

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS

AMANDA ALICE DUARTE LEITE SÁ

**PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO EM PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE  
RECURSOS APLICADO AO PROCESSO PRODUTIVO DA CACHAÇA**

MARIANA - MG

2022

**AMANDA ALICE DUARTE LEITE SÁ**

**PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO EM PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE  
RECURSOS APLICADO AO PROCESSO PRODUTIVO DA CACHAÇA**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao curso de Graduação em Administração do Departamento de Ciências Administrativas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Administração.

Orientadora: Profa. Dra. Clarisse da Silva Vieira  
Camelo de Souza

Mariana - MG

2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S111p Sá, Amanda Alice Duarte Leite.  
Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos Aplicado ao Processo Produtivo da Cachaça. [manuscrito] / Amanda Alice Duarte Leite Sá. - 2022.  
31 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Clarisse da Silva Vieira.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Instituto de Ciências Sociais Aplicadas. Graduação em Administração .

1. Cachaça. 2. Controle de produção. 3. Finanças. 4. Pequenas e médias empresas. 5. Projetos de desenvolvimento industrial. 6. Sistemas de controle digital. 7. Solução de problemas. I. Vieira, Clarisse da Silva. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 338.4

Bibliotecário(a) Responsável: Essevalter De Sousa-Bibliotecário Coordenador  
CBICSA/SISBIN/UFOP-CRB6a1407



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,  
ADMINISTRAÇÃO E ECON



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Amanda Alice Duarte Leite Sá**

**Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos Aplicado ao Processo Produtivo da Cachaça**

Monografia apresentada ao Curso de Administração da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Administrador

Aprovada em 20 de Novembro de 2022.

Membros da banca

[Doutora] - Clarisse da Silva Vieira Camêlo de Souza - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Doutora] - Simone Aparecida Simões Rocha - (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Mestranda] - Itaiane de Paula - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Clarisse da Silva Vieira Camêlo de Souza, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 13/12/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Clarisse da Silva Vieira Camelo de Souza, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/12/2022, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0424631** e o código CRC **6531A43F**.

**Referência:** Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.015252/2022-44

SEI nº 0424631

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163  
Telefone: 3135591540 - [www.ufop.br](http://www.ufop.br)

## RESUMO

A cachaça é a bebida mais consumida entre os destilados no mercado brasileiro. Apesar dessa grande participação, observa-se que são poucos os produtores de cachaça que desfrutam desse mercado, uma vez que a maioria são micro e pequenas empresas. Além do mercado nacional, existe ainda o mercado internacional, que cada vez mais se interessa pela bebida brasileira. Sendo assim, vemos que existe um mercado para os pequenos produtores, porém é necessário que eles se capacitem e desenvolvam um planejamento mais eficiente do processo. Nesse intuito, o presente trabalho analisa o processo produtivo de uma empresa que produz a cachaça artesanal. O método aplicado foi o estudo de caso, que teve como objetivo, através do Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR), o aperfeiçoamento do processo de produção dessa fábrica de cachaça artesanal no estado de Minas Gerais. O problema foi tratado como estudo de caso e os dados obtidos foram implementados computacionalmente no GLPK (GNU Linear Programming Kit). Sendo assim, será apresentada uma ferramenta de tomada de decisão para tornar o processo produtivo mais eficiente.

**Palavras-chave:** Cachaça, problema, sequenciamento, recurso.

## ABSTRACT

Cachaça is the most consumed beverage among spirits in the Brazilian market. Despite this large share, it is observed that few cachaça producers enjoy this market, since most are micro and small companies. In addition to the national market, there is also the international market, which is increasingly interested in the Brazilian beverage. Therefore, we see that there is a market for small producers, but it is necessary that they train and develop a more efficient planning of the process. In this sense, the present work analyzes the production process of a company that produces artisanal cachaça. The method applied was the case study, which aimed, through the Sequencing Problem in Projects with Restricted Resources (PSPRR), to improve the production process of this artisanal cachaça factory in the state of Minas Gerais. The problem was treated as a case study and the data obtained were computationally implemented in the GLPK (GNU Linear Programming Kit). Therefore, a decision-making tool will be presented to make the production process more efficient.

