou seja, secagem ao sol nos denominados jiraus (BRASIL, 2005). Sendo os jiraus consistem em armações de varas cravadas no chão afim de armazenar insumos ou instrumentos (AURÉLIO, 2006). O polvilho azedo consiste no produto seco ao sol após sua fermentação (EMBRAPA, 2007). A legislação estabelecida pela ANVISA (1978) foi revogada pela Resolução RDC n° 263, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005), a qual preconiza que os amidos são “produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes ou rizomas”. Enquanto a definição e caracterização do polvilho é como produto amiláceo extraído da mandioca com acidez titulável máxima, 1 mL de NaOH 1 mol/ 100 gramas amido para o polvilho doce, enquanto 5 mL NaOH 1 mol/ 100 gramas para o polvilho azedo, segundo DEMIATE et al. (1999)

polvilho com acidez titulável superior a 7 mL NaOH 1 mol/ 100g de polvilho consiste em um alto índice de fermentação no amido modificado.

A qualidade do polvilho dependerá das mais diversas variáveis entre elas a qualidade da lavoura de mandioca, pois esta precisa ser bem cuidada e colhida nos meses de abril a agosto, período em que o tubérculo apresentará maior teor de amido e favoreça a fermentação devido a temperatura média das cidades produtoras (EMBRAPA, 2006; BORZANI et al., 2003).

Após a colheita da mandioca, essa passará pelo processo produtivo tendo como próximo estágio a lavagem, remoção e o descarte das cascas da mandioca, a qual será ralada vigorosamente liberando os grãos de amido, e estes serão peneirados em solução aquosa separando o material solúvel, as fibras, e a fécula. Com isso, são gerados dois subprodutos, a manipueira e a massa de mandioca. A massa de mandioca é utilizada na alimentação animal, enquanto a manipueira (ou água residuária) é descartada, por vários métodos, entre eles: curvas de nível, aspersão da manipueira no solo, ou fermentação anaeróbica do resíduo (CEREDA, 1987; LEONEL; CEREDA, 2000; BORZANI et al., 2003; KUCZMAN et al., 2011).

O polvilho será decantado em canaletas de decantação, nesse estágio forma-se o polvilho doce, o qual apresentará fermentação parcial, uma vez que o meio fécula e água não estão inertes, e sim, suscetíveis as mais diversas intempéries, caso ocorra sua fermentação em maior grau forma-se um novo produto denominado polvilho azedo, sendo que ambos os polvilhos passam por um processo de secagem ao sol (CEREDA, 1987; LEONEL; CEREDA, 2000; BORZANI et al., 2003).

3.6.1 Polvilho doce

O polvilho doce tem baixa fermentação, não é colocado nos tanques fermentativos, sua secagem é feita logo após a decantação do amido. Suas principais aplicações são a fabricação de sequilhos, biscoitos de polvilho doce, além de ser usado em misturas com o polvilho azedo, afim de amenizar o sabor azedo. A fécula e o polvilho doce não se expandem com aquecimento (CEREDA, 1983, 1987).

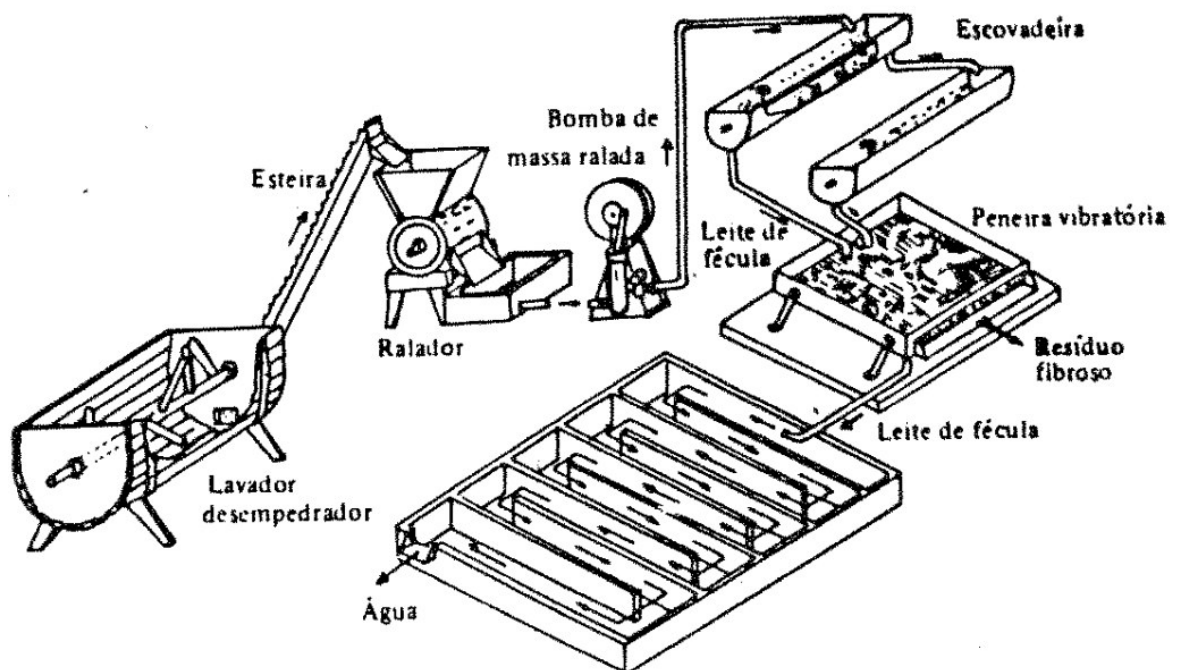
Todavia devido as limitações do processo industrial, o polvilho doce usualmente fica na decantação durante alguns dias, ou horas antes de sua secagem, o que possibilita o início

do processo fermentativo e novas características ao amido, como pequena expansão, porém essa é desprezível se comparada com a do polvilho azedo (CEREDA, 1987).

3.6.2 Polvilho azedo

O polvilho azedo é o amido fermentado, durante o processamento da fécula, após a sua decantação, o amido é transferido para tanques, ou ocorre sua transferência direta. Esses tanques são de alvenaria, ou madeira, sendo cobertos ou descobertos. O polvilho permanecerá no tanque com uma camada de água de água superficial, cerca de 20 centímetros, para que o meio seja anaeróbico. Alguns produtores trocam a água sobrenadante, porém tal prática atrapalha o processo fermentativo. A fermentação do polvilho ocorre de maneira natural, o amido granular será o substrato, atuando como fonte de carbono para os micro-organismos. O período fermentativo varia, sendo que no sul de Minas Gerais, dura cerca de 30 a 60 dias (CÁRDENAS; BUCKLE, 1980; CEREDA, 1987; CAMARGO et al., 1988). O fluxograma da Figura 3 resume os processos para a obtenção de polvilho, resumindo-se basicamente na extração da matéria-prima, preparo, reação enzimática, secagem e envase.

Figura 3 Fluxograma Processos para obtenção do Polvilho Azedo nas indústrias de médio e pequeno porte.



Durante a fermentação do amido ocorre o decréscimo do pH do meio, devido a síntese de ácidos, dessa forma, o substrato é modificado de tal maneira que inibe a formação de patógenos, além disso algumas culturas de leveduras apresentam atividades amilolíticas. Dessa forma, as leveduras apresentam um importante papel no início da fermentação, pois degradam o amido e produzem açúcares, os quais serão os substratos para o desenvolvimento inicial dos micro-organismos (leveduras e bactérias). Essa combinação de microbiota é a chave para o entendimento do processo fermentativo do polvilho, embora tais interações complexas ainda não são completamente entendidas (PENIDO et al., 2018).

O polvilho químico visa imitar as características comerciais do polvilho azedo. Por meio do contato com ácidos, busca-se degradar a fécula e atingir a aceitabilidade no mercado (DEMIATE et al., 1999) . Segundo PLATA OVIEDO (1991), a fécula de mandioca em contato com ácidos degrada-se parte de sua estrutura granular resultando em amido modificado semelhante ao polvilho. Parâmetros como tipo de ácido, sua concentração, tempo de hidrólise, exercem efeitos consideráveis sobre a expansão do polvilho ao forno. Dentre os ácidos, o ácido láctico proporcionou ao amido a maior expansão ao forno, porém tal propriedade não se apresentou de forma homogênea, sendo que em uma mesma análise as amostras apresentaram um maior desvio padrão no índice de expansão do que o contato com os outros ácidos. A mistura de ácido acético, propiônico resultou em um baixo desvio padrão na expansão das amostras, porém nenhum incremento significativo na expansão do amido ao forno. A mistura dos três ácidos resulta em uma maior expansão e redução do desvio padrão entre os biscoitos semelhante ao polvilho azedo tradicional (PLATA OVIEDO, 1991).

As microbiotas dos tanques fermentativos possuem diferentes origens, sendo que a principal fonte é o próprio tubérculo. Alguns produtores costumam utilizar como inóculo o polvilho contido nos tanques da safra anterior, ou sacos com milho ou fubá, e as vezes a própria massa de mandioca (CEREDA, 1983, 1987). A fermentação modifica a estrutura do grânulo da fécula, o que resultará em maior poder de inchamento e índice de solubilidade do que o polvilho doce, além da redução da viscosidade máxima. A fermentação é decorrente da ação de bactérias lácticas e leveduras, sendo reportadas a presença das seguintes populações de bactérias: *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum* sendo as duas últimas populações as mais expressivas encontradas nas amostras da cidade de Conceição dos Ouros. Além disso há a presença de certas leveduras tais como:

P. scutulata, *K. exígua*, *C. humilis*, *G. fragrans* e *C. ethanolica* (REBOUÇAS, 2015; PENIDO et al., 2018).

Conforme a escala piloto por PENIDO *et al.* (2018) a *L. plantarum* foi a cepa predominante durante o processo, superando *L. fermentum*, demonstrando ser a melhor performance como cultura inicial do processo fermentativo. Além disso, as bactérias lácticas contribuem consideravelmente para a acidificação do meio, sendo a *L. brevis* a que mais contribuiu para tais valores, a acidez desempenha certo papel na qualidade e segurança do produto final, pois impede a formação de certos patógenos. Todavia a relação das variáveis acidez e pH não possuem direta relação na determinação do estágio fermentativo e a qualidade do polvilho azedo (PEREIRA et al., 1999). Além disso, CAVALLET et al. (2006) demonstrou que o N_2 atmosférico não é fixado biologicamente no substrato do polvilho durante a fermentação, dessa forma, o alto teor de nitrogênio contido no substrato é resultado da própria fécula, devido a alta concentração de cianeto na fórmula de polvilho, tal substrato é muito importante para as etapas iniciais de fermentação.

Com o término da fermentação, ocorre a secagem do polvilho, sendo estimada por meio de fatores empíricos. O polvilho será removido por meio de pás e esfarelado manualmente ou mecanicamente, para o aumento da sua superfície de contato na sua secagem (CEREDA, 1987). A secagem ao sol, embora apresenta suas limitações, como a dependência climática e ser mais propícia a contaminação, por causa do vento e possíveis detritos; é escolhida por muitos produtores, pois é uma maneira viável com fácil acesso a radiação ultravioleta, a qual proporciona propriedades especiais ao polvilho. Os demais métodos embora eficientes para a secagem, não possibilitam o desenvolvimento propriedade de expansão do polvilho (CEREDA; NUNES, 1989).

Na secagem tradicional (ao sol) o polvilho é distribuído sobre jiraus, sendo que a esteira pode ser de bambu ou telas de metal com a estrutura do jirau sendo de madeira. Além disso, há a presença de panos usualmente da cor preta, ou lonas removíveis colocadas em cima dos jiraus. Normalmente o processo necessita de grande mão de obra, o polvilho é distribuído entre os jiraus por jacás de bambu ou por tratores. A secagem inicia-se de manhã e terá duração conforme a intensidade dos raios solares, sendo necessária a movimentação periódica do polvilho para evitar que este se resseque intensamente possibilitando sua queima (CEREDA, 1987).

A qualidade do polvilho azedo é determinada pela sua capacidade de expansão e análise sensorial (cheiro, sabor, cor), tais características fazem esse amido único. Entretanto, os amidos modificados por meio ácido, ameaçam o mercado uma vez que estes apresentam valores de expansão semelhantes e menor valor agregado. A expansão do polvilho pode ser analisada por duas metodologias conforme CEREDA e NUNES (1989), nelas o polvilho azedo formará uma pasta junto com a água, e será levado ao forno. Ocorrerá a expansão dos biscoitos e será avaliada a expansão deles, por meio da determinação do volume específico.

A expansão do polvilho azedo ao forno é decorrente de sua estrutura viscoelástica, a qual retém gás durante o aquecimento. A expansibilidade é dependente da gelatinização do amido fermentado, ocorrendo o favorecimento na velocidade de expansão, com o acréscimo do teor de água, contudo a gelatinização reduz drasticamente o poder de expansão (MENDES DA SILVA, CLAUDIO ERNANI; FACANHA, SILVIA HELENA FERREIRA; GOMES DA SILVA, 1997). A expansibilidade é um dos principais parâmetros na avaliação da qualidade do polvilho, tal característica torna o produto único, pois possibilitará aos produtos de confeitaria leveza e volume ao serem aquecidos. O teste para tal parâmetro aceito tanto por produtores e consumidores é empírico (CEREDA, 1987).

3.6.3 Efluentes e Subprodutos

A indústria de polvilho apresenta efluentes os quais se devidamente direcionados podem vir a ser tornarem subprodutos. A água de lavagem das raízes e a manipueira são os principais efluentes líquidos do processo, enquanto as cascas de mandioca, a massa de mandioca e o lodo de polvilho são os principais efluentes sólidos (GARIGLIO et al., 2011). Conforme abordado por GARIGLIO et al. (2011) a indústria do polvilho tem potencial poluidor elevado, embora não haja a presença de queima de combustíveis ou produtos químicos, pois muitos dos efluentes são ricos em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio e cianeto. Particularmente a mandioca brava, é a mandioca ideal como matéria-prima para a produção de polvilho azedo (EMBRAPA, 2006). Segundo LEONEL & CEREDA (2000) o custo do tratamento das águas residuárias é elevado, e economicamente inviável para empresas de pequeno e médio porte, sendo necessário buscar meios de aproveitar o descarte desses efluentes.

Segundo CAMPOS et al. (2006) a manipueira apresenta elevadas cargas orgânicas e são um parcela de resíduos significativos em média 10.000 litros de água residuária para

cada uma tonelada de mandioca processada, dependendo do nível técnico de extração da fécula. O descarte da manipueira deve ser adequado pois causam significativo impacto ambiental, muitas fecularias possuem estações de tratamento agregadas, embora a fiscalização está cada vez mais rigorosa alguns produtores ainda descartam a manipueira diretamente nos rios, causando eutrofização e conseqüente morte da vida aquática.

A manipueira embora altamente tóxica quando descartada nos rios, pode ser utilizada como adubo orgânico, necessitando de um tratamento prévio, no qual tal efluente irá passar por um processo de fermentação. A massa de mandioca e o lodo de mandioca são utilizados principalmente como ração animal, sendo necessário passar por um processo de secagem para o seu armazenamento (GARIGLIO et al., 2011). Afim de otimizar o descarte de efluentes com o mínimo de impacto ambiental, KUCZMAN et al. (2011) propôs a produção de Biogás por meio da manipueira, contribuindo para o fornecimento de energia da instalação e reduzindo drasticamente o impacto ambiental. Embora a utilização de um biodigestor apresenta inúmeros benefícios, o alto capital necessário para sua implementação e a falta de mão de obra especializada limita a sua implementação (KUCZMAN et al., 2011).

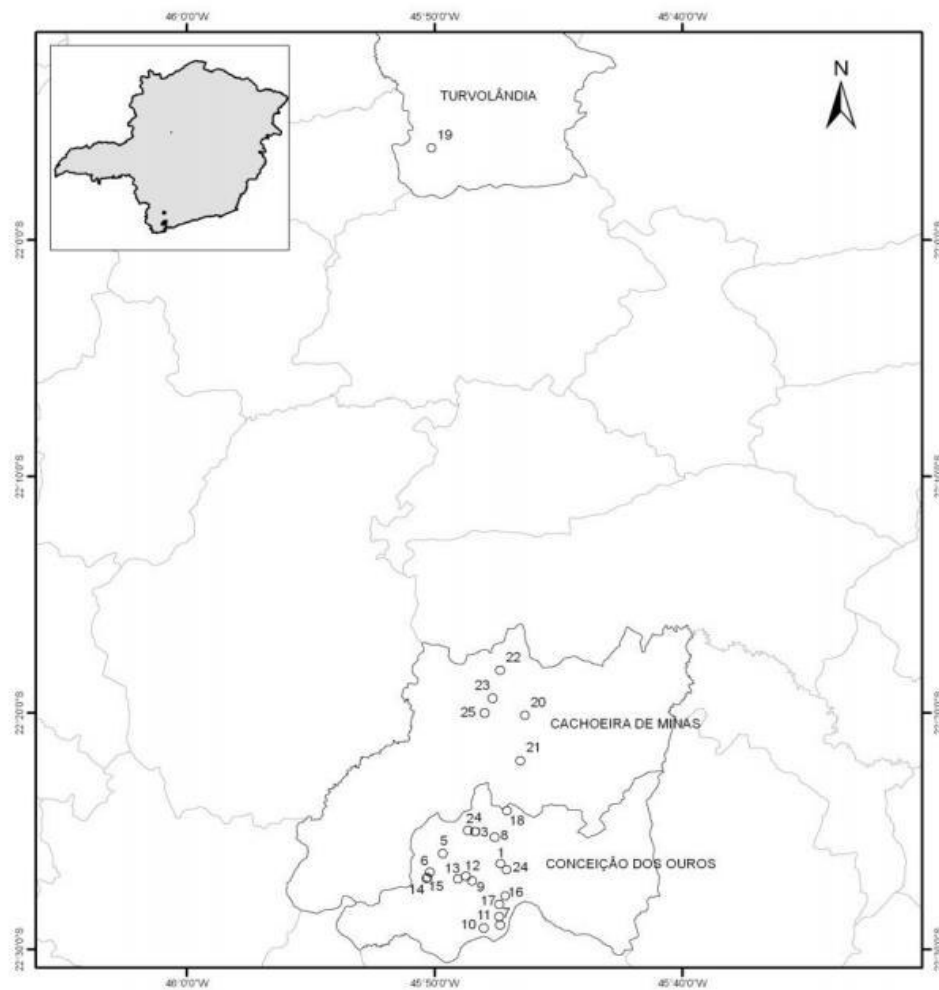
3.6.4 Panorama do setor de processamento de mandioca no estado de Minas Gerais

Dentre as principais mesorregiões, o Sul e Centro-Oeste de Minas são regiões com maior número de fábricas de polvilho, sendo os municípios de Conceição dos Ouros, Cachoeira de Minas, Diamantina, Formiga e Ibiá os maiores produtores de polvilho. A cidade de Conceição dos Ouros, ostenta o título de capital do polvilho devido ao seu pioneirismo com fábricas surgindo no início do século XX sendo que, esse título foi concedido na década de 1970 devido a sua importância para o mercado de amiláceos (CEREDA, 1987; EMATER, 2009). A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), realizou uma pesquisa na qual foram levantadas as principais fecularias na região, e suas características de produção, afim de realizar um acompanhamento sobre tal setor. (GARIGLIO et al., 2011) . A localização das fábricas da Capital do Polvilho está na Figura 4 e o Quadro 2 apresenta informações industriais sobre os empreendimentos.