**Keywords:** Cachaça, problem, sequencing, resource.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção cachaça industrial.....	15
Figura 2: Produção cachaça artesanal.....	15
Figura 3: Processo produtivo da cachaça.....	20
Figura 4: Grafo do processo produtivo da cachaça artesanal envelhecida.....	25
Figura 5: Diagrama de Gantt.....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução das vendas (em milhares de litros) <sup>1</sup> da indústria de bebidas alcoólicas do Brasil: 2016-2020.....	11
Tabela 2: Diferenças entre a cachaça industrial e cachaça artesanal.....	16
Tabela 3: Características das atividades necessárias no processo de produção da cachaça artesanal.....	24
Tabela 4: Início e duração das atividades.....	25

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Registros de Estabelecimentos Produtores de Cachaça por UF.....	9
Gráfico 2: Participação da cachaça entre as bebidas destiladas no Brasil (2011).....	10

## LISTA DE SIGLAS

BNB – Banco do Nordeste

COOCACHAÇA - Cooperativa de Produção e Promoção da Cachaça de Minas

ETENE - Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste

GLPK - GNU Linear Programming Kit

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAC - Instituto Brasileiro da Cachaça

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDIC - Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior

MPL - Mathematical Programming Language

PSPRR - Projeto com Restrição de Recursos

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Sigma$  Somatório

$\forall$  Para todo

$\in$  Pertence

$=$  Igual

$+$  Adição

$-$  Subtração

$\geq$  Maior ou igual

$\leq$  Menor ou igual

$\cup$  União

$\mathbb{N}$  Números naturais

$\{s\}$  Conjunto  $s$

$\{t\}$  Conjunto  $t$

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>12</b>
1.1.1 Objetivos Geral.....	12
1.1.2 Objetivos Específicos.....	13
<b>1.2 Justificativa.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Metodologia.....</b>	<b>13</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 A Cachaça Industrial.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 A Cachaça Artesanal.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Diferenças entre a cachaça industrial e a cachaça artesanal.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Processo produtivo da cachaça artesanal.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR).....</b>	<b>21</b>
<b>3. ESTUDO DE CASO: PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO EM PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE RECURSOS APLICADO AO PROCESSO PRODUTIVO DA CACHAÇA ARTESANAL.....</b>	<b>23</b>
<b>4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>27</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>

## 1. INTRODUÇÃO

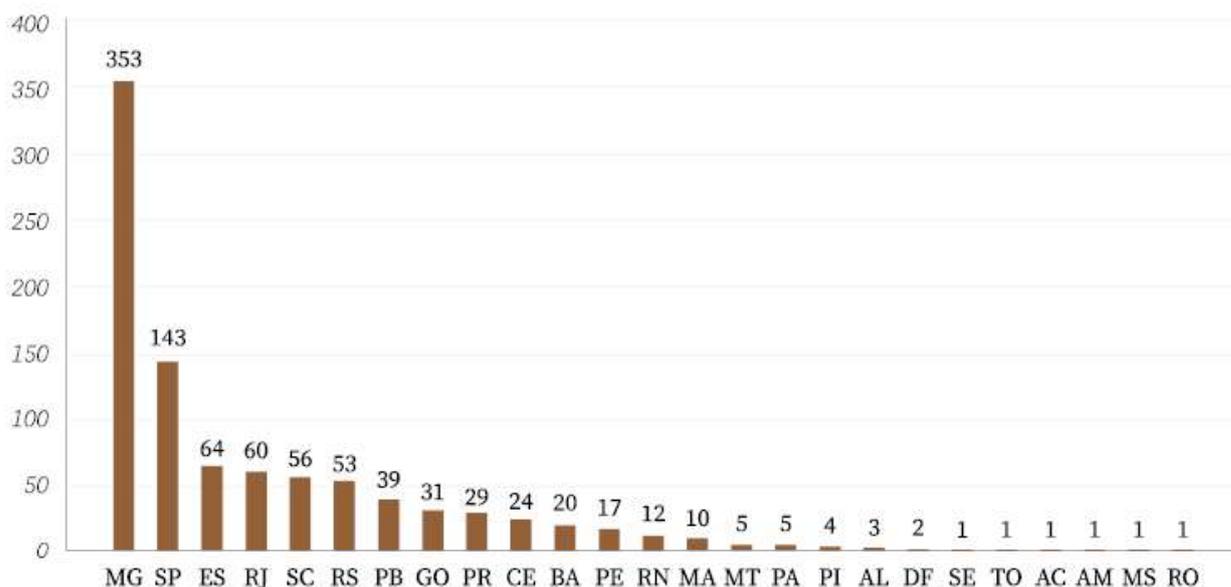
A palavra cachaça teve seu uso difundido entre os anos de 1600 e 1700 para nomear a aguardente de cana. Isso faz com que sua história seja bastante atrelada com a do Brasil. Apesar das primeiras mudas de cana de açúcar terem chegado entre 1502 e 1504, a cachaça teve surgimento no ano de 1532 em São Vicente. Pois, somente nas capitanias de São Vicente e Pernambuco que ocorreram os primeiros registros das instalações dos engenhos de açúcar (SILVA, 2006).