A maioria das fecularias residem na zona rural, dentre as fábricas dessa região constou-se que em 2010 cerca de 28% tinham processamento superior a 10 toneladas por dia de mandioca, 24% capacidade de 20 t/dia a 40 t/dia e 8% com capacidade superior de 40 t/dia. Essas fábricas são responsáveis por cerca de 230 empregos diretos, e mais de 700

indiretos. A principal diferença operacional entre as fábricas consiste na presença de uma centrífuga após a operação unitária de peneiramento realizado pelas peneiras rotativas, apenas 8 das 25 fábricas, apresentam esse equipamento (GARIGLIO et al., 2011). (GARIGLIO et al., 2011). Na década de 90, a fábrica Caribé era a maior empresa de Minas Gerais e uma das maiores fecularias do país com produção de 1.000 toneladas de polvilho anuais aproximadamente (CEREDA, 1987). Em 2016, uma das maiores empresas de polvilho azedo, a empresa Amafil do estado do Paraná possuía uma capacidade de produzir 60 mil toneladas de polvilho por ano (AMAFIL, 2016). Percebe-se que embora o processo seja semi-artesanal a capacidade produtiva cresceu consideravelmente afim de suprir a demanda desse farináceo (SEBRAE, 2014).

Figura 4 Localização das fecularias da região do sul de Minas



Fonte GARIGLIO et al. (2011)

Quadro 2 Características das fecularias da região do sul de Minas

| Fecularia | Capacidade (ton/dia) | N°. Empregados | | Origem da Matéria-prima | Área (m ²) |
|-----------|-------------------------|----------------|-------|----------------------------|------------------------|
| | | Fixos | Safra | | |
| 1 | 15 | 3 | 3 | Terceiros | 900 |
| 2 | 100 | 38 | 38 | Terceiros | - |
| 3 | 24 | 4 | 8 | Terceiros | 3.000 |
| 4 | 24 | 13 | 13 | Terceiros | 1.000 |
| 5 | 30 | 5 | 10 | Mista | 24.000 |
| 6 | 15 | 6 | 8 | Terceiros | 800 |
| 7 | 20 | 5 | 5 | Terceiros | 28.493 |
| 8 | 30 | 1 | 22 | Terceiros | 1.000 |
| 9 | 30 | 5 | 3 | Própria | 1.000 |
| 10 | 15 | 3 | 4 | Terceiros | 500 |
| 11 | 3 | 4 | 8 | Mista | 990 |
| 12 | 10 | 8 | 5 | Mista | 3.000 |
| 13 | 20 | 5 | 10 | Mista | 5.700 |
| 14 | 8 | 10 | 1 | Terceiros | 2.000 |
| 15 | 15 | 1 | 4 | Mista | 680 |
| 16 | 20 | 4 | 8 | Terceiros | 900 |
| 17 | 8 | 6 | 1 | Terceiros | 500 |
| 18 | 8 | 2 | 2 | Terceiros | 440 |
| 19 | 20 | 1 | 10 | Mista | 1.200 |
| 20 | 30 | 2 | 16 | Mista | 800 |
| 21 | 20 | 10 | 3 | Mista | 12.000 |
| 22 | 20 | 16 | 8 | Mista | 10.000 |
| 23 | 10 | 3 | 4 | Mista | 10.000 |
| 24 | 2,5 | 8 | 3 | Terceiros | 3.000 |
| 25 | 40 | 4 | 5 | Terceiros | 350 |

Fonte GARIGLIO et al. (2011)

A participação de mercado do polvilho é bem expressiva. O polvilho é comercializado em fardos, usualmente 20 unidades de 1kg, os saquinhos, 25 kg, e os sacos, 50kg, esses últimos são comercializados entre as próprias fábricas de polvilho usualmente em embalagem sem rótulos. O polvilho é muito utilizado em padarias na fabricação de biscoitos, o pão de queijo antigo símbolo mineiro, popularizou-se e atualmente é um símbolo nacional, estando disponível nos mais diversos pontos de comércio como: lanchonetes, bares, aeroportos, etc. Além disso, parte expressiva da produção é destinada as fábricas de biscoitos (CEREDA, 1987; CAMARGO et al., 1988). Em 2017, a produção de biscoitos movimentou 24,05 bilhões de reais no Brasil, sendo que os biscoitos de polvilho estão entre os 15 principais tipos de biscoitos no mercado (NIELSEN, 2017). Segundo SEBRAE (2014) o investimento necessário para uma fábrica de biscoitos de polvilho de pequeno porte é de aproximadamente R\$ 165.946,00, sendo um excelente meio para empreender devido à grande demanda de tais produtos.

Com o foco de ampliar as fontes de polvilho azedo na fabricação de biscoitos, diversas matérias-primas foram fermentadas para análise, dentre elas a araruta, batata inglesa, batata-baroa e milho comum; embora a batata-baroa e araruta apresentaram bons resultados e considerável aceitação pelos consumidores, a matéria-prima tradicional (a mandioca) apresentou indicadores mais atrativos (PEREIRA et al., 1999; DIAS et al., 2007).

4. MATERIAL E MÉTODOS

As atividades desenvolvidas no presente trabalho foram realizadas no Laboratório de Probióticos do Departamento de Biotecnologia da EEL-USP, Lorena -SP e nas dependências da Indústria de Comércio Polvilho Makmil LTDA em Conceição dos Ouros – MG.

4.1 Caracterização do Processamento da Mandioca e da Empresa

Foi realizado contato com a Indústria e Comércio de Polvilho Maxmil, da cidade de Conceição dos Ouros – MG. A empresa forneceu dados e informações sobre sua safra, estoque e operações, conforme questionário, no Quadro 5 do Apêndice.

A planta industrial da fábrica de Polvilho Maxmil é composta por dois galpões cobertos e vedados por telas de nylon para impedir a entrada de animais. Cada galpão possui 50 metros de comprimento por 15 metros de largura. Os galpões dispõem de maquinários para o processamento e extração da fécula de mandioca, canaletas de decantação ao centro e 67 tanques de fermentação no entorno com dimensões médias de 3 metros de comprimento, 2 metros de largura, 1,8 metros de altura. Os tanques e as canaletas de decantação são construídos em alvenaria, revestidos com pisos de porcelana. Os maquinários empregados na extração da fécula se encontram na extremidade do primeiro galpão, eles são revestidos de aço inoxidável, para a secagem do polvilho são utilizados jiraus, sua estrutura é de madeira e tela de aço em seu topo, os jiraus são dispostos ao ar livre sendo distribuídos da seguinte forma: 14 jiraus com 150 metros de comprimento e 10 Jiraus com 80 metros de comprimento, ambos apresentam 140 centímetros de largura, 110 centímetros de altura.

A batelada de produção ocorre durante uma semana, na segunda-feira ela se inicia, cada caminhão carregado transporta cerca de 10.000 Kg de mandioca para abastecer a planta, o fluxo de consumo de mandioca é de 4.000 kg/h, sendo que normalmente a planta será operada por 10h, a média de mandioca processada será 200 toneladas por semana, e a safra durará de 10 a 18 semanas, conforme a disponibilidade de matéria-prima e demanda do mercado.

No processo de produção do Polvilho Maxmil, representado nas Figuras 5 e 6, a mandioca colhida é processada no mesmo dia. Para tanto o caminhão contendo as raízes de mandioca estaciona em uma plataforma, a qual é inclinada para que a mandioca caia em uma caixa sendo em seguida transportada por meio de um parafuso tipo rosca sem fim onde é lavada e descascada. A caixa comporta cerca de 50 toneladas de mandioca, a lavagem da

mandioca opera em fluxo médio de 3,8 a 4 ton/h de mandioca, com uma vazão de 2 mil L/h de água.

Após a lavagem, a mandioca é submetida ao processo de redução de tamanho, sendo ralada e triturada formando uma pasta, a qual é peneirada na peneira rotativa 1, com um fluxo de água de 3,5 mil L/h promovendo assim a separação da massa de mandioca, um subproduto da produção, do leite de polvilho (uma suspensão coloidal da fécula e água) (SCHMIDELL; LIMA; BORZANI, 2003).

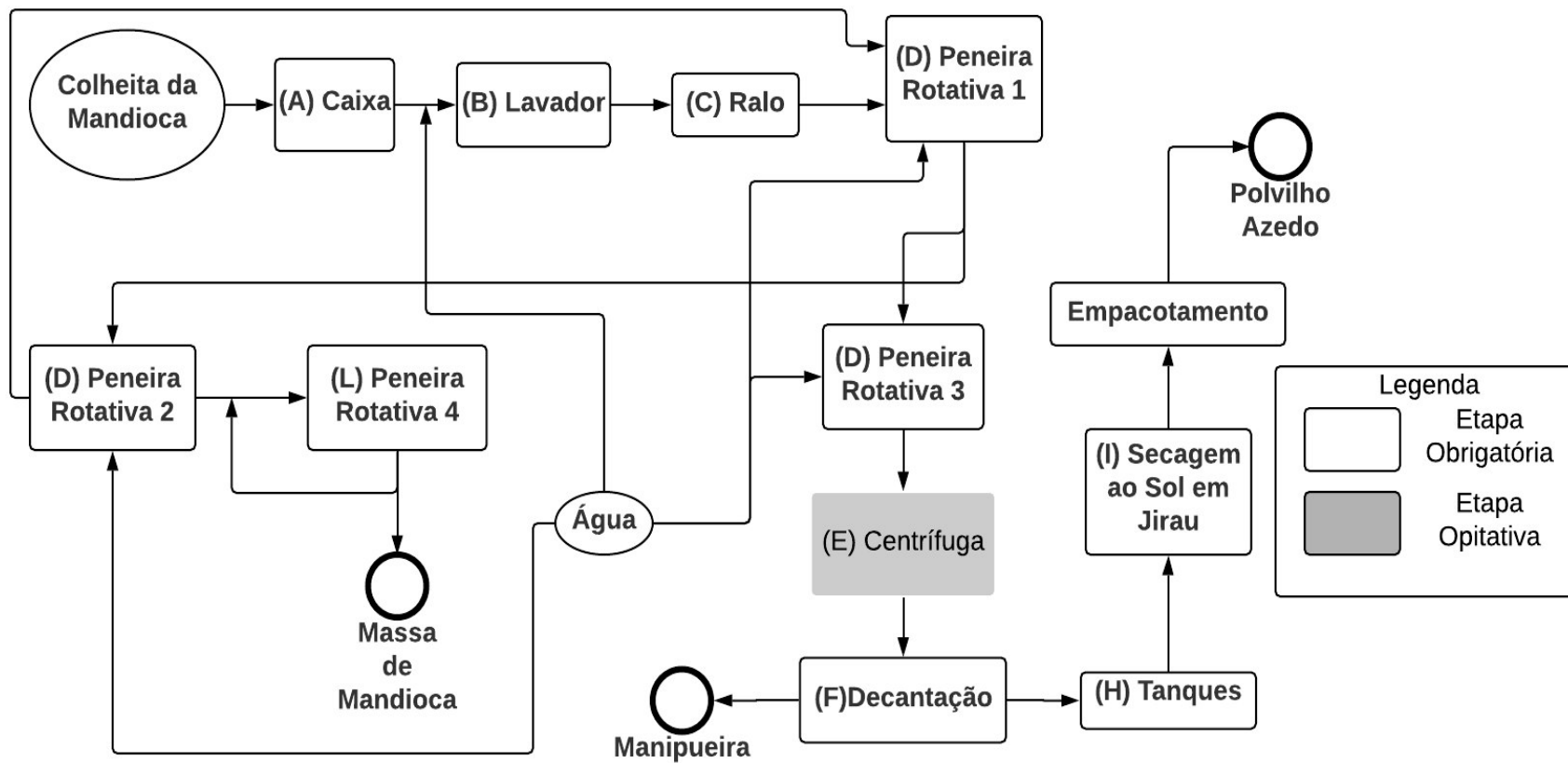
As peneiras 2, 4 serão responsáveis por separar o restante da massa de mandioca do leite de polvilho. A peneira 3 ou peneira fina separará o restante do amido. As peneiras rotativas 2 e 3 recebem um adicional ao fluxo da corrente correspondente a 3,5 e 1 mil L/h de água respectivamente. Todas as peneiras com a exceção da peneira 1, possuem correntes de reciclo.

A empresa opera seguindo duas linhas produtivas para a fabricação do polvilho azedo, na primeira não há a presença do estágio de centrifugação, passando a corrente do leite de amido da etapa (d) para a (f) conforme fluxograma da Figura 5. Na segunda linha de produção a suspensão passa pela operação de centrifugação, representado pela letra (e) e posteriormente parte para a etapa (f) no fluxograma da Figura 5.

O estágio de centrifugação concentra o polvilho na suspensão, e a suspensão para para a próxima operação unitária, a decantação. Na decantação, o polvilho será separado da manipueira. A centrífuga receberá da peneira 3 um fluxo de 8 mil L/h de amido extraído em suspensão aquosa, separando a suspensão na seguinte proporção 4,4 mil L/h de água serão removidos e reaproveitados para a lavagem da matéria-prima, enquanto 3,6 mil L/h da fécula concentrada é enviado para a decantação. Em seis dos tanques analisados o substrato passou por esse processo de separação física.

A planta da empresa Polvilho Maxmil utiliza a centrífuga do tipo Mausá Série SCM, afim de eliminar a água e concentrar a fécula. Conforme o manual do equipamento na produção do polvilho é possível fazer uma associação em série com outras centrífugas do mesmo modelo, aumentando sua eficiência, porém é necessária uma etapa de decantação para a separação do polvilho de outras impurezas, pois nas condições de operação a centrífuga a corrente de saída com o produto desejado contém 40% de manipueira e lodo de polvilho em relação a massa da suspensão. (MAUSA S.A EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, 1980).

Figura 5 Fluxograma do processamento de polvilho azedo na indústria Polvilho Maxmil

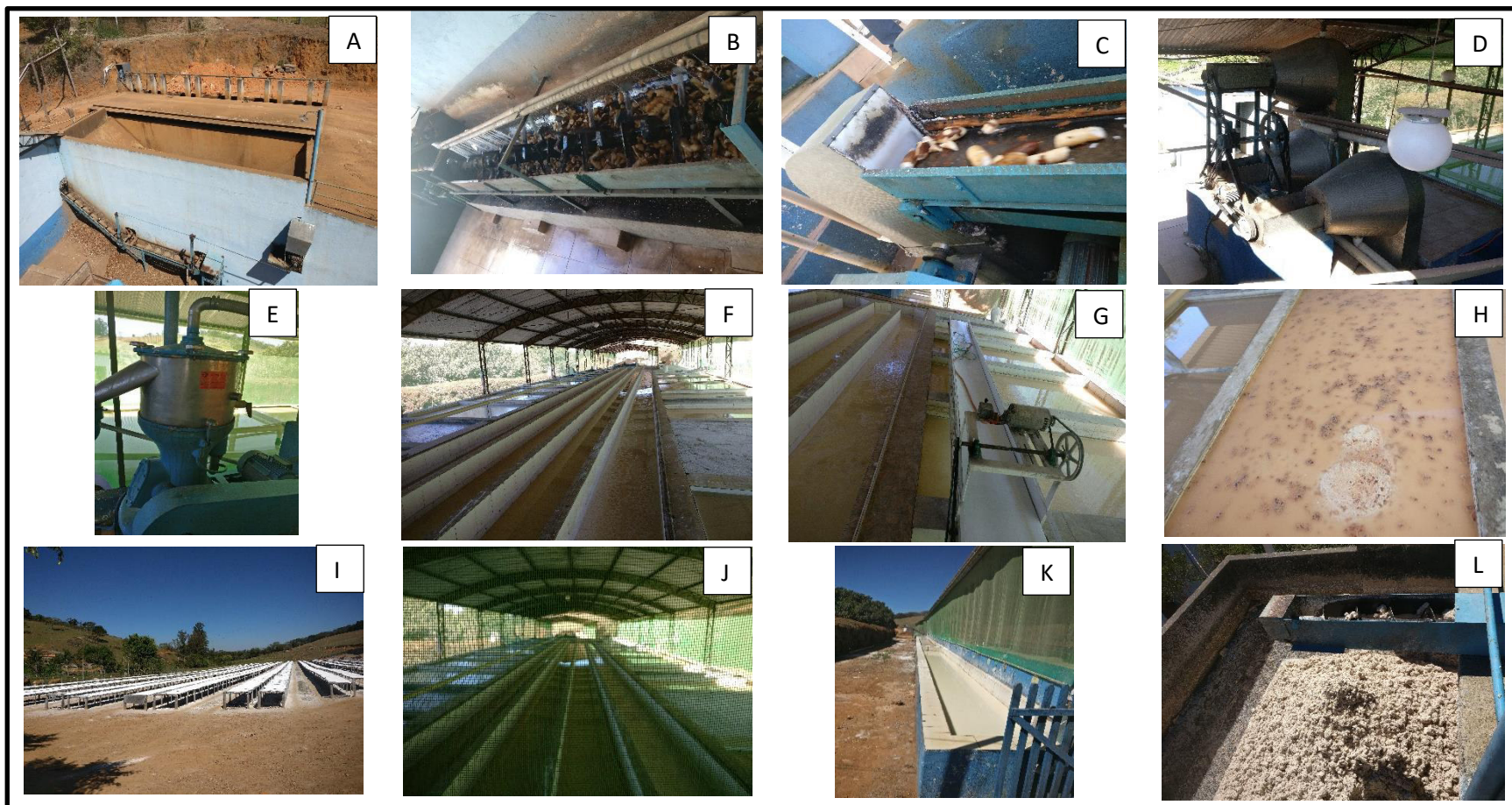


Fonte: Próprio autor

Após a peneira rotativa número 3, ou a etapa de centrifugação, dependendo do método de processamento utilizado pela a planta, a corrente de leite de polvilho passa nas canaletas de decantação. Nessa operação unitária o leite de polvilho é colocado na extremidade da canaleta de decantação, conforme a suspensão avança, ocorre a decantação do polvilho, formando um declive, separando-o da água e do lodo de polvilho, essa água residuária consiste na manipueira. Rica em matéria orgânica a manipueira é resíduo de produção com um potencial poluidor elevado que devido aos custos do seu tratamento pode ser reaproveitado de maneira economicamente viável, em outras áreas, por exemplo: como inseticida, tratamento do solo, etc. (GARIGLIO et al., 2011; KUCZMAN et al., 2011). Após o processo de decantação, e com o preenchimento da canaleta de decantação o polvilho solido será transportado para os tanques fermentativos. Uma canaleta cheia equivale de 6 a 7 tanques de fermentação, sendo necessário uma semana de produção para o seu preenchimento. As canaletas de decantação não apresentam declive, o declive é formado com a decantação do polvilho. As canaletas apresentam as seguintes dimensões: 42 metros de comprimento, 4 metros de largura, 60 centímetros de altura. A transferência do polvilho contido nas canaletas de decantação será realizada por uma esteira para os tanques de fermentação, o amido na decantação é removido por pás. Nos tanques fermentativos o polvilho será fermentado ao longo de dias, oscilando de 30 a 60 dias para uma fermentação desejada conforme os critérios de qualidade da empresa, para criar-se o meio anaeróbico desejado, adiciona-se uma fina camada de água de 10 centímetros. Os tanques fermentativos possuem as seguintes dimensões: 3 x 2 x 1,8 metros, com capacidade de armazenamento equivalente a 150 sacos de polvilho, sendo cada saco equivalente a 50 quilogramas.

Após o término da fermentação o polvilho será removido em blocos, por meio de pás e será triturado, preparando-o para a etapa de secagem ao sol. A secagem inicia-se as 7h da manhã, porém o tempo para distribuir o polvilho sobre a superfície dos jiraus, demora cerca de 2h. O polvilho será manuseado, até secar, são secados cerca de 150 sacos de polvilho, diariamente, ele será recolhido por tratores e antes de serem ensacados, os grânulos são triturados e passam em peneiras para eliminar impurezas decorrentes da secagem. O polvilho é ensacado nas seguintes embalagens: um saco de 25Kg, tradicionalmente vendido para biscoitarias e padarias, e o saco de 1 Kg, produto vendido no varejo, tendo dois fardos, o de 20Kg e o 10 Kg. A empresa costuma estocar por até 6 meses o polvilho seco e 8 meses nos tanques de fermentação, os longos períodos no tanque de fermentação se restringem para o final de safra.

Figura 6 Ilustração da Planta de beneficiamento de mandioca da indústria de Polvilho. (A) Caixa e Rosca infinita; (B) Lavador; (C) Ralo; (D) Peneiras Rotativas; (E) Centrífuga; (F) Canaletas de Decantação; (G) Esteira para transfêrencia do polvilho; (H) Tanques de Fermentação; (I) Jiraus; (J) Panorama geral da decantação e tanques fermentativos nos galpões ; (K) Manipueira e lodo do polvilho; (L) Massa de mandioca



Fonte do autor

4.2 Avaliação das Amostras

4.2.1 Coleta das Amostras de Polvilho Azedo

As amostras de polvilho avaliadas neste trabalho, da marca Maxmil, foram cedidas pela Indústria de Comércio Polvilho Makmil LTDA, as quais foram coletadas em diferentes tanques e tempos de fermentação. O método de extração das amostras consistiu na perfuração do tanque por meio de uma pá, a uma profundidade de 30 centímetros ao centro do tanque de fermentação e remoção de polvilho azedo, a qual foi triturada, utilizando equipamento da Figura 7. O polvilho triturado foi seco ao sol, salvo quando as condições climáticas impossibilitaram a secagem, em um tecido preto sobre um jirau e manuseado periodicamente afim de proporcionar uma secagem homogênea. As amostras foram coletadas semanalmente e acondicionadas em sacos plásticos de 1 Kg. Estas amostras foram devidamente estocadas no Laboratório de Probióticos e da Indústria de Polvilho Maxmil LTDA, em ambiente seco, à semelhança das condições de armazenamento utilizadas pela indústria e supermercados, sendo caracterizadas quanto ao índice de expansão e acidez titulável.

As amostras de polvilho azedo foram coletadas em 10 tanques de fermentação. Os tanques de fermentação selecionados compõem as duas linhas de produção realizadas pela empresa, o método no qual o leite de polvilho não é centrifugado, sendo selecionados 4 tanques dessa linha. E no método que ocorre a centrifugação do leite de polvilho, foram selecionados 4 tanques desse método. Dois tanques foram selecionados afim analisar o leite de amido que foi centrifugado com a presença de um inóculo durante a fermentação.

As amostras de polvilho azedo foram extraídas afins de comparar dois tanques que tiverem mesma origem de produção. Na primeira semana de análise, foi realizado uma produção com a utilização da centrífuga, e selecionado os tanques 1 e 2 para acompanhar o perfil de expansão e acidez titulável, retirando-se amostras no dia 11/06/2018. Na segunda semana (18/06/2018), foram coletadas amostras dos dois tanques mencionadas e novos dois tanques foram selecionadas, selecionado os tanques 3 e 4, nessa semana não foi utilizado o processo de centrifugação na produção do polvilho. Na terceira semana (26/06/2018), foram coletadas amostras dos tanques anteriores e coleta de dois novos tanques 5 e 6, produzidos nessa semana sem a operação de centrifugação. No dia 11/07/2018, além da coleta para o acompanhamento perfil de fermentação dos 6 tanques escolhidos, amostras de dois novos

tanques foram coletadas, tanques 7 e 8, os quais o leite de polvilho passou pelo processo de centrifugação. Todos os tanques de fermentação tiveram a coleta de amostras, afim de traçar o perfil de expansão e acidez titulável durante a fermentação, a interrupção da coleta dessas amostras ocorreu com a retirada de todo o polvilho contido no tanque. Nos dias 08/08/2018 e 14/08/2018 o polvilho contido nos tanques 9 e 10, respectivamente, parte de seu conteúdo foi utilizado como inóculo para a próxima produção. O número dos tanques analisados e a presença do processo de centrifugação está contido na Figura 7.

Figura 7 Tanques de fermentação e informações sobre suas fermentações

| Número do Tanque | Leite de amido centrifugado | Presença de Inóculo | Data do início da fermentação | Data da extração da Primeira amostra |
|------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Sim | Não | 02/06/2018 | 11/06/2018 |
| 2 | Sim | Não | 02/06/2018 | 11/06/2018 |
| 3 | Não | Não | 16/06/2018 | 18/06/2018 |
| 4 | Não | Não | 13/08/2018 | 18/06/2018 |
| 5 | Não | Não | 16/06/2018 | 26/06/2018 |
| 6 | Não | Não | 25/06/2018 | 26/06/2018 |
| 7 | Sim | Não | 25/06/2018 | 11/07/2018 |
| 8 | Sim | Não | 07/07/2018 | 11/07/2018 |
| 9 | Sim | Sim | 07/07/2018 | 21/08/2018 |
| 10 | Sim | Sim | 13/08/2018 | 14/08/2018 |

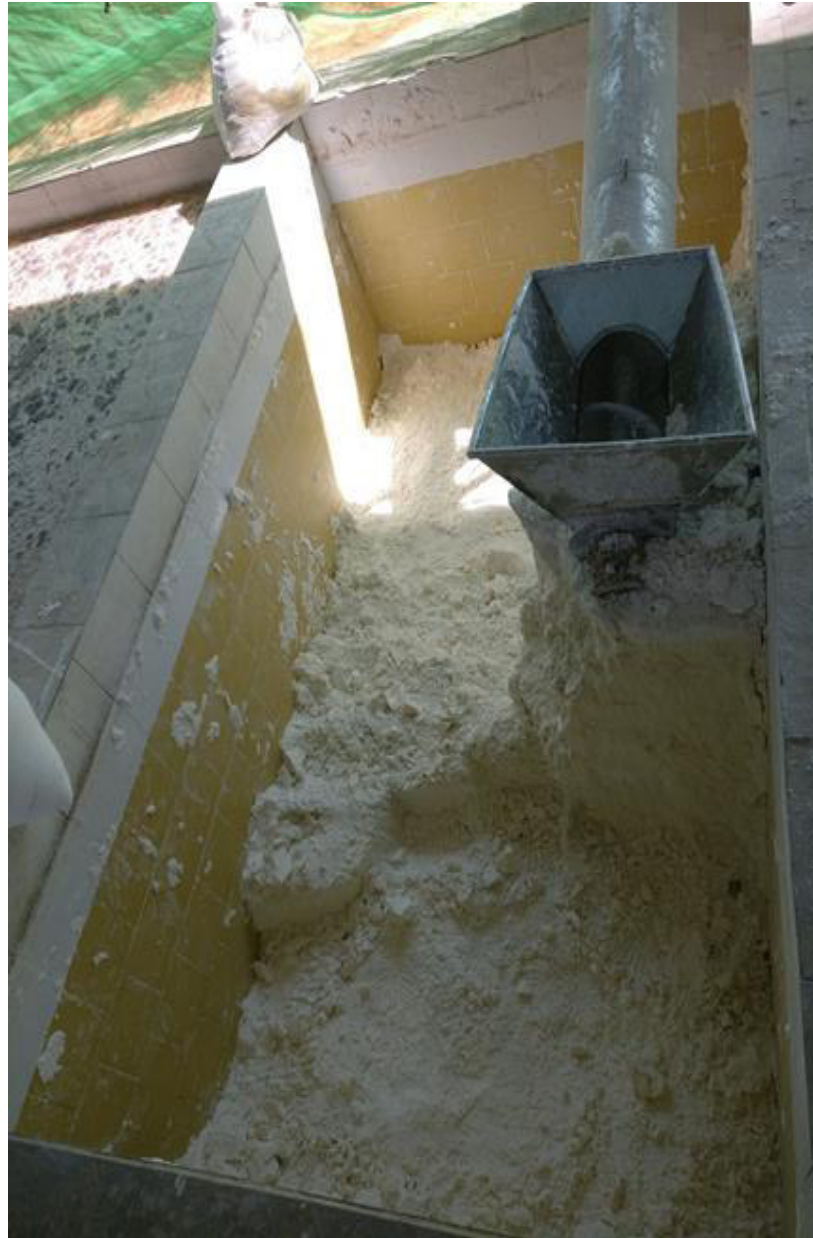
Fonte: Próprio autor

4.2.2 Obtenção e aplicação do inóculo

Afim de proporcionar uma otimização no tempo de fermentação foi inserido inóculo em dois tanques de polvilho. O inóculo utilizado foi extraído de dois tanques de fermentação em estágio final do processo, os dois tanques de extração do inóculo foram analisados, constituiu-se nos tanques 3 e 4 sem o processo de centrifugação do leite de amido. Todo o conteúdo dos tanques foi extraído e reservou-se polvilho azedo, que foi mecanicamente (Figura 8) triturado e inoculado em dois tanques, na proporção de 1:50. Os tanques 9 e 10, foram preenchidos com substrato obtido por meio da centrifugação do leite de amido. O método de inoculação consistiu em adição no tanque de fermentação de 40 centímetros de altura de substrato foi adicionado o inóculo triturado, e então adicionou-se uma nova camada de substrato até o preenchimento do tanque. Os dois tanques com inóculos tiveram seus

parâmetros de acidez titulável e expansibilidade analisados e comparados com as amostras dos demais tanques.

Figura 8 Triturador de polvilho para secagem



Fonte: Próprio autor

4.2.3 Determinação do Índice de Expansão

O índice de expansão das respectivas amostras de polvilho azedo foi determinado por meio de metodologia prática de expansão (CEREDA; NUNES, 1989). Para tanto foram pesados 50 gramas de polvilho azedo, e adicionou-se 40 mL de água fervente, seguido de modelagem da pasta formada até atingir um aspecto homogêneo e viscoso. Água fervente

adicional foi utilizada para atingir a característica de pasta, conforme descrita na literatura. Na sequência, a pasta foi fracionada em 5 porções, denominadas como biscoitos, com aproximadamente 10 gramas cada, foram devidamente modeladas em formato esférico e levadas ao forno elétrico, a temperatura de 200°C, por 25 min. Em seguida, com os biscoitos frios, determinou-se o índice de expansão do amido (mL/g). Para tanto os biscoitos foram pesados em uma balança de precisão, e o volume foi obtido seguindo o princípio de Arquimedes. O biscoito foi adicionado a um béquer preenchido completamente com sementes de painço, para a inserção do biscoito foram removidas as sementes, e após a colocação do biscoito no béquer completou-se o volume com parte das sementes que foram retiradas. As sementes excedentes foram colocadas em uma proveta obtendo-se assim o volume corresponde ao volume do referido biscoito. Assim, determinou-se o índice de expansão do polvilho azedo, que corresponde a relação entre o volume e a massa do biscoito, expresso em mililitros por grama (mL/g).

4.2.4 Determinação da Acidez Titulável

O teor de acidez titulável das respectivas amostras de polvilho azedo foi determinado por meio da titulação de 5 gramas de amostra, suspensa em 50 mililitros de água, com solução de NaOH 0,1 molar (M), utilizando fenolftaleína como indicador (pH 8,2 a 8,3). A acidez titulável é expressa em mililitros de NaOH 1 M por 100 gramas de matéria seca de polvilho (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Matéria-prima

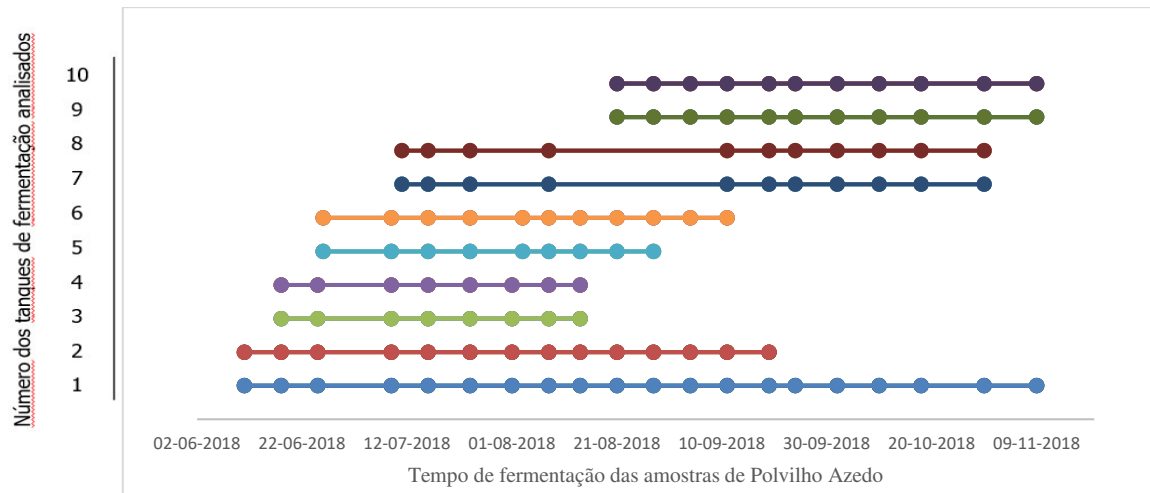
A cidade de Conceição dos Ouros, Minas Gerais apresenta as seguintes características geográficas: Altitude 823 metros acima do nível do mar, temperatura média de 19,5 °C e pluviosidade de 1.445 mm anuais (IBGE, 2019), tais fatores proporcionam condições adequadas para o cultivo da mandioca de acordo com a EMBRAPA (2006). Durante as visitas técnicas, realizou-se coleta das amostras com acompanhamento dos funcionários da empresa. A matéria-prima, a mandioca, utilizada na planta industrial consistiu em cerca de 60% produção própria e 40% de produtores locais, as culturas tiveram um ciclo de plantio máximo de 22 meses. As raízes foram cultivadas em três cidades: Conceição dos Ouros, Cachoeira de Minas e Brasópolis. A safra iniciou-se no mês de abril e durou até o final do mês de setembro, durante a safra o teor de amido médio foi de 28,6% da composição da mandioca, dados fornecidos pela Empresa conforme questionário contido no apêndice, como a matéria-prima provém de diferentes produtores, ou seja, diferentes manejos da cultura, e são extraídas ao longo da safra, existe uma oscilação no percentual de amido extraído pela empresa.

5.2 Caracterização das amostras de polvilho azedo

A empresa opera diante de dois métodos produtivos, com e sem a presença de centrífuga na concentração do leite de polvilho. Foram retiradas amostras dos dois métodos de produção. A linha de produção com a utilização da centrífuga apresenta certas características qualitativas, entre elas a cor, um branco mais intenso, o sabor é menos azedo e o produtor mantém o polvilho por mais tempo nos tanques de fermentação. Foram coletadas amostras de 10 tanques de fermentação semanalmente, dentre esses tanques 4 não tiveram o leite de polvilho centrifugado ao longo da produção, e em 6 tanques o leite de polvilho passou por processo de centrifugação durante a produção, sendo que dois destes tiveram a inserção de um inóculo durante o processo fermentativo. As referidas amostras foram retiradas semanalmente, em uma profundidade de 30 centímetros da superfície do tanque de fermentação, elas foram trituradas, secas ao sol e embaladas seguindo os métodos de produção realizados pela a empresa. Elas foram analisadas perante sua acidez titulável e

expansibilidade ao forno. O gráfico de Gantt, na Figura 9 demonstra a coleta de cada uma das amostras dos tanques analisados.