Ainda não há consenso em relação ao início da produção da cachaça. São apresentadas duas versões por Silva (2006). Uma defende que a produção da cachaça ocorreu devido ao costume dos portugueses em tomar a bagaceira e, por isso, começaram a improvisar a produção de uma bebida a partir da substância residual do caldo de cana. A outra versão conta que o surgimento foi através do experimento de um escravizado, que tomou o caldo que era jogado para os animais, a “cagaça”. O gado bebia esse caldo fermentado frequentemente e, como havia o conhecimento do processo de destilação da bagaceira, a “cagaça” passou a ser utilizada, dando origem à cachaça.

Apesar de ser uma bebida com uma história antiga, tendo seu início junto com a história do Brasil, somente em 2005 que houve a criação de um decreto definindo a cachaça. De acordo com a legislação, somente pode ser chamada de cachaça, a aguardente de cana produzida em território brasileiro, com graduação alcoólica, necessariamente, de 38 a 48% em volume a 20°C, obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana de açúcar e podendo ter adição de até 6g/l de açúcares (BRASIL, 2016). Esse reconhecimento da cachaça faz com que os controles de produção sejam mais rígidos, o que favorece o aumento da qualidade, identificação e procedência, aumentando ainda mais a confiança no produto.

De acordo com o levantamento realizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) no ano de 2021, os estados com mais produtores de cachaça registrados são: Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Santa Catarina. Pode-se perceber que a região Sudeste possui a maior quantidade de estabelecimentos registrados (66,2% do total), seguido pelo Sul com 14,7% e em terceiro lugar o Nordeste, com 13,9% dos produtores registrados.

Gráfico 1: Registros de Estabelecimentos Produtores de Cachaça por UF

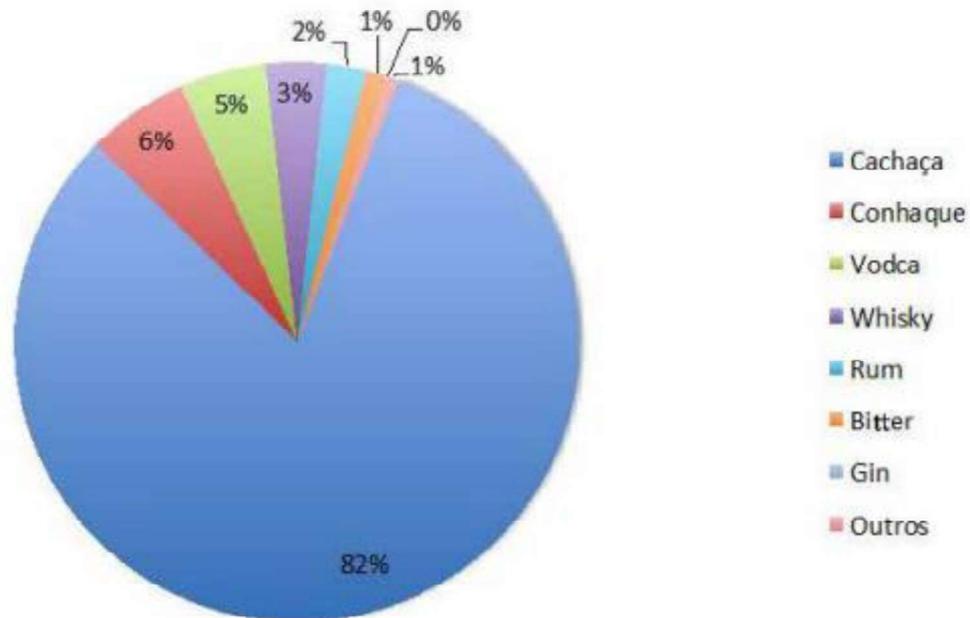


Fonte: BRASIL (2021)

Pesquisa realizada por Coutinho (XXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2003), relata que a cachaça era consumida em abundância no mercado interno, principalmente pelas classes C e D, e em menor quantidade nas classes A e B. Atualmente, a cachaça vem se sofisticando, sendo valorizada no exterior e conquistando o paladar dos brasileiros (SEBRAE, 2022). Dessa forma, nos últimos anos, foram realizadas ações importantes buscando a sua valorização, o reconhecimento de que a cachaça é um produto exclusivamente brasileiro é uma delas. Além disso, a propagação do conhecimento de que a bebida pode ser bem versátil, compondo coquetéis e diversas oportunidades de harmonização com comidas. Assim, cada vez mais aparecem pessoas à procura de um produto de qualidade e a cachaça mostra que tem todo o potencial para isso.

No mercado de bebidas alcoólicas do Brasil, a cachaça é a segunda bebida mais consumida, ficando somente atrás da cerveja. Ou seja, entre as bebidas destiladas, ela representa 82% do setor, segundo dados do SEBRAE (2012).

Gráfico 2: Participação da cachaça entre as bebidas destiladas no Brasil



Fonte: SEBRAE (2012)

De acordo com estimativas realizadas pelo Instituto Brasileiro da Cachaça (IBRAC), a capacidade de produção instalada no Brasil corresponde aproximadamente a 1,2 bilhão de litros. Conforme informações da Cooperativa de Produção e Promoção da Cachaça de Minas (COOCACHAÇA), a relação da cachaça industrial e a artesanal era de 2,33:1, no ano de 2008, ou seja, 70% do que era produzido era cachaça industrial, apenas 30% artesanal (SEBRAE, 2012).

Em relação à exportação do produto, em 2011, de acordo com o Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior (MDIC), o valor chega a 9,9 milhões de litros, o que não representa nem um por cento da capacidade de produção do país. Com o reconhecimento da cachaça como produto tipicamente brasileiro, há a oportunidade de se explorar mais o mercado externo, posicionando a cachaça como um produto desejado, reforçando os valores do país e criando ainda mais os hábitos de consumo de coquetéis feitos com a bebida (SEBRAE, 2012). Com esses dados podemos ver que a cachaça ainda não é explorada de acordo com seu potencial.

No período da pandemia o mercado de bebidas alcóolicas sofreu grande impacto. Segundo pesquisa realizada pela CNN Brasil em novembro de 2020, mostra que no setor de

bebidas alcoólicas, ocorreu um aumento de 960%, de março a outubro de 2020, e de 195%, em relação ao mesmo período do ano de 2019. Na tabela a seguir, Viana (2022) mostra o impacto no mercado de bebidas:

Tabela 1: Evolução das vendas (em milhares de litros)<sup>1</sup> da indústria de bebidas alcoólicas do Brasil: 2016-2020

CLASSE CNAE	2017	2018	2019	2020	2021
Fabricação de aguardentes e outras bebidas destiladas	1.158.026	1.354.743	2.157.922	2.164.396	2.157.903
Fabricação de vinho	554.578	544.951	645.355	647.291	645.349
Fabricação de cerveja e chopes	11.024.918	11.832.207	13.220.538	13.260.200	13.220.419
<b>Total</b>	<b>12.737.522</b>	<b>13.731.901</b>	<b>16.023.815</b>	<b>16.071.887</b>	<b>16.023.671</b>

Fonte: Viana (2022)

Esse aumento, que ocorreu de 2019 para 2020, se deu, principalmente, pelo fato dos consumidores de baixa renda terem migrado as suas compras para marcas de menor valor neste período, além de terem reduzido o consumo de muitos tipos de produtos (VIANA, 2022). Apoiado a isso, pesquisa feita por Mattos (2021), mostra que o consumidor teve que se adaptar para o consumo dentro de casa. Com isso, o gim ganhou espaço por sua variedade e o whisky também aumentou sua participação, por fugir do seu nicho e conquistar novos consumidores (3E's: experiência, experimentação e "em casa"). Ao contrário dos destilados citados, a vodka perdeu espaço, devido a perda de razão de consumo, e a cachaça teve aumento devido ao aspecto cultural e sua força no on-trade.