Figura 9 Gráfico de Gantt número do tanque em função do tempo de fermentação

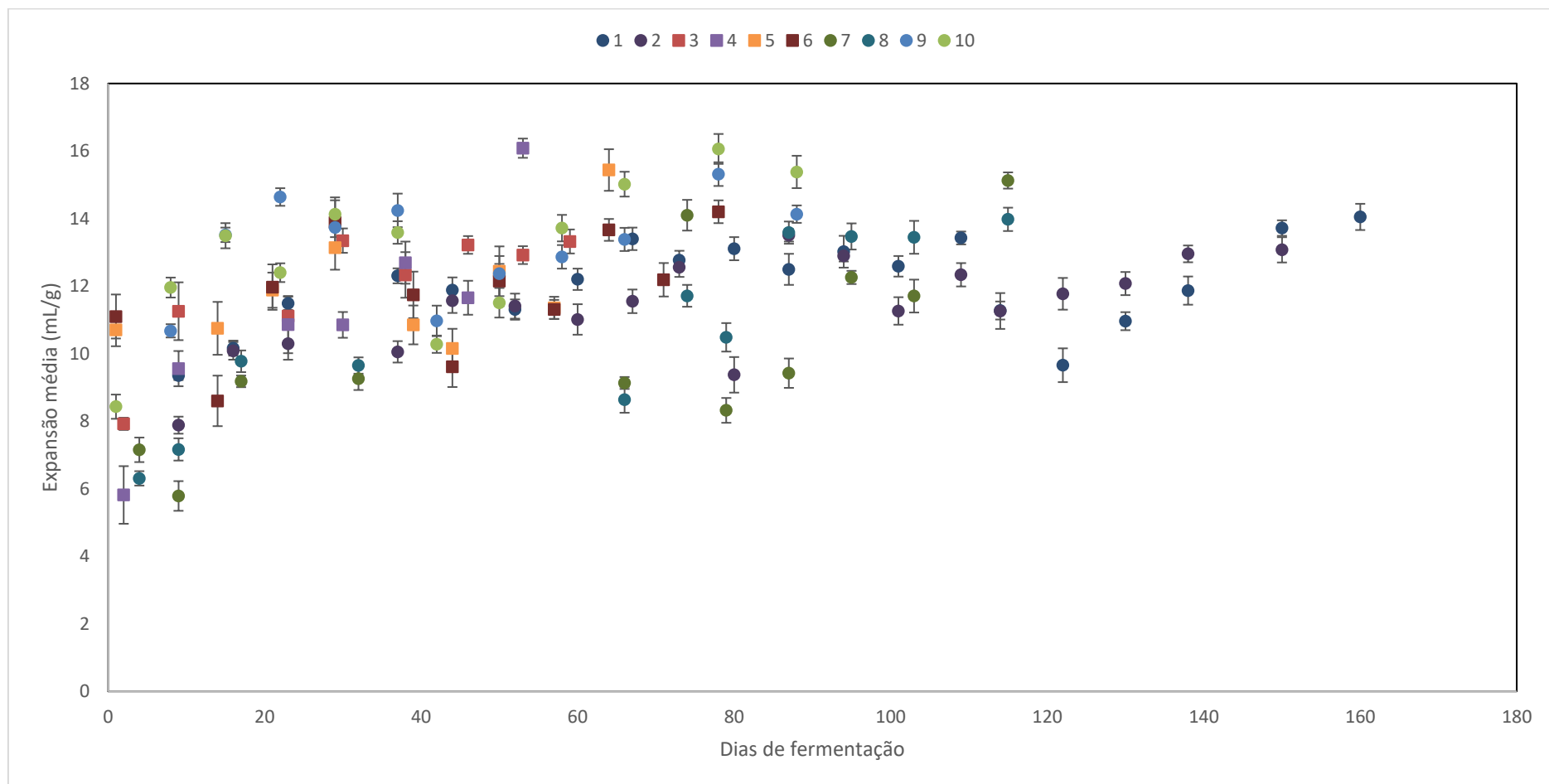


Fonte: Próprio autor

A Figura 9 apresenta os resultados referentes a variação do índice a expansão dos biscoitos de polvilho azedo em relação com o tempo de fermentação. Verifica-se que inicialmente as amostras apresentaram índice de expansão próximo a 6 mL/g, que pode ser considerado baixo enquanto ao final da fermentação, período no qual todo o polvilho do tanque foi extraído e secado, as amostras chegaram no índice de alta expansão (≥ 10 mL/g), inclusive com alguns tanques abrangendo polvilhos de qualidade extra, tipo A, índice de expansão (≥ 16 mL/g) classificada conforme MAEDA; CEREDA (2001). Os resultados das análises das amostras de Polvilho Azedo estão contidos no Apêndice.

Tanto os tanques que passaram pelo processo de centrifugação, quanto os que não passaram, oscilaram nos valores de expansão média. Ambos os pares apresentaram valores de expansão próximos para mesma data de extração das amostras, sendo que 1 a 2 amostras dos pares de tanque com mesma data de produção possuem expansões com variação superior a 2 mL/g, os tanques sem centrífuga foram os tanques com maior desvio padrão na expansão média dos biscoitos, algumas expansões médias tiveram desvio padrão superior a 0,7; sendo que os tanques 6 e 5 apresentaram maiores variações. Já os tanques nos quais o amido passou pelo processo de centrifugação, apresentaram baixos desvios padrões, com desvios próximo de 0,18.

Figura 10 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, em diferentes tempos de fermentação, das diferentes amostras analisadas



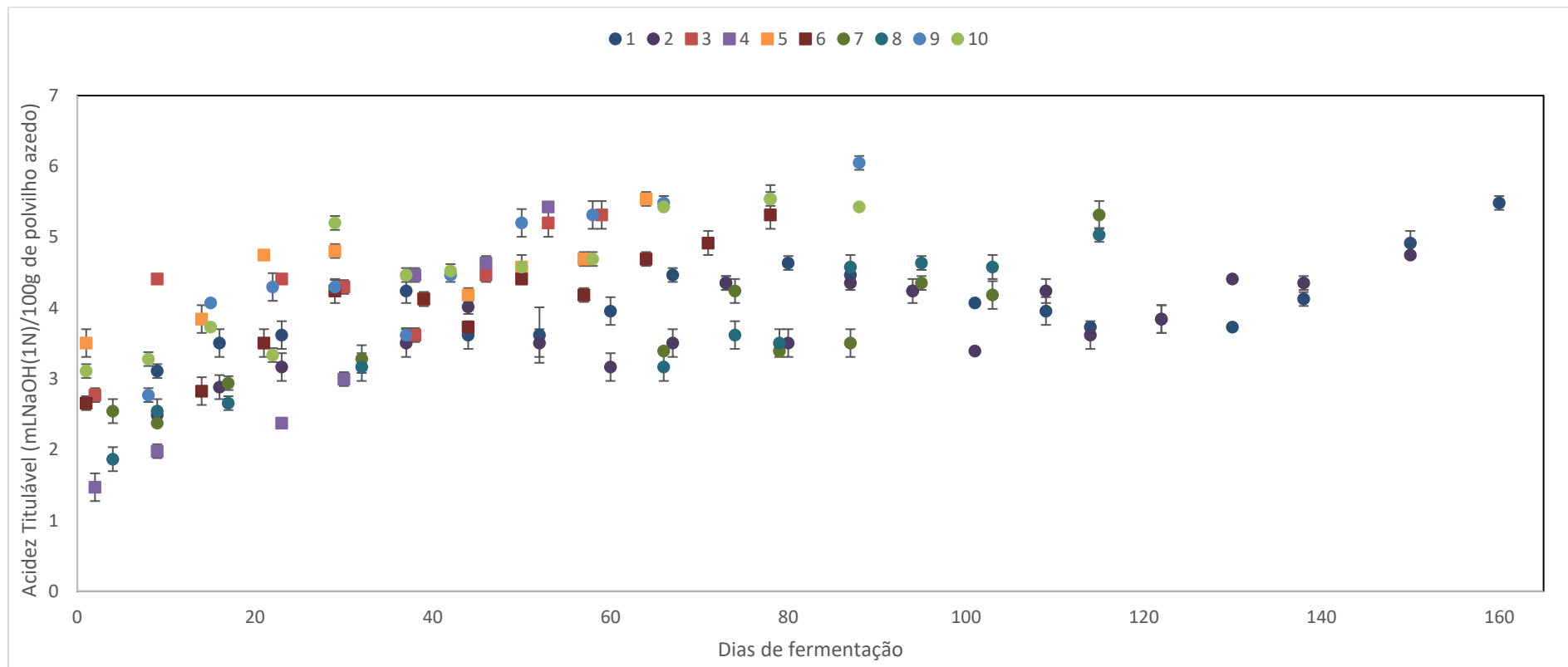
Fonte: Próprio autor

A Figura 11 apresenta acidez titulável das amostras ao longo do processo fermentativo, a titulação das amostras foi realizada em triplicata. Observou-se grande variação na acidez titulável das amostras, pois estas possuíam inicialmente valor de acidez titulável inferior a 3,5 mililitros (mL) de NaOH 1 N, sendo que a menor acidez encontrada foi de 1,47 mililitros (mL), e com o término da fermentação a acidez titulável encontrada foi superior a 4,5 mL de NaOH, tendo que a maior fermentação atingiu o índice de 6,05 mL por 100 gramas de polvilho azedo, superando a acidez limite estabelecida pela legislação de 5,0 mL de NaOH N (ANVISA, 1978). Segundo BORZANI et al. (2003) a acidez titulável consiste em um fator de classificação do polvilho, sendo que valor inferior a 3 mL, indica que o polvilho apresenta baixa fermentação, ou seja, consiste no polvilho doce, enquanto acidez titulável superior a 7 mL apresenta fermentação muito intensa.

A acidez titulável aumentou ao longo da fermentação, conforme o Figura 12. O coeficiente de determinação (R^2), indica a qualidade do modelo estatístico, a sua capacidade de estimar valores que representem a realidade (IBM, 2008), quanto maior a proximidade de R^2 com 1, maior a proximidade do modelo com a realidade. O coeficiente de determinação presente na Figura 12, apresentou valor que indica o grau superior ao encontrado por DINIZ; PIROZI (2006) $R^2 = 0,165$, correspondendo a um coeficiente de 0,68, um grau de confiança forte para número de amostras superior a 25, (IBM, 2008). Dessa forma, a acidez titulável apresentou correlação com o tempo de fermentação e a capacidade de expansão do polvilho azedo ao forno, discordando dos experimentos de DINIZ; PIROZI (2006), os quais indicavam que a maior acidez não necessariamente corresponde a um maior tempo de fermentação. O resultado obtido é semelhante ao encontrado nas demais literaturas (PLATA OVIEDO, 1991; SERGIPANO et al., 2008).

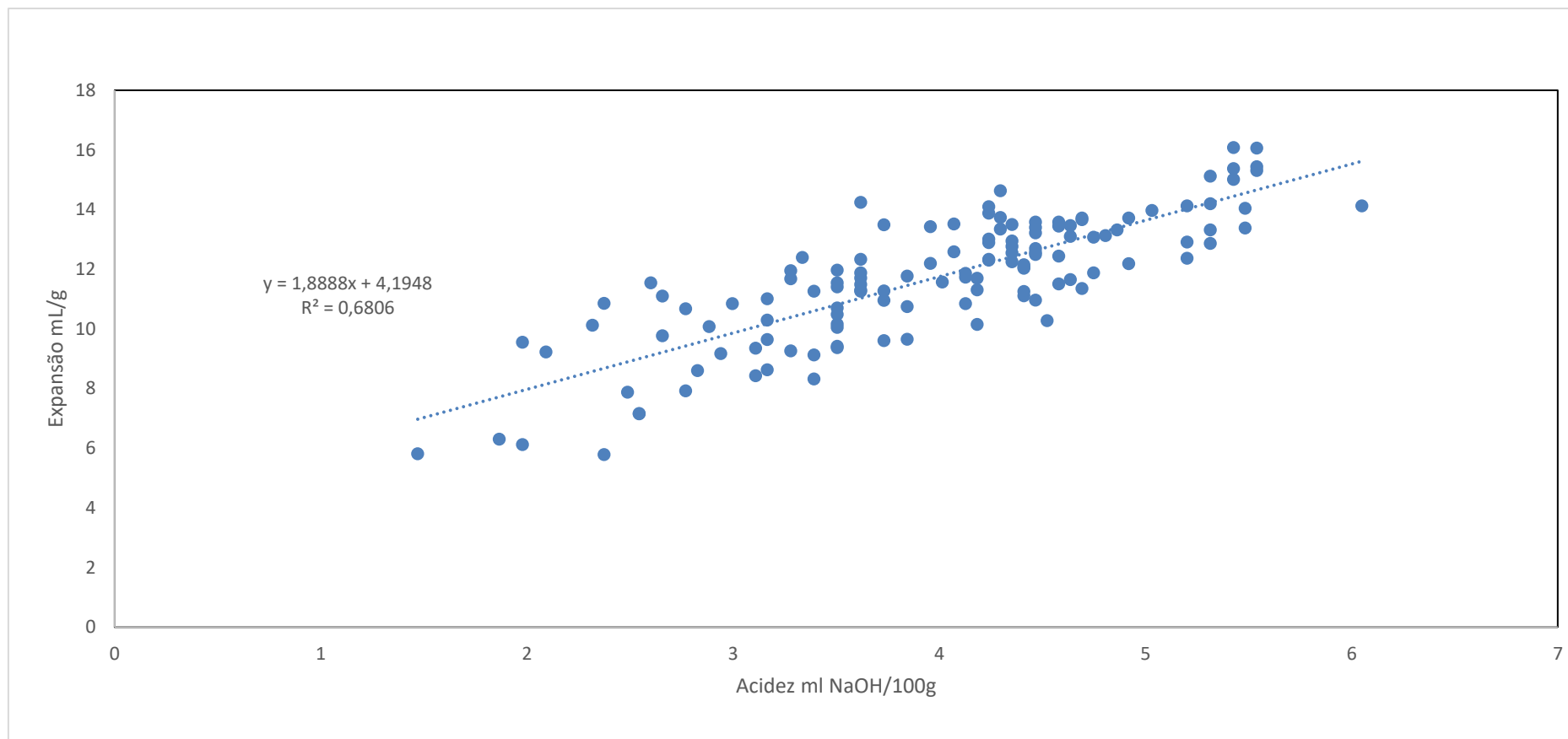
Tal índice confirma que a acidez titulável do polvilho é resultante da fermentação, (CEREDA; NUNES, 1989; BORZANI et al., 2003), sendo que segundo PLATA OVIEDO (1991); PENIDO et al. (2018) o ácido produzido no meio consiste no ácido láctico, resultante da fermentação láctica, e este ácido é um dos principais fatores na degradação do amido e sua posterior propriedade expansiva. Dessa forma pode-se correlacionar o aumento da acidez titulável das amostras como uma das consequências da fermentação do polvilho.

Figura 11 Perfil dos valores de acidez titulável do polvilho azedo, em diferentes tempos de fermentação, das diferentes amostras analisadas



Fonte: Próprio autor

Figura 12 Relação entre a Acidez titulável e índice de na Expansão do Polvilho Azedo ao forno



Fonte: Próprio autor

Analisando as amostras dos tanques, nos quais o leite de polvilho foi centrifugado percebe-se a necessidade de um maior tempo de fermentação para ocorrer mesmo índice de expansão dos biscoitos ao forno semelhante ao processo industrial no qual o leite de polvilho não passa pela centrifuga. Os polvilhos destes tanques ficaram mais tempo no tanque de fermentação, conforme o estipulado pela empresa Polvilho Maxmil, sendo que o tanque 1 e o 8 tiveram 150 e 160 dias respectivamente, enquanto o maior tempo de fermentação para as análises que não passaram pelo processo de centrifugação consistiu em 78 dias, para o tanque 6, conforme Figura 13.

Todos os tanques foram esvaziados e o seu polvilho foi secado conforme estipulado pela empresa, impossibilitando novas análises, dessa forma, foi realizada uma última análise extraindo-se a amostra na data da remoção do substrato do tanque analisando tais amostras. Percebeu-se que o polvilho comercializado pela companhia, apresenta índice de expansão próximo a 14 mL/g, sendo que 70% dos tanque analisados apresentaram resultados superior aos 14 mL/g, considerado por MAEDA; CEREDA (2001) como polvilho azedo, com grande capacidade de expansão, e média qualidade B, conforme Figura 13.

Figura 13 Valores de expansão e acidez titulável do polvilho azedo, ao término da fermentação

| Tanque | Leite de amido | Expansão (mL/g) | Acidez Titulável (mL) | Tempo (dias) |
|--------|------------------|-----------------|-----------------------|--------------|
| 1 | Centrifugado | 14,05 | 5,48 | 160 |
| 2 | Centrifugado | 13,07 | 4,75 | 150 |
| 3 | Não centrifugado | 13,32 | 5,31 | 59 |
| 4 | Não centrifugado | 16,09 | 5,43 | 53 |
| 5 | Não centrifugado | 15,44 | 5,54 | 64 |
| 6 | Não centrifugado | 14,20 | 5,31 | 78 |
| 7 | Centrifugado | 15,13 | 5,31 | 115 |
| 8 | Centrifugado | 13,98 | 5,03 | 115 |
| 9 | Centrifugado | 14,13 | 6,05 | 88 |
| 10 | Centrifugado | 15,38 | 5,43 | 88 |

Fonte: Próprio autor

A indústria Polvilho Maxmil comercializa produtos com expansão próximo a 14 mL/g, classe B e A, conforme a classificação de expansão de MAEDA; CEREDA (2001), na qual polvilho classe B possui índice de expansão (12mL/g até 16mL/g) enquanto classe A (≥ 16 mL/g), visto que todos os tanques da empresa são secados conforme a demanda do mercado e com tempo de fermentação superior a 40 dias, por meio do Figura 8, percebe-se que as características desejadas para a comercialização podem surgir dias antes ao período estipulado pela empresa, por vezes, até semanas, dessa forma, foi sugerido a empresa um

acompanhamento sobre cada tanque para otimizar a seleção de tanques para secagem e um maior acompanhamento sobre a produção da indústria.