Em pesquisa divulgada pelo site Devotos da Cachaça, no primeiro bimestre de 2020, 34,4% dos consumidores levaram bebida para casa. No mesmo período, do ano de 2021, ocorreu um aumento de 14,2%, passando para 48,6%. Além disso, a pesquisa divulgou dados em relação à quantidade de unidades de produtos comprados, passando de 2,2, no primeiro trimestre de 2020, contra 2,7, do mesmo período no ano de 2021. Não somente a quantidade, o tíquete médio também aumentou, passando de R\$17,04, no final de 2020, para R\$21,17, no final de 2021. Ou seja, o consumidor tem buscado produtos de maior valor agregado para obter uma experiência melhor, dentro do seu lar.

<sup>1</sup> A produção de malte é medida em toneladas e, portanto, foi desconsiderada do total da respectiva classe (1113-5).

Outra reportagem divulgada pelo Devotos, em agosto de 2022, mostra que a cachaça avançou, porém, não recuperou o nível de pré-pandemia. De acordo com Fernandes (2022), em 2019, a Euromonitor divulgou uma pesquisa realizada, mostrando que as vendas de cachaça chegaram a 523 milhões de litros. Entretanto, em 2020, ocorreu um decréscimo de 23%, levando o fechamento a 398 milhões. Por outro lado, observou-se um aumento das vendas no ano de 2021. A consultoria calculou um volume de vendas de 469 milhões de litros. Ocorreu o crescimento, mas não atingiu o patamar dos 500 milhões que era o padrão da década passada – o que era de se esperar, tendo em vista a queda expressiva no rendimento médio do brasileiro no ano passado (6,9%, segundo o IBGE).

Mencionando a pesquisa realizada pelo Mattos (2021), o público brasileiro cada vez mais faz o consumo de bebidas alcoólicas dentro de casa, apostando no seu relaxamento. Como a cachaça teve seu aumento devido a força nos bares, restaurantes, casas noturnas, hotéis, é necessário pensar estratégias para atender as demandas desse mercado que vem crescendo.

Tendo em vista que a grande maioria dos produtores de cachaça são micro e pequenas empresas, para que consigam crescer e desfrutar desse mercado que tem ficado cada vez mais competitivo, se mostra necessária a implantação de estratégias para que minimizem suas desvantagens competitivas em relação aos demais. Dessa forma, é preciso que esses produtores tenham estratégias voltadas para a melhoria da eficiência operacional, promovendo a otimização do tempo de processamento e, possivelmente, melhorando a capacidade produtiva e reduzindo seus custos, o que possibilita a obtenção de bons resultados.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivos Geral**

O presente trabalho tem como objetivo o estudo do processo de produção da fábrica de cachaça artesanal Mineiriana, presente no estado de Minas Gerais. Com isso, será realizada uma análise desse processo a fim de tornar o planejamento mais eficiente controlando as datas de início de cada atividade e determinando a duração de tempo total da produção da cachaça artesanal.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Mapear todo o processo de produção da cachaça artesanal;
- ✓ Apresentar o modelo matemático para o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR);
- ✓ Aplicar o método de resolução computacionalmente utilizando a linguagem Mathematical Programming Language (MPL) e o otimizador GNU Linear Programming Kit (GLPK) para resolver o problema estudado;
- ✓ Analisar o resultado e propor melhorias.

## 1.2 Justificativa

De acordo com Slack et al. (2002), o planejamento da produção é o processo encarregado por tomar decisões sobre como os recursos serão configurados e utilizados da melhor maneira, assegurando assim, o aumento da produtividade. Uma vez que a grande maioria dos produtores de cachaça são micro e pequenas empresas, se mostra necessária a implantação de estratégias que minimizem suas desvantagens competitivas em relação aos grandes produtores. Dessa forma, é preciso implementar estratégias voltadas para a melhoria da eficiência operacional, promovendo a otimização do tempo de processamento. É com esse intuito que este trabalho pretende estudar uma fábrica de produção artesanal de cachaça, localizada em Ipoema, distrito de Itabira, Minas Gerais.

## 1.3 Metodologia

Nessa monografia será apresentada uma análise de um estudo de caso. De acordo com Yin (2011) e Stake (2009), o estudo de caso é caracterizado como uma abordagem metodológica, que possibilita uma análise aperfeiçoada de um fenômeno, situação ou problema. Em outras palavras, Yin (2001), fala que o estudo de caso responde às questões de investigação “porquê” e “como”, colaborando para o entendimento dos fenômenos, com uma análise individualizada do contexto.

Para obtenção dos dados levou-se em conta a observação do processo produtivo na fábrica da cachaça Mineiriana, localizada no distrito de Ipoema, na cidade de Itabira, Minas Gerais. Além disso, foram consideradas as conversas informais com os funcionários da empresa e pesquisas realizadas sobre o processo produtivo da cachaça, durante o período de março de 2021 a outubro de 2022.

Com os dados coletados foi utilizada a modelagem matemática para o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR), para representar o processo em questão. Posteriormente, haverá a resolução, adquirida computacionalmente utilizando a linguagem Mathematical Programming Language (MPL) e o otimizador GNU Linear Programming Kit (GLPK), que é um pacote de software destinado a resolver problemas de programação linear (Manual, 2013). A partir da solução encontrada, serão feitas comparações ao processo que é implementado atualmente. E, por fim, serão propostas melhorias, tornando o processo mais eficiente.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A Cachaça Industrial**

A primeira é produzida através da destilação em coluna contínua, conforme mostra a Figura 1. Usualmente produzida em grandes quantidades por empresas de grande porte, por exemplo, a cachaça Ypióca, Pitú e Velho Barreiro. São cachaças que possuem padronização e controle, porém perdem na complexidade sensorial (SEBRAE, 2019). Nesse processo, as colunas de destilação, apresentam várias caldeiras superpostas, chamadas pratos ou bandejas. Esses pratos, de acordo com Silva (2006), atuam cada um como uma unidade de destilação. Eles recebem continuamente o vinho da cana, que é aquecido para que ocorra a produção de vapores alcoólicos, seguido da sua refrigeração, que então são condensados em aguardente.

Figura 1: Produção cachaça industrial



Fonte: Companhia Muller de Bebidas (Cachaça 51)

## 2.2 A Cachaça Artesanal

A cachaça artesanal é produzida em pequenas quantidades por pequenos produtores, através da destilação em alambiques de cobre, como pode ser observado na Figura 2. A destilação descontínua facilita a separação dos elementos da destilação: Cabeça, Coração e Cauda.

Figura 2: Produção cachaça artesanal



Fonte: H Weber & Cia Ltda (Cachaça Weber Haus)

Conforme Silva (2006), a cachaça obtida no início do processo de destilação é a cachaça de cabeça, ele que tem as substâncias mais voláteis do que o etanol e outras menos voláteis

também. Ela atinge a graduação alcoólica entre 65 e 70°GL. Já a cachaça de coração, é obtida na segunda fase do processo, ela é a “cachaça”, onde tem sua qualidade elevada e ao atingir 38°GL, a retirada é interrompida. A cachaça de cauda é a que apresenta o maior teor de substâncias menos voláteis e indesejáveis e é atingida na última parte do processo de destilação.

### 2.3 Diferenças entre a cachaça industrial e a cachaça artesanal

Para falar sobre o processo produtivo da cachaça é importante ressaltar a diferença entre a cachaça industrial e a cachaça artesanal.

Aldeídos, cetonas, ésteres e álcoois são componentes presentes em toda cachaça. Porém, a quantidade proporcional desses elementos é que configura a qualidade da cachaça. É importante ressaltar que, as cachaças que causam ressaca, dor de cabeça e mau hálito, são as que possuem frações de cabeça e cauda. A presença de metanol, da fração cabeça, pode causar até cegueira com o tempo (SILVA, 2006).