5.3 Caracterização do perfil da fermentação

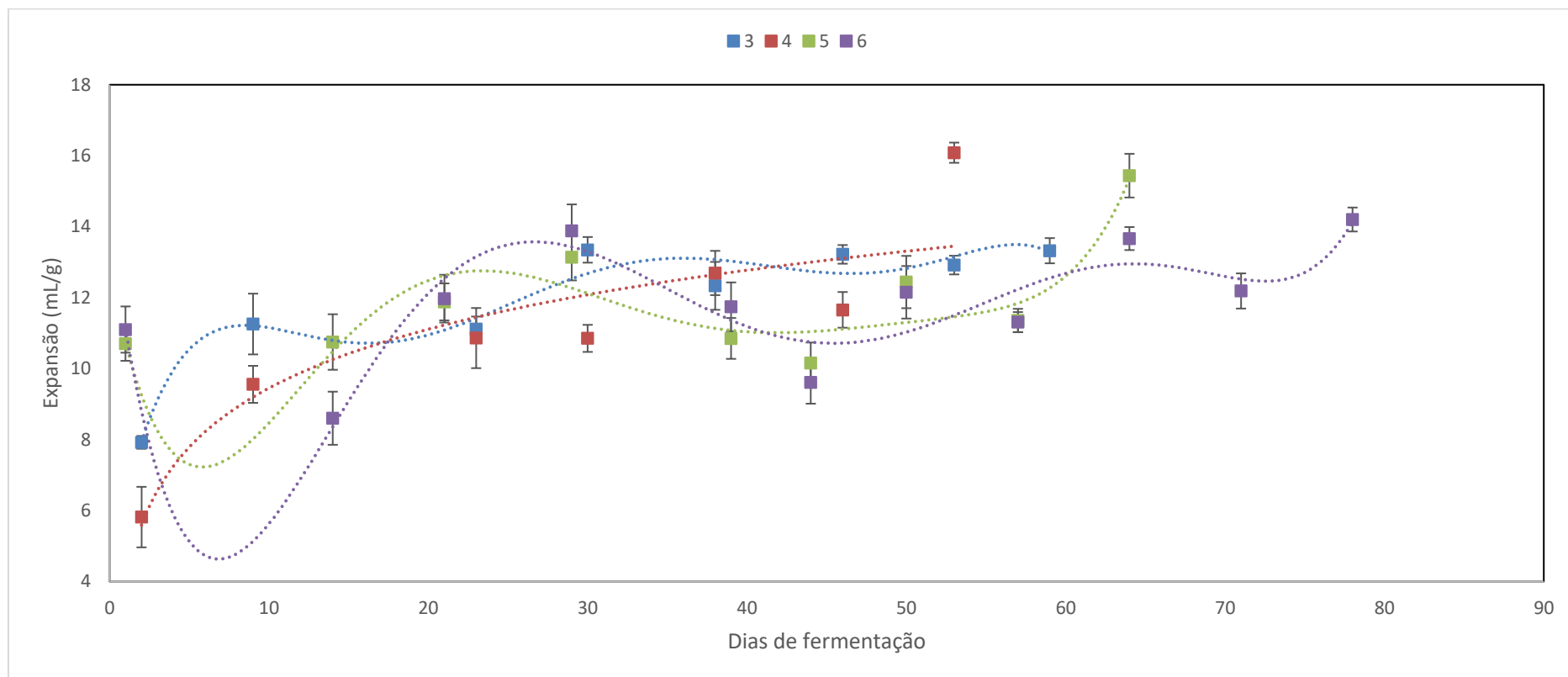
O processo bioquímico de fermentação ocorre seguindo quatro fases: fase lag, fase log, fase linear, e fase estacionária conforme MADIGAN; MARTINKO; PARKER, (2004) tendo um padrão de comportamento para cada um dos parâmetros: consumo de substrato, reprodução das células, e na formação de produtos. A expansão do polvilho azedo ao forno é decorrente da fermentação da fécula, dessa forma, tal processo possui uma biota a qual atuará sobre o substrato e terá comportamento no qual o processo passe pelas quatro fases mencionadas (PENIDO et al., 2018), todavia a capacidade de expansão ao forno pode ser resultado de uma combinação de modificações causadas por diferentes cultura, sofrendo diferentes intempéries durante a fermentação (STANBURY, PETER F.; WHITAKER, ALLAN; HALL, 1999; SCHMIDELL; LIMA; BORZANI, 2003; PENIDO et al., 2018).

O tempo para que os tanques centrifugados atinjam maiores expansões e oscilem ao seu entorno foi maior do que o de não centrifugados, para os segundos em 30 dias 3 tanques já possuíam expansão superior aos 14 mL/g, enquanto para os centrifugados a tendência de crescimento acima de 12 mL/g ocorreu somente após o 60º dia.

Uma tendência polinomial não se mantém uma boa modelagem de um processo, devido as N entradas de variáveis, porém é um excelente meio para visualizar graficamente a tendência de uma função (IBM, 2008). A curva de expansão das amostras do polvilho azedo ao forno, tiveram um caráter oscilatório, tal perfil de expansão é explicado devido as múltiplas culturas atuando sobre o substrato, proporcionando diferentes reações na modificação do grânulo do amido (PLATA OVIEDO, 1991; SCHMIDELL; LIMA; BORZANI, 2003; PENIDO et al., 2018).

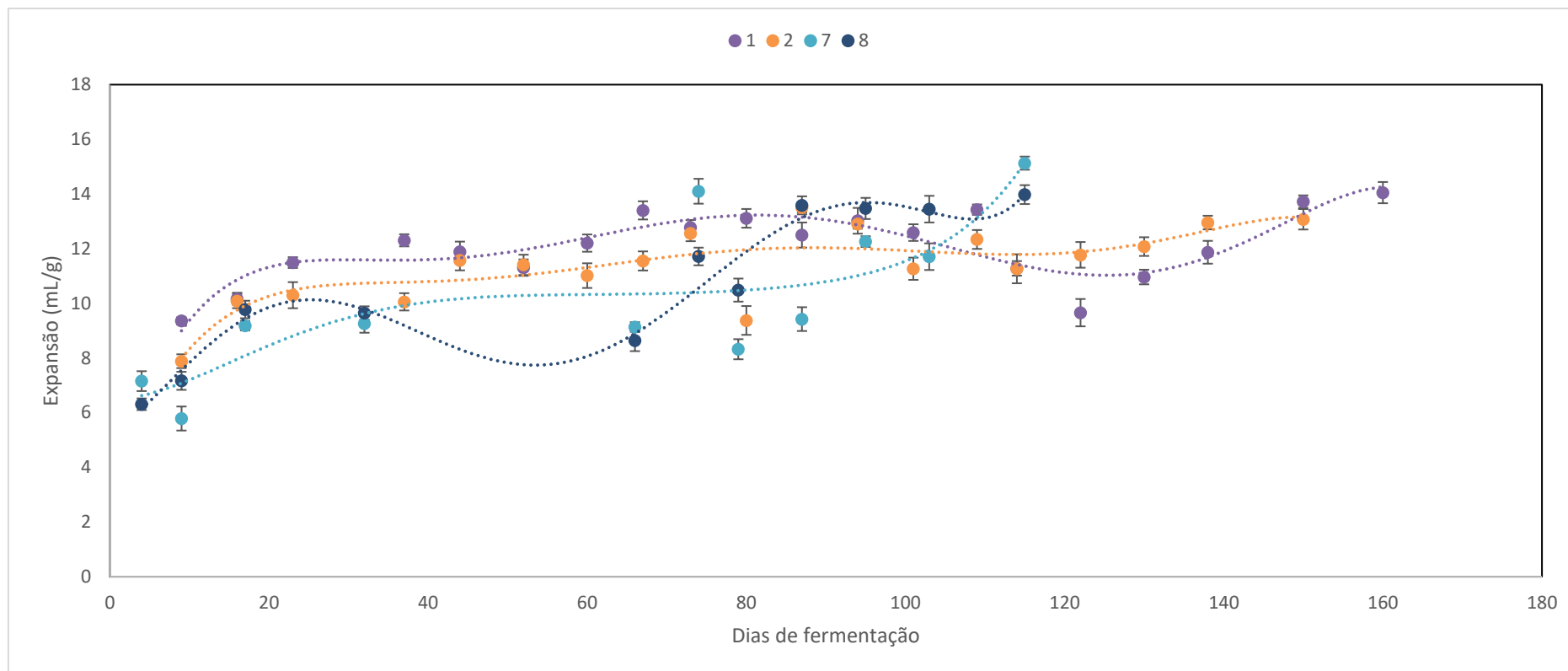
Os tanques que passaram pelo processo de centrifugação podem ter sua fermentação atrasada devido ao processo de wash-out, pois foi lavado o amido de tal forma que as culturas presentes na suspensão foram removidas, sobrando poucas células para iniciar o processo fermentativo e o maior tempo para atingir maiores expansões ao forno (SCHMIDELL; LIMA; BORZANI, 2003).

Figura 14 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, obtido do leite de amido não centrifugado, em diferentes tempos de fermentação



Fonte: Próprio autor

Figura 15 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, obtido do leite de amido centrifugado, em diferentes tempos de fermentação



Fonte: Próprio autor

5.4 Perfil de fermentação do Polvilho Azedo em tanques inoculados

Analisando os tanques que foram inoculados, percebe-se características desejadas nestes tanques, os dois tanques inoculados apresentaram maior média de expansão do polvilho ao forno, analisando em vários pontos: no estágio inicial da fermentação, e no final. Além disso, em 15 dias de fermentação as amostras analisadas já atingiram expansibilidade de 14 mL/g. A compilação desses dados, comparando-os com o processamento do Polvilho sem inóculo, nos dois métodos de tratamento do leite de amido, está presente no Figura 16.

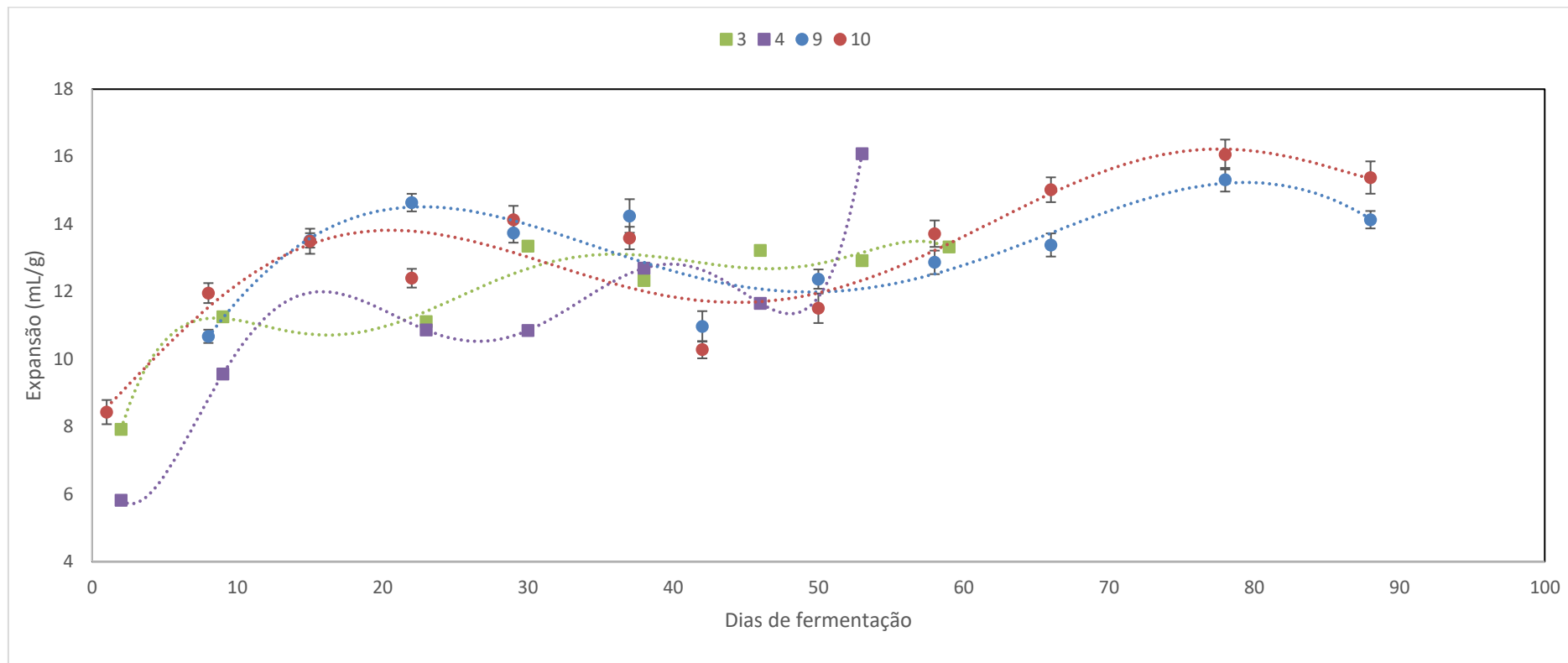
Figura 17 Características do processo fermentativo e das amostras de polvilho azedo avaliadas nas diferentes condições.

| Tipo de Processamento | Com centrifuga | Sem centrifuga | Com centrifuga |
|---|----------------|----------------|----------------|
| Presença de inóculo | Sem Inóculo | Sem Inóculo | Com Inóculo |
| Números de Tanques Analisados | 4 | 4 | 2 |
| Menor Índice de Expansão (mL), no início da fermentação | 5,79 | 5,82 | 8,43 |
| Média de Expansão (mL), no início da fermentação | 7,675 | 8,88 | 9,55 |
| Média de Expansão (mL), ao término da fermentação | 14,05 | 14,76 | 14,76 |
| Tempo médio de fermentação (dias) | 135 | 63,5 | 88 |
| Maior Índice de Expansão (mL) | 15,13 | 16,09 | 16,06 |
| Tempo para atingir maior valor de Expansão (dias) | 115 | 53 | 78 |

Fonte: Próprio autor

Por meio de uma linha de tendência polinomial foi visualizado os dados dos tanques de fermentação com inóculo, conforme a Figura 17, as curvas de expansão das amostras apresentaram oscilação dividida em dois períodos. Os períodos das oscilações dos tanques inoculados foram maiores assim como seus valores de expansão com a exceção de um ponto (IBM, 2008). Os tanques com a presença de inóculo atingiram valores superiores ao 14 mL/g em menor tempo do que o tanque 3 sem a presença de inóculo, este atingiu o marco de 16 mL/g em 53 dias. No decorrer da fermentação os tanques inóculos apresentaram maiores expansões do que os demais tanques. Por meio da análise desses parâmetros percebe-se que a adição do inóculo contribuiu com o capacidade de expansão do amido, pois a cultura de células já estava mais desenvolvida, conforme citado por PENIDO et al. (2018), a presença de inóculo, obtido por meio da fermentação do substrato, acelera e desenvolve características comercialmente desejáveis ao Polvilho Azedo.

Figura 18 Variação dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 4 e 11, com e sem a presença de inóculos, em diferentes tempos de fermentação



Fonte: Próprio autor

6. CONCLUSÕES

Os resultados contribuíram para um melhor entendimento do processo de produção do polvilho azedo, bem como para a avaliação dos parâmetros que interferem na sua qualidade. Por meio da caracterização do perfil de acidez titulável e expansão do amido ao forno foi possível concluir que a acidez titulável apresenta correlação direta com o tempo e o estágio da fermentação, uma vez que, a acidez é resultante da presença de ácido láctico resultante da fermentação láctica desenvolvida pelas diferentes espécies de bactérias lácticas naturalmente presentes no meio. Na caracterização da produção de polvilho azedo produzido e comercializado pela empresa Maxmil verificou-se que o polvilho obtido do leite de amido submetido a centrifugação, necessita de maior tempo de fermentação em relação ao leite de polvilho não centrifugado, que se deve ao efeito conhecido como “wash-out” que promove a lavagem das células, removendo parte das culturas de micro-organismos que atuam na fermentação.

O procedimento de inoculação do tanque de fermentação contribuiu para obtenção de polvilhos com maior índice de expansão ao forno e em menor tempo de fermentação, com características estabelecidas pelos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação vigente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AURÉLIO, Buarque de Holanda Ferreira. Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa. 2006, 2. ed.

AMAFIL. **Estrutura da Empresa**. Disponível em: <<http://www.amafil.com.br/institucional/estrutura/>>.

ANVISA. Resolução CNNPA nº 12, de 1978. **Anvisa**, p. 49–51, 1978. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78.pdf>.

BORZANI, W.; SCHMIDEL, W.; LIMA, U. de A.; AQUARONE, E. Amidos modificados. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I. M. (Ed.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. [s.l: s.n.].p. 246–333.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução nº 263 de Setembro de 2005 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, 3 set. 2005.

CAMARGO, C.; COLONNA, P.; BULEON, A.; MOLARD, D. R. Functional Properties of Sour Cassava (Manihot utilissima) Starch: Polvilho Azedo. **Journal of Science of Food and Agricultural**, n. n.45, p. 273–289, 1988.

CAMPOS, A. T.; DAGA, J.; RODRIGUES, E. E.; FRANZENER, G.; SUGUY, M. .; SYPPERRECK, V. I. G. Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização. p. 235-242, 2006.

CÁRDENAS, O. S.; BUCKLE, T. S. Sour Cassava Starch Production: A preliminary Study. **Journal of Food Science**, v. 45, p. 1509–1512, 1980.

CAVALLET, L. E.; FERREIRA, S. M. R.; LIMA, J. J. de; TULLIO, L. T.; QUADROS, D. A. De. Ocorrência do processo de fixação biológica de N₂ atmosférico na fermentação de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 522–526, 2006.

CEPEA. **Preços da Raiz de Mandioca**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/mandioca.aspx>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

CEREDA, M. P. Determinação da viscosidade em Fécula Fermentada de Mandioca (Polvilho Azedo). **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. v.17, n. n.1, p. 15–24, 1983.

CEREDA, M. P. Tecnologia e qualidade do polvilho azedo. **Informe agropecuário**, v. 13, n. 145, p. 63–68, 1987.

CEREDA, M. P.; NUNES, O. L. G. S. **Definição de parâmetros de fermentação e secagem para industrialização do polvilho azedo**. [s.l: s.n.].

CONAB. Estoques Públicos de Farinha e Fécula de Mandioca Produção Nacional. 2017.

DASHKO, S.; ZHOU, N.; COMPAGNO, C.; PIŠKUR, J. Why, when, and how did yeast evolve alcoholic fermentation? **FEMS Yeast Research**, v. 14, n. 6, p. 826–832, set. 2014. Disponível em: <<https://academic.oup.com/femsyr/article-lookup/doi/10.1111/1567-1364.12161>>.

DEMIATE, I. M.; BARANA, A. C.; CEREDA, M. P.; WOSIAKI, G. Organic acid profile of commercial sour cassava starch. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 19, n. February, p. 131–135, 1999.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945–954, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010384782009000300052&lng=pt&tlng=pt>.

DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; HELBIG, E. Oxidação dos amidos de mandioca e de milho comum fermentados: desenvolvimento da propriedade de expansão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 794–799, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612007000400019&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.

DINIZ, I.; PIROZI, M. **CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO POLVILHO AZEDO PRODUZIDO EM DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DE MINAS GERAIS**. 2006. Universidade Federal de Viçosa, 2006.

EMATER. **Festival de Pratos Típicos de Mandioca e Polvilho**. Disponível em: <http://www.emater.mg.gov.br/portal.cgi?flagweb=novosite_melhoracao_acoes_detalhes&id=50>. Acesso em: 26 ago. 2018.

EMBRAPA. **Mandioca**. 1^a ed. Brasília: Embrapa, 2006.

EMBRAPA. **Produtos da fécula de mandioca é tema do Prosa Rural**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2007/julho/foldernoticia.200%0A7-07-05.5605721790/noticia.2007-07-11.3772688973>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

FAUQUET, C.; FARGETTE, D.; MUNIHOR, C. African Cassava Mosaic Virus: Etiology, Epidemiology, and Control. **Plant Disease**, v. 74, n. 6, p. 404, 1990.

FELIPE, F. I.; ALVES, L.; CAMARGO, S. PANORAMA E PERSPECTIVAS PARA A INDÚSTRIA DE FÉCULA DE MANDIOCA NO BRASIL. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 6, p. 134–146, 2010.

GARIGLIO, H.; MATOS, A.; DIAS, É.; SEMAD; PEREIRA, M.; UFV, D. de E. da. **Avaliação dos Aspectos Ambientais do Cultivo e Industrialização da Mandioca no Estado de Minas Gerais**. [s.l: s.n.].

GARNEIRO, A. H.; CARDOSO, C. E. L.; BARROS, G. S. de C.; ANTIQUEIRA, T. R.; GUIMARAES, V. D. A. **A indústria do amido de mandioca**. [s.l: s.n.]

IBGE. Ibge. **Levantamento Sistemático Da Produção Agrícola**, v. 30, p. 115, 2017.

Disponível em: <<http://www.profigen.com.br/ler/1/355/306/fusarium>>.

IBGE. **Conceição dos Ouros – Dados IBGE**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/conceicao-dos-ouros/panorama>>.

IBM. **IBM Tivoli Monitoring**, 2008. Disponível em: <https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ptbr/SSDKXQ_6.3.0/com.ibm.itm.doc_6.2.3/com.ibm.kpa.monit.doc/c_at_linear_trending.htm>.

IFA. Properties Starch. **GESTIS - Substance Database**, p. 1–8, 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Método físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Secretária de Estado da Saúde, 2008.

KUCZMAN, O.; GOMES, S. D.; TAVARES, M. H. F.; TORRES, D. G. B.; ALCÂNTARA, M. S. Produção específica de biogás a partir de manipueira em reator de fase única. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 143–149, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000100014&lng=pt&tlng=pt>.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 1–9, 2000.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. **Microbiologia de Brock**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

MAEDA, K. C.; CEREDA, M. P. Avaliação de duas metodologias de expansão ao forno do polvilho azedo. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 21, n. 2, p. 139–143, 2001. MAUSA S.A EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS. **SEPARADORA CENTRÍFUGA MAUSA DVK6**. 2ed. ed. [s.l: s.n.]

MENDES DA SILVA, CLAUDIO ERNANI; FACANHA, SILVIA HELENA FERREIRA; GOMES DA SILVA, M. das G. Efeito do teor de água, amilose, amilopectina e grau de gelatinização no crescimento do biscoito de amido de mandioca obtido por fermentação natural. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. v. 18, n. n. 1, p. 60–62, 1997.

NIELSEN. **Biscoitos - Vendas**. Disponível em: <<https://abimapi.com.br/estatistica-biscoito.php>>. Acesso em: 26 set. 2018.

PENIDO, F. C. L.; PILÓ, F. B.; SANDES, S. H. de C.; NUNES, Á. C.; COLÉN, G.; OLIVEIRA, E. de S.; ROSA, C. A.; LACERDA, I. C. A. Selection of starter cultures for the production of sour cassava starch in a pilot-scale fermentation process. **Brazilian Journal of Microbiology**, p. 1–9, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.02.001>>.

PEREIRA, J.; CIACCO, C. F.; VILELA, E. R.; TEIXEIRA, A. L. de S. **Féculas fermentadas na fabricação de biscoitos: estudo de fontes alternativas**. n. 2 ed. [s.l: s.n.]

PHILIPPI, S. T. **Nutrição e técnica dietética**. 2. ed. [s.l: s.n.]

PLATA OVIEDO, M. S. V. **Efeito do tratamento ácido nas propriedades físico-químicas e funcionais do amido de mandioca**. 1991. Unicamp, 1991.

PRESCOTT, L. M.; HARLEY, J. P.; KLEIN, D. A. **Microbiology**. 6. ed. [s.l.] Online Learning Center, 2005.

RAO, D. G. **Introduction to Biochemical Engineering**. [s.l: s.n.]

REBOUÇAS, K. H. ESTUDOS DAS CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DURANTE A FERMENTAÇÃO DA MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz) VISANDO ÀS APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS. 2015.

SCHMIDELL, W.; LIMA, U. D. E. A.; BORZANI, W. **Biotechnologia Industrial**. 1. ed. [s.l.] Editora Edgard Blüncher LTDA, 2003. v. 2

SEBRAE. Como montar uma fábrica de biscoito de polvilho. p. 20, 2014.

SERGIPANO, A.; Et. al. Análisis de Varianza no paramétricos. **Revista Brasileira de Mandioca**, v. XXIX, n. 78, p. 30, 2008.

STANBURY, PETER F.; WHITAKER, ALLAN; HALL, S. J. **Principles of Fermentation Technology**. 2. ed. [s.l: s.n.]

Apêndice

Quadro 3 Questionário realizado na Polvilho Maxmil

| |
|--|
| <p>Questionário:</p> <p>Razão Social: _____.</p> <p>Nome Fantasia: _____.</p> <p>Cidade: _____ UF: _____.</p> <p>Onde se encontram matéria-prima é plantada? _____.</p> <p>Produção Própria? _____. Qual é a proporção? _____.</p> <p>Qual o tempo de plantio? _____. Qual o período da Safra? _____.</p> <p>A matéria-prima é analisada? Seguindo qual (is) parâmetro (s)? _____.</p> <p>Quanto métodos são realizados para o processamento do amido? _____.</p> <p>A fermentação ocorre em tanques: Abertos: _____. Fechados: _____.</p> <p>Por quanto tempo o amido fermenta: _____.</p> <p>Qual critério utiliza-se para determinar o término da fermentação? _____.</p> <p>Como é realizado a secagem do polvilho? _____. Qual é a duração da secagem? _____.</p> <p>Quais são as condições de trabalho, pelas quais os equipamentos são operados?</p> <p>_____.</p> <p>_____.</p> <p>Existe mais de um método operado na fábrica, para se obter Polvilho Azedo? Se sim, quais são as diferenças entre eles?</p> <p>_____.</p> <p>_____.</p> |
|--|

Fonte do autor

Tabela 1 Análise do tanque 1 com centrifugação do leite de amido

| Data | Tempo (Dias) | Amostras Expansão (ml/g) | | | | | | | Amostras Acidez Titulável (mLNaOH(1N)/100g) | | | | |
|------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|---|------|------|-------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média | Desvio Padrão | 1 | 2 | 3 | Média | Desvio Padrão |
| 11/06/2018 | 9 | 9,50 | 9,30 | 9,25 | 9,50 | 9,22 | 9,35 | 0,135765 | 0,95 | 0,9 | 0,9 | 3,11 | 0,098 |
| 18/06/2018 | 16 | 10,00 | 10,00 | 10,42 | 10,00 | 10,40 | 10,16 | 0,223731 | 1 | 1,1 | 1 | 3,51 | 0,196 |
| 25/06/2018 | 23 | 11,50 | 11,55 | 11,73 | 11,18 | 11,50 | 11,49 | 0,196561 | 1,1 | 1 | 1,1 | 3,62 | 0,196 |
| 09/07/2018 | 37 | 12,10 | 12,21 | 12,20 | 12,35 | 12,67 | 12,31 | 0,221952 | 1,2 | 1,25 | 1,3 | 4,24 | 0,170 |
| 16/07/2018 | 44 | 11,89 | 11,68 | 12,27 | 12,20 | 11,36 | 11,88 | 0,374757 | 1,1 | 1,1 | 1 | 3,62 | 0,196 |
| 24/07/2018 | 52 | 11,45 | 11,10 | 11,67 | 11,40 | 10,91 | 11,31 | 0,300398 | 1,2 | 1 | 1 | 3,62 | 0,392 |
| 01/08/2018 | 60 | 12,36 | 12,00 | 12,40 | 12,50 | 11,75 | 12,20 | 0,315927 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 3,96 | 0,196 |
| 08/08/2018 | 67 | 13,58 | 13,29 | 13,11 | 13,89 | 13,13 | 13,40 | 0,332759 | 1,35 | 1,3 | 1,3 | 4,47 | 0,098 |
| 14/08/2018 | 73 | 12,64 | 12,52 | 12,67 | 13,23 | 12,80 | 12,77 | 0,275396 | 1,25 | 1,3 | 1,3 | 4,35 | 0,098 |
| 21/08/2018 | 80 | 13,33 | 13,11 | 13,10 | 12,56 | 13,44 | 13,11 | 0,342503 | 1,35 | 1,35 | 1,4 | 4,64 | 0,098 |
| 28/08/2018 | 87 | 12,10 | 13,13 | 12,71 | 12,56 | 12,00 | 12,50 | 0,459908 | 1,3 | 1,3 | 1,35 | 4,47 | 0,098 |
| 04/09/2018 | 94 | 13,64 | 12,89 | 13,11 | 13,13 | 12,33 | 13,02 | 0,471149 | 1,2 | 1,3 | 1,25 | 4,24 | 0,170 |
| 11/09/2018 | 101 | 12,22 | 12,30 | 12,89 | 12,80 | 12,73 | 12,59 | 0,3048 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 4,07 | 0,000 |
| 19/09/2018 | 109 | 13,20 | 13,41 | 13,47 | 13,33 | 13,71 | 13,43 | 0,190556 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 3,96 | 0,196 |
| 24/09/2018 | 114 | 11,11 | 11,63 | 11,29 | 10,94 | 11,43 | 11,28 | 0,266665 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 3,73 | 0,000 |
| 02/10/2018 | 122 | 9,33 | 10,18 | 10,18 | 9,09 | 9,50 | 9,66 | 0,500184 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 3,84 | 0,196 |
| 10/10/2018 | 130 | 11,00 | 10,95 | 11,30 | 11,00 | 10,56 | 10,96 | 0,267104 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 3,73 | 0,000 |
| 18/10/2018 | 138 | 11,91 | 12,50 | 11,90 | 11,36 | 11,67 | 11,87 | 0,417449 | 1,2 | 1,2 | 1,25 | 4,13 | 0,098 |
| 30/10/2018 | 150 | 13,68 | 13,91 | 13,47 | 13,53 | 14,00 | 13,72 | 0,23045 | 1,5 | 1,4 | 1,45 | 4,92 | 0,170 |
| 09/11/2018 | 160 | 14,57 | 13,64 | 13,82 | 13,89 | 14,33 | 14,05 | 0,388251 | 1,6 | 1,65 | 1,6 | 5,48 | 0,098 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 2 Análise do tanque 2 com centrifugação do leite de amido

| Data | Tempo (Dias) | Amostras Expansão (ml/g) | | | | | | | Amostras Acidez Titulável (mLNaOH(1N)/100g) | | | | |
|------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|---|------|------|-------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média | Desvio Padrão | 1 | 2 | 3 | Média | Desvio Padrão |
| 11/06/2018 | 9 | 8,18 | 8,00 | 7,91 | 7,82 | 7,50 | 7,88 | 0,252375 | 0,75 | 0,7 | 0,75 | 2,49 | 0,098 |
| 18/06/2018 | 16 | 9,82 | 9,91 | 10,10 | 10,50 | 10,09 | 10,08 | 0,261302 | 0,8 | 0,9 | 0,85 | 2,88 | 0,170 |
| 25/06/2018 | 23 | 10,16 | 9,60 | 10,60 | 10,27 | 10,86 | 10,30 | 0,477161 | 0,9 | 0,9 | 1 | 3,17 | 0,196 |
| 09/07/2018 | 37 | 10,00 | 10,00 | 9,70 | 10,57 | 10,00 | 10,05 | 0,316937 | 1,1 | 1 | 1 | 3,51 | 0,196 |
| 16/07/2018 | 44 | 11,89 | 11,10 | 11,27 | 11,70 | 11,90 | 11,57 | 0,366311 | 1,15 | 1,2 | 1,2 | 4,01 | 0,098 |
| 24/07/2018 | 52 | 11,11 | 11,90 | 11,70 | 11,25 | 11,08 | 11,41 | 0,370825 | 1 | 1 | 1,1 | 3,51 | 0,196 |
| 01/08/2018 | 60 | 11,73 | 11,08 | 11,00 | 10,67 | 10,59 | 11,01 | 0,451573 | 1 | 0,9 | 0,9 | 3,17 | 0,196 |
| 08/08/2018 | 67 | 11,91 | 11,71 | 11,68 | 11,00 | 11,44 | 11,55 | 0,349138 | 1 | 1,1 | 1 | 3,51 | 0,196 |
| 14/08/2018 | 73 | 12,55 | 13,00 | 12,57 | 12,22 | 12,44 | 12,56 | 0,283432 | 1,3 | 1,3 | 1,25 | 4,35 | 0,098 |
| 21/08/2018 | 80 | 9,09 | 9,14 | 10,22 | 9,52 | 8,89 | 9,37 | 0,526978 | 1 | 1 | 1,1 | 3,51 | 0,196 |
| 28/08/2018 | 87 | 13,58 | 13,40 | 13,75 | 13,26 | 13,53 | 13,51 | 0,184573 | 1,3 | 1,3 | 1,25 | 4,35 | 0,098 |
| 04/09/2018 | 94 | 13,13 | 12,73 | 12,75 | 12,89 | 13,00 | 12,90 | 0,168128 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 4,24 | 0,000 |
| 11/09/2018 | 101 | 11,33 | 11,64 | 11,67 | 10,89 | 10,80 | 11,27 | 0,406694 | 1 | 1 | 1 | 3,39 | 0,000 |
| 19/09/2018 | 109 | 12,18 | 12,90 | 12,40 | 12,00 | 12,20 | 12,34 | 0,345455 | 1,2 | 1,25 | 1,3 | 4,24 | 0,170 |
| 24/09/2018 | 114 | 11,11 | 10,48 | 11,25 | 11,86 | 11,63 | 11,26 | 0,530649 | 1,1 | 1,1 | 1 | 3,62 | 0,196 |
| 02/10/2018 | 122 | 12,36 | 12,00 | 11,40 | 11,20 | 11,90 | 11,77 | 0,470098 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 3,84 | 0,196 |
| 10/10/2018 | 130 | 12,00 | 12,40 | 12,40 | 12,00 | 11,58 | 12,08 | 0,342259 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 4,41 | 0,000 |
| 18/10/2018 | 138 | 13,08 | 13,20 | 13,11 | 12,63 | 12,75 | 12,96 | 0,248742 | 1,25 | 1,3 | 1,3 | 4,35 | 0,098 |
| 30/10/2018 | 150 | 13,55 | 13,16 | 13,06 | 13,11 | 12,50 | 13,07 | 0,374296 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 4,75 | 0,000 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 3 Análise do tanque 3 sem centrifugação do leite de amido

| Data | Tempo (Dias) | Amostras Expansão (ml/g) | | | | | | | Amostras Acidez Titulável (mLNaOH(1N)/100g) | | | | |
|------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|---|------|------|-------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média | Desvio Padrão | 1 | 2 | 3 | Média | Desvio Padrão |
| 18/06/2018 | 2 | 7,90 | 7,82 | 7,82 | 8,24 | 7,83 | 7,92 | 0,18 | 0,80 | 0,80 | 0,85 | 2,77 | 0,098 |
| 25/06/2018 | 9 | 12,18 | 11,58 | 10,82 | 10,00 | 11,70 | 11,26 | 0,86 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 4,41 | 0,000 |
| 09/07/2018 | 23 | 11,55 | 11,30 | 10,76 | 10,73 | 11,22 | 11,11 | 0,36 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 4,41 | 0,000 |
| 16/07/2018 | 30 | 13,64 | 13,40 | 13,41 | 12,73 | 13,56 | 13,35 | 0,36 | 1,25 | 1,25 | 1,30 | 4,30 | 0,098 |
| 24/07/2018 | 38 | 12,86 | 11,22 | 12,86 | 12,50 | 12,22 | 12,33 | 0,68 | 1,10 | 1,05 | 1,05 | 3,62 | 0,098 |
| 01/08/2018 | 46 | 13,45 | 13,33 | 13,20 | 12,78 | 13,33 | 13,22 | 0,26 | 1,35 | 1,30 | 1,30 | 4,47 | 0,098 |
| 08/08/2018 | 53 | 13,14 | 12,70 | 13,26 | 12,74 | 12,75 | 12,92 | 0,26 | 1,60 | 1,50 | 1,50 | 5,20 | 0,196 |
| 14/08/2018 | 59 | 13,91 | 13,26 | 13,20 | 13,29 | 12,95 | 13,32 | 0,36 | 1,50 | 1,60 | 1,60 | 5,31 | 0,196 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 Análise do tanque 4 sem centrifugação do leite de amido

| Data | Tempo (Dias) | Amostras Expansão (ml/g) | | | | | | | Amostras Acidez Titulável (mLNaOH(1N)/100g) | | | | |
|------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|---|-----|------|-------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média | Desvio Padrão | 1 | 2 | 3 | Média | Desvio Padrão |
| 18/06/2018 | 2 | 7,22 | 5,38 | 6,00 | 5,38 | 5,09 | 5,82 | 0,852827 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 1,47 | 0,196 |
| 25/06/2018 | 9 | 9,77 | 9,38 | 8,73 | 9,91 | 10,00 | 9,56 | 0,521614 | 0,55 | 0,6 | 0,6 | 1,98 | 0,098 |
| 09/07/2018 | 23 | 11,11 | 10,00 | 10,00 | 11,25 | 11,94 | 10,86 | 0,847108 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 2,37 | 0,000 |
| 16/07/2018 | 30 | 10,71 | 10,71 | 10,83 | 11,50 | 10,50 | 10,85 | 0,381473 | 0,9 | 0,9 | 0,85 | 3,00 | 0,098 |
| 24/07/2018 | 38 | 13,33 | 13,33 | 11,91 | 12,50 | 12,40 | 12,70 | 0,624028 | 1,3 | 1,3 | 1,35 | 4,47 | 0,098 |
| 01/08/2018 | 46 | 12,13 | 12,12 | 11,78 | 11,06 | 11,20 | 11,66 | 0,503106 | 1,35 | 1,4 | 1,35 | 4,64 | 0,098 |
| 08/08/2018 | 53 | 16,30 | 16,30 | 15,63 | 16,20 | 16,00 | 16,09 | 0,284825 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 5,43 | 0,000 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 5 Análise do tanque 5 sem centrifugação do leite de amido

| Data | Tempo (Dias) | Amostras Expansão (ml/g) | | | | | | | Amostras Acidez Titulável (mLNaOH(1N)/100g) | | | | |
|------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|---|------|------|-------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média | Desvio Padrão | 1 | 2 | 3 | Média | Desvio Padrão |
| 26/06/2018 | 1 | 11,00 | 11,13 | 10,00 | 11,00 | 10,40 | 10,71 | 0,486078 | 1 | 1,1 | 1 | 3,51 | 0,196 |
| 09/07/2018 | 14 | 9,83 | 10,17 | 11,10 | 11,82 | 10,83 | 10,75 | 0,782785 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 3,84 | 0,196 |
| 16/07/2018 | 21 | 11,11 | 12,05 | 11,94 | 11,75 | 12,55 | 11,88 | 0,52057 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 4,75 | 0,000 |
| 24/07/2018 | 29 | 12,50 | 12,50 | 13,18 | 13,50 | 14,00 | 13,14 | 0,650016 | 1,45 | 1,4 | 1,4 | 4,81 | 0,098 |
| 03/08/2018 | 39 | 11,30 | 10,64 | 11,44 | 10,00 | 10,88 | 10,85 | 0,575461 | 1,2 | 1,2 | 1,25 | 4,13 | 0,098 |
| 08/08/2018 | 44 | 10,00 | 10,50 | 9,38 | 10,00 | 10,91 | 10,16 | 0,579679 | 1,25 | 1,25 | 1,2 | 4,18 | 0,098 |
| 14/08/2018 | 50 | 13,70 | 12,00 | 12,50 | 12,00 | 12,00 | 12,44 | 0,736885 | 1,3 | 1,35 | 1,4 | 4,58 | 0,170 |
| 21/08/2018 | 57 | 11,81 | 11,56 | 11,30 | 11,11 | 11,00 | 11,36 | 0,329904 | 1,4 | 1,4 | 1,35 | 4,69 | 0,098 |
| 28/08/2018 | 64 | 16,00 | 16,11 | 15,13 | 14,64 | 15,31 | 15,44 | 0,615405 | 1,6 | 1,65 | 1,65 | 5,54 | 0,098 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 6 Análise do tanque 6 com centrifugação do leite de amido

| Data | Tempo (Dias) | Amostras Expansão (ml/g) | | | | | | | Amostras Acidez Titulável (mLNaOH(1N)/100g) | | | | |
|------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|---|------|------|-------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média | Desvio Padrão | 1 | 2 | 3 | Média | Desvio Padrão |
| 26/06/2018 | 1 | 11,20 | 11,36 | 10,56 | 12,00 | 10,38 | 11,10 | 0,651478 | 0,8 | 0,75 | 0,8 | 2,66 | 0,098 |
| 09/07/2018 | 14 | 9,55 | 8,56 | 9,09 | 8,18 | 7,64 | 8,60 | 0,748382 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 2,83 | 0,196 |
| 16/07/2018 | 21 | 12,22 | 10,91 | 11,73 | 12,50 | 12,50 | 11,97 | 0,672653 | 1,1 | 1 | 1 | 3,51 | 0,196 |
| 24/07/2018 | 29 | 15,00 | 13,09 | 13,33 | 14,10 | 13,89 | 13,88 | 0,745713 | 1,2 | 1,25 | 1,3 | 4,24 | 0,170 |
| 03/08/2018 | 39 | 11,22 | 12,62 | 11,42 | 11,11 | 12,33 | 11,74 | 0,688439 | 1,2 | 1,2 | 1,25 | 4,13 | 0,098 |
| 08/08/2018 | 44 | 9,18 | 10,63 | 9,67 | 9,17 | 9,43 | 9,61 | 0,601283 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 3,73 | 0,000 |
| 14/08/2018 | 50 | 11,67 | 12,78 | 12,40 | 12,80 | 11,11 | 12,15 | 0,74027 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 4,41 | 0,000 |
| 21/08/2018 | 57 | 11,20 | 11,09 | 11,09 | 11,75 | 11,43 | 11,31 | 0,280953 | 1,2 | 1,25 | 1,25 | 4,18 | 0,098 |
| 28/08/2018 | 64 | 13,70 | 13,75 | 13,75 | 14,00 | 13,13 | 13,67 | 0,323844 | 1,4 | 1,35 | 1,4 | 4,69 | 0,098 |
| 04/09/2018 | 71 | 12,80 | 12,00 | 11,50 | 12,14 | 12,50 | 12,19 | 0,495634 | 1,5 | 1,45 | 1,4 | 4,92 | 0,170 |
| 11/09/2018 | 78 | 14,36 | 14,63 | 14,27 | 14,00 | 13,75 | 14,20 | 0,33733 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 5,31 | 0,196 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 7 Análise do tanque 7 com centrifugação do leite de amido

| Data | Tempo (Dias) | Amostras Expansão (ml/g) | | | | | | | Amostras Acidez Titulável (mLNaOH(1N)/100g) | | | | |
|------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|---|------|-----|-------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média | Desvio Padrão | 1 | 2 | 3 | Média | Desvio Padrão |
| 11/07/2018 | 4 | 7,18 | 7,27 | 6,54 | 7,50 | 7,27 | 7,15 | 0,363169 | 0,75 | 0,8 | 0,7 | 2,54 | 0,170 |
| 16/07/2018 | 9 | 6,54 | 5,45 | 5,80 | 5,60 | 5,54 | 5,79 | 0,439354 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 2,37 | 0,000 |
| 24/07/2018 | 17 | 9,42 | 9,09 | 9,09 | 9,30 | 9,00 | 9,18 | 0,172253 | 0,85 | 0,85 | 0,9 | 2,94 | 0,098 |
| 08/08/2018 | 32 | 9,70 | 9,00 | 9,22 | 8,89 | 9,50 | 9,26 | 0,338351 | 0,9 | 1 | 1 | 3,28 | 0,196 |
| 11/09/2018 | 66 | 9,10 | 9,20 | 9,10 | 9,38 | 8,89 | 9,13 | 0,17665 | 1 | 1 | 1 | 3,39 | 0,000 |
| 19/09/2018 | 74 | 13,64 | 14,29 | 14,80 | 13,89 | 13,89 | 14,10 | 0,455133 | 1,2 | 1,25 | 1,3 | 4,24 | 0,170 |
| 24/09/2018 | 79 | 8,13 | 8,91 | 8,00 | 8,44 | 8,13 | 8,32 | 0,367751 | 1 | 1 | 1 | 3,39 | 0,000 |
| 02/10/2018 | 87 | 9,18 | 9,92 | 9,83 | 9,27 | 8,91 | 9,42 | 0,435146 | 1 | 1,1 | 1 | 3,51 | 0,196 |
| 10/10/2018 | 95 | 12,57 | 12,30 | 12,10 | 12,10 | 12,22 | 12,26 | 0,195408 | 1,25 | 1,3 | 1,3 | 4,35 | 0,098 |
| 18/10/2018 | 103 | 12,00 | 11,48 | 12,00 | 10,95 | 12,10 | 11,71 | 0,486805 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 4,18 | 0,196 |
| 30/10/2018 | 115 | 15,27 | 15,10 | 14,82 | 15,44 | 15,00 | 15,13 | 0,240288 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 5,31 | 0,196 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 8 Análise do tanque 8 com centrifugação do leite de amido

| Data | Tempo (Dias) | Amostras Expansão (ml/g) | | | | | | | Amostras Acidez Titulável (mLNaOH(1N)/100g) | | | | |
|------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|---|------|------|-------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média | Desvio Padrão | 1 | 2 | 3 | Média | Desvio Padrão |
| 11/07/2018 | 4 | 6,55 | 6,30 | 6,46 | 6,00 | 6,23 | 6,31 | 0,212632 | 0,6 | 0,55 | 0,5 | 1,87 | 0,170 |
| 16/07/2018 | 9 | 7,27 | 7,60 | 6,77 | 7,27 | 6,91 | 7,16 | 0,329605 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 2,54 | 0,170 |
| 24/07/2018 | 17 | 9,82 | 10,00 | 10,11 | 9,65 | 9,29 | 9,77 | 0,321354 | 0,8 | 0,75 | 0,8 | 2,66 | 0,098 |
| 08/08/2018 | 32 | 9,44 | 9,70 | 9,70 | 10,00 | 9,40 | 9,65 | 0,24096 | 1 | 0,9 | 0,9 | 3,17 | 0,196 |
| 11/09/2018 | 66 | 9,09 | 8,44 | 8,42 | 9,00 | 8,22 | 8,64 | 0,38521 | 0,9 | 0,9 | 1 | 3,17 | 0,196 |
| 19/09/2018 | 74 | 12,00 | 12,10 | 11,33 | 11,56 | 11,58 | 11,71 | 0,323667 | 1 | 1,1 | 1,1 | 3,62 | 0,196 |
| 24/09/2018 | 79 | 10,55 | 10,90 | 10,10 | 10,00 | 10,88 | 10,48 | 0,42173 | 1 | 1,1 | 1 | 3,51 | 0,196 |
| 02/10/2018 | 87 | 13,33 | 13,26 | 14,10 | 13,60 | 13,63 | 13,58 | 0,32938 | 1,3 | 1,35 | 1,4 | 4,58 | 0,170 |
| 10/10/2018 | 95 | 13,20 | 14,00 | 13,56 | 13,60 | 13,00 | 13,47 | 0,386948 | 1,35 | 1,4 | 1,35 | 4,64 | 0,098 |
| 18/10/2018 | 103 | 13,26 | 13,47 | 13,05 | 13,17 | 14,27 | 13,45 | 0,487453 | 1,4 | 1,3 | 1,35 | 4,58 | 0,170 |
| 30/10/2018 | 115 | 14,22 | 14,40 | 14,00 | 13,67 | 13,60 | 13,98 | 0,345697 | 1,45 | 1,5 | 1,5 | 5,03 | 0,098 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 9 Análise do tanque 9 com centrifugação do leite de amido e presença do inóculo durante a fermentação

| Data | Tempo (Dias) | Amostras Expansão (ml/g) | | | | | | | Amostras Acidez Titulável (mLNaOH(1N)/100g) | | | | |
|------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|---|------|------|-------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média | Desvio Padrão | 1 | 2 | 3 | Média | Desvio Padrão |
| 21/08/2018 | 8,0 | 10,75 | 10,96 | 10,69 | 10,52 | 10,46 | 10,68 | 0,196 | 0,80 | 0,80 | 0,85 | 2,77 | 0,098 |
| 28/08/2018 | 15,0 | 13,33 | 13,75 | 13,75 | 13,43 | 13,33 | 13,52 | 0,214 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 4,07 | 0,000 |
| 04/09/2018 | 22,0 | 14,44 | 14,40 | 14,53 | 15,00 | 14,82 | 14,64 | 0,261 | 1,20 | 1,30 | 1,30 | 4,30 | 0,196 |
| 11/09/2018 | 29,0 | 14,00 | 13,82 | 13,25 | 13,75 | 13,88 | 13,74 | 0,289 | 1,25 | 1,25 | 1,30 | 4,30 | 0,098 |
| 19/09/2018 | 37,0 | 14,58 | 14,67 | 14,30 | 14,25 | 13,41 | 14,24 | 0,497 | 1,10 | 1,05 | 1,05 | 3,62 | 0,098 |
| 24/09/2018 | 42,0 | 10,73 | 11,18 | 10,57 | 10,71 | 11,67 | 10,97 | 0,452 | 1,35 | 1,30 | 1,30 | 4,47 | 0,098 |
| 02/10/2018 | 50,0 | 12,88 | 12,27 | 12,29 | 12,21 | 12,21 | 12,37 | 0,286 | 1,60 | 1,50 | 1,50 | 5,20 | 0,196 |
| 10/10/2018 | 58,0 | 13,17 | 13,11 | 13,05 | 12,64 | 12,36 | 12,87 | 0,349 | 1,50 | 1,60 | 1,60 | 5,31 | 0,196 |
| 18/10/2018 | 66,0 | 13,18 | 13,50 | 13,90 | 13,33 | 13,00 | 13,38 | 0,343 | 1,60 | 1,65 | 1,60 | 5,48 | 0,098 |
| 30/10/2018 | 78,0 | 15,90 | 15,11 | 15,27 | 15,29 | 15,00 | 15,32 | 0,350 | 1,60 | 1,65 | 1,65 | 5,54 | 0,098 |
| 09/11/2018 | 88,0 | 14,40 | 14,22 | 14,00 | 13,75 | 14,29 | 14,13 | 0,258 | 1,75 | 1,80 | 1,80 | 6,05 | 0,098 |

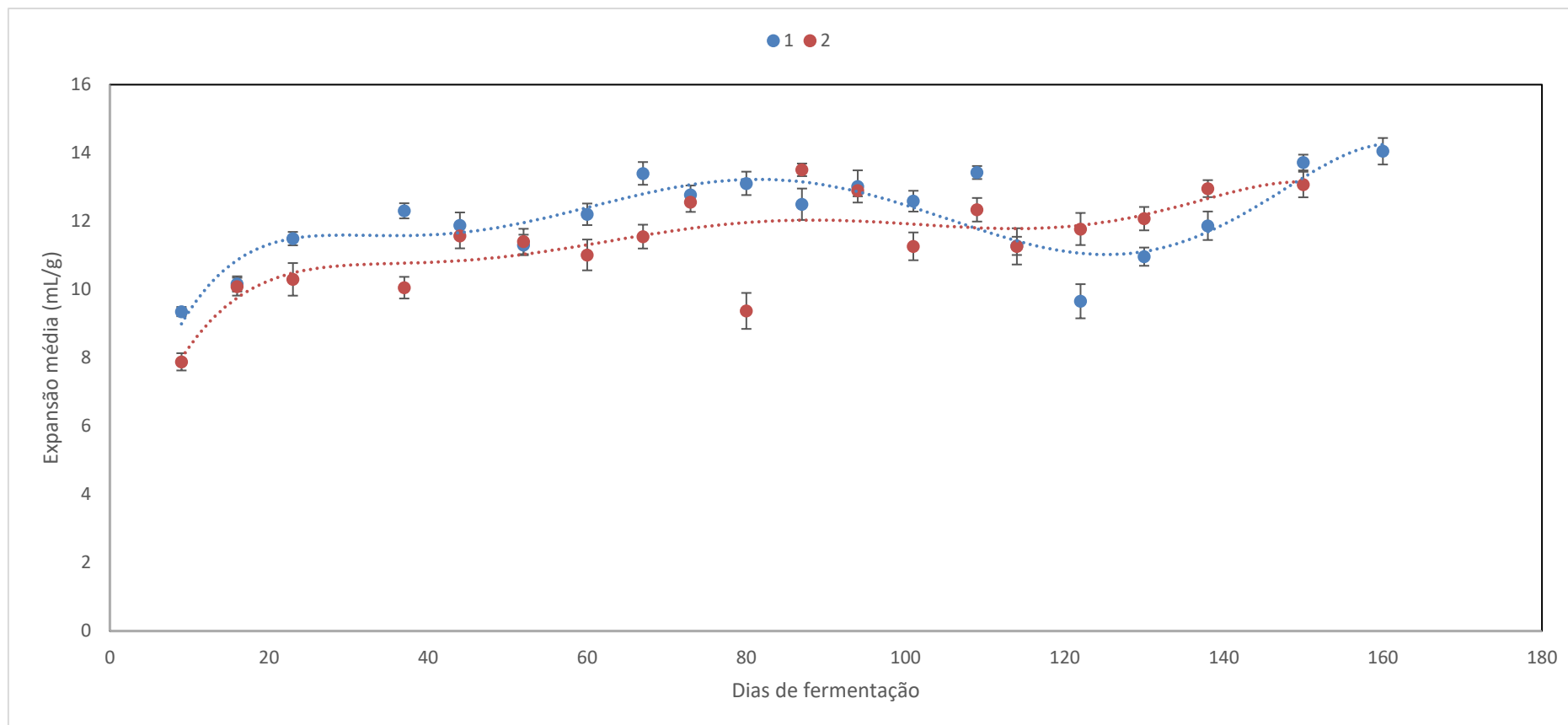
Fonte: Próprio autor

Tabela 10 Análise do tanque 10 com centrifugação do leite de amido e a presença de inóculo durante a fermentação

| Data | Tempo (Dias) | Amostras Expansão (ml/g) | | | | | | | Amostras Acidez Titulável (mLNaOH(1N)/100g) | | | | |
|------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|---|------|------|-------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média | Desvio Padrão | 1 | 2 | 3 | Média | Desvio Padrão |
| 14/08/2018 | 1 | 8,00 | 8,42 | 8,64 | 8,91 | 8,19 | 8,43 | 0,358665 | 0,9 | 0,9 | 0,95 | 3,11 | 0,098 |
| 21/08/2018 | 8 | 12,10 | 12,33 | 11,80 | 11,56 | 12,00 | 11,96 | 0,295689 | 1 | 0,95 | 0,95 | 3,28 | 0,098 |
| 28/08/2018 | 15 | 13,00 | 13,57 | 13,30 | 14,00 | 13,60 | 13,49 | 0,37216 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 3,73 | 0,000 |
| 04/09/2018 | 22 | 12,00 | 12,75 | 12,31 | 12,40 | 12,53 | 12,40 | 0,277841 | 1 | 1 | 0,95 | 3,34 | 0,098 |
| 11/09/2018 | 29 | 13,80 | 14,17 | 14,71 | 13,67 | 14,29 | 14,13 | 0,415483 | 1,5 | 1,55 | 1,55 | 5,20 | 0,098 |
| 19/09/2018 | 37 | 14,00 | 13,89 | 13,29 | 13,33 | 13,43 | 13,59 | 0,333721 | 1,35 | 1,3 | 1,3 | 4,47 | 0,098 |
| 24/09/2018 | 42 | 10,00 | 10,00 | 10,45 | 10,50 | 10,44 | 10,28 | 0,256275 | 1,35 | 1,35 | 1,3 | 4,52 | 0,098 |
| 02/10/2018 | 50 | 11,30 | 12,10 | 11,00 | 11,33 | 11,81 | 11,51 | 0,438064 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 4,58 | 0,000 |
| 10/10/2018 | 58 | 14,00 | 14,10 | 13,70 | 13,09 | 13,70 | 13,72 | 0,392339 | 1,4 | 1,4 | 1,35 | 4,69 | 0,098 |
| 18/10/2018 | 66 | 15,58 | 14,80 | 15,05 | 14,60 | 15,07 | 15,02 | 0,367581 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 5,43 | 0,000 |
| 30/10/2018 | 78 | 16,17 | 16,44 | 16,29 | 15,30 | 16,11 | 16,06 | 0,442928 | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 5,54 | 0,196 |
| 09/11/2018 | 88 | 15,50 | 15,44 | 16,00 | 15,29 | 14,67 | 15,38 | 0,479366 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 5,43 | 0,000 |

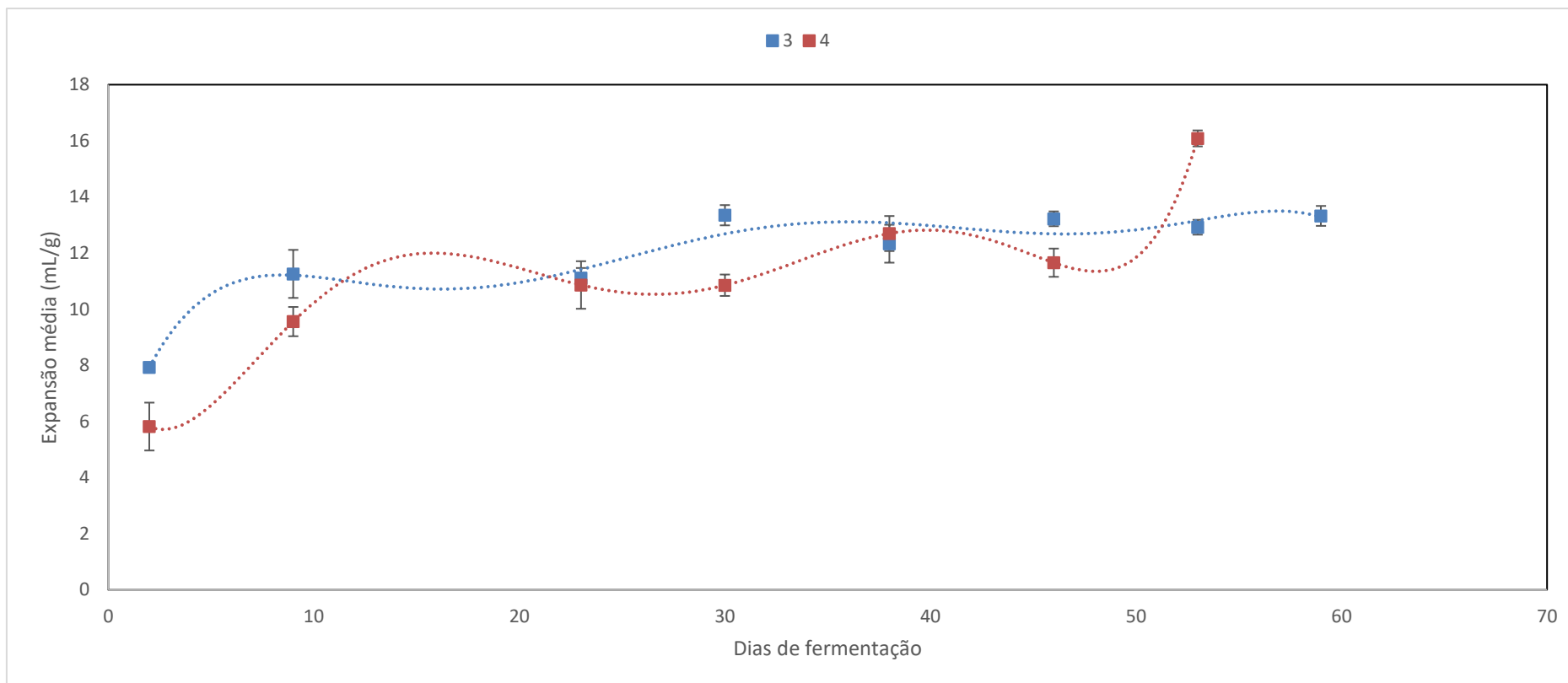
Fonte: Próprio autor

Figura 19 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 1 e 2, obtido do leite de amido centrifugado, em diferentes tempos de fermentação



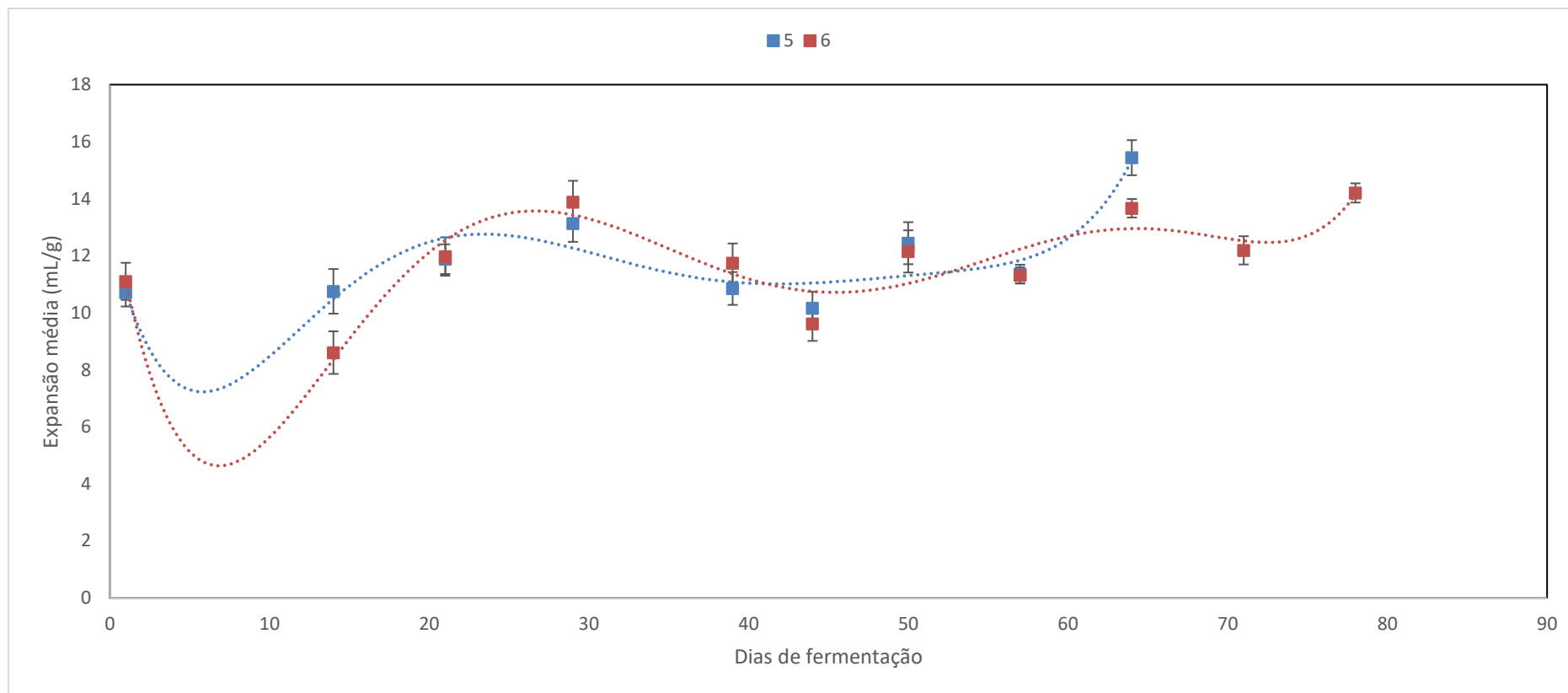
Fonte: Próprio autor

Figura 20 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 4 e 11, obtido do leite de amido não centrifugado, e em diferentes tempos de fermentação



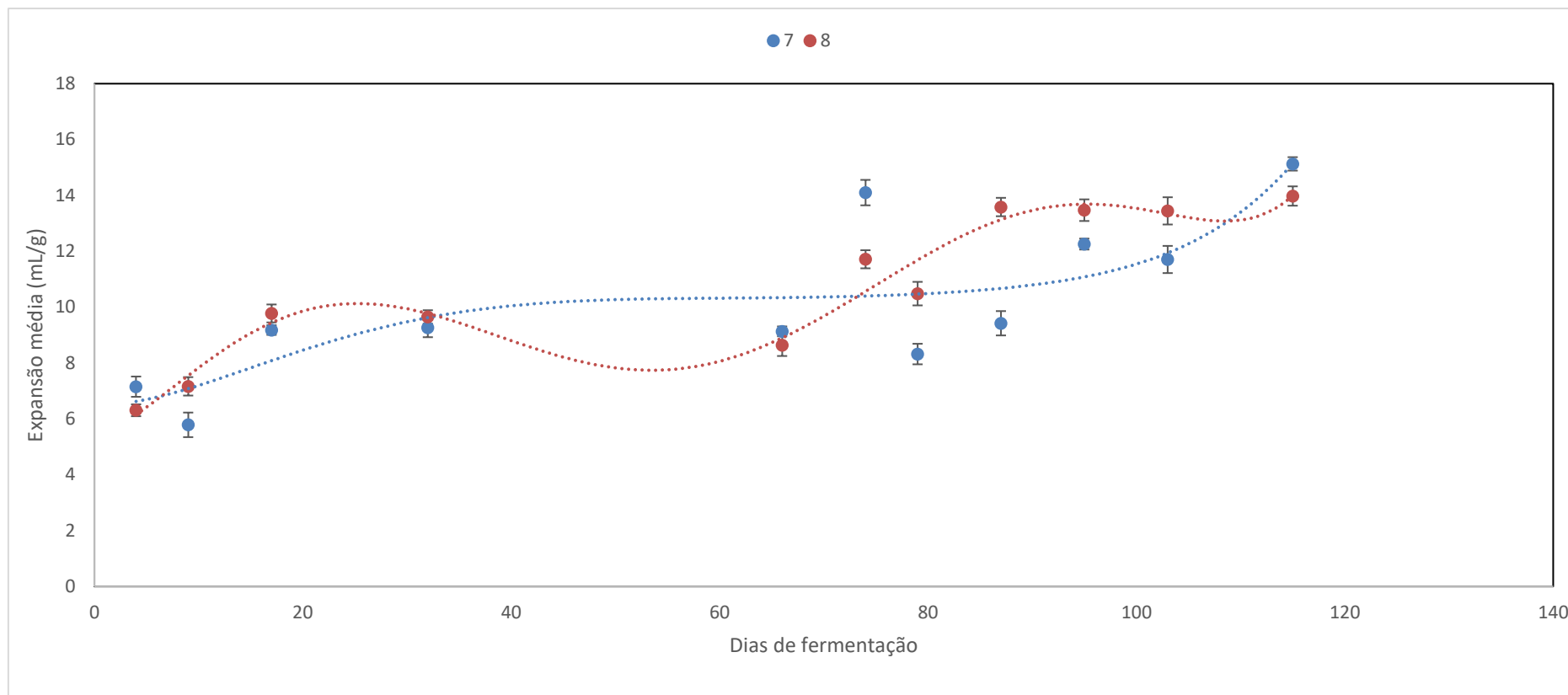
Fonte: Próprio autor

Figura 21 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 5 e 6, obtido do leite de amido não centrifugado, em diferentes tempos de fermentação



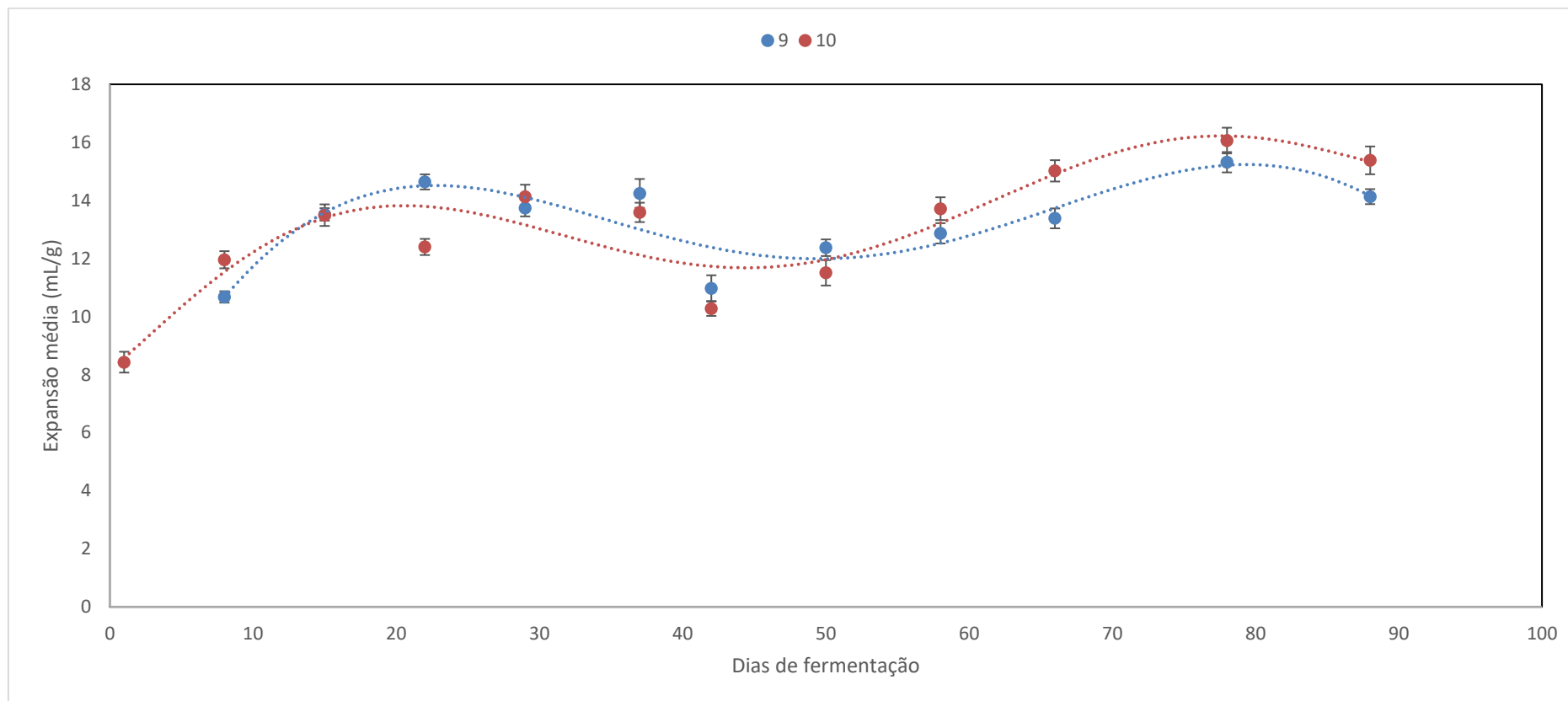
Fonte: Próprio autor

Figura 22 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 7 e 8, obtido do leite de amido centrifugado, em diferentes tempos de fermentação



Fonte: Próprio autor

Figura 23 Perfil dos valores de expansão do polvilho azedo, fermentado nos tanques 9 e 10, obtido do leite de amido centrifugado, com a presença de inóculo, em diferentes tempos de fermentação



Fonte: Próprio autor