A destilação por bateladas em alambiques de cobre, permite somente a utilização do Coração para a realização da cachaça, diferente da cachaça produzida em coluna contínua. A separação faz com que o produto apresente menos compostos que afetam negativamente a experiência sensorial do consumidor, tornando uma cachaça de mais qualidade, mais complexa em sabores, aromas e visual.

A seguir, será apresentado um quadro comparativo contendo as diferenças entre o processo produtivo da cachaça industrial e da cachaça artesanal:

Tabela 2: Diferenças entre a cachaça industrial e cachaça artesanal

CACHAÇA INDUSTRIAL	CACHAÇA ARTESANAL
Destilação contínua	Destilação descontínua (o que permite a separação dos elementos da destilação)
Colunas de destilação	Alambique de cobre
Não tem complexidade sensorial	Complexidade em sabor, aroma e visual
Padronização e controle	Padronização e controle
Produção grande	Produção pequena
Empresas de grande porte	Pequenos produtores
Tendência maior de causar resaca, dor de cabeça e mau hálito	Probabilidade menor de apresentar um produto de baixa qualidade

Fonte: Elaboração própria (2022)

## 2.4 Processo produtivo da cachaça artesanal

O processo produtivo da cachaça artesanal é composto basicamente pelas seguintes etapas: plantio da cana, maturação, colheita da cana, moagem, filtragem, preparo do mosto, fermentação, destilação, armazenamento, envelhecimento, engarrafamento e distribuição.

Na primeira etapa de produção da cachaça, é realizado o plantio da cana, sendo feita a análise do solo. A partir daí, a adubação é realizada de acordo com as necessidades percebidas. Além disso, é escolhido o tipo de cana a ser utilizado. Após isso, há a espera da maturação e, assim, depois é realizada a colheita da cana de açúcar, podendo ser feita mecânica ou manualmente. Sua programação deve ser cumprida de acordo com a capacidade produtiva do alambique, uma vez que para a produção, é necessário que a cana se apresente madura e limpa e o processo de moagem seja realizado em até 24 horas depois do corte, para que não ocorra o azedamento da cana de açúcar. O que interfere diretamente na quantidade que será produzida e na qualidade do produto.

O processo de moagem consiste na extração do caldo da cana, é a etapa que dita o rendimento da produção. Nesta parte do processo, são utilizadas moendas compostas por cilindros e rolos que realizam a extração. Durante a realização da etapa de separação do caldo e do bagaço (que é utilizado nas fomalhas do alambique), é essencial que a pessoa tenha cuidado para que não ocorra a contaminação do caldo pela graxa de lubrificação do equipamento.

Após a moagem é realizada a filtragem do caldo, visto que no processo de limpeza e moagem ainda podem ficar algumas impurezas que devem ser retiradas do caldo, tais como, bagaços e terra. Mesmo ocorrendo a etapa de filtragem, ainda é possível que fique algum contaminante no caldo. Por isso, existe a etapa de preparo do mosto, que consiste na decantação do caldo e permite a retenção das impurezas menores, que não foram retidas na etapa anterior.

Após a decantação, é necessário avaliar o teor de açúcar. Para que a fermentação ideal ocorra, a concentração de açúcar deve estar em torno de 14 brix. Se o teor de açúcar estiver abaixo de 14 brix, a fermentação será mais rápida. Porém, o rendimento da produção será menor. Se estiver maior que 14 brix, é preciso que o caldo seja diluído com água de boa qualidade para garantir a estabilidade do processo ou a fermentação pode ser interrompida antes que todo açúcar seja consumido. Isso porque a partir de um nível de concentração de etanol, ele impede a ação das leveduras que podem ocasionar a interrupção antecipada do processo. Ou seja, haverá um desperdício da matéria-prima, além de provocar incrustações no alambique,

formando furfural, um composto que pode deixar gostos e aromas ruins para a cachaça (SILVA, 2006).

Ainda de acordo com Silva (2006), outra coisa importante a ser analisada é o pH do mosto. Para que ocorra um bom desenvolvimento e atividade das leveduras, é preciso que o pH esteja entre 4,0 e 5,0. Normalmente, o caldo da cana fica em 5,0 e 6,0. Por isso, há a necessidade de reduzi-lo com aumento de acidez ou adicionando ácidos fixos. Após todos esses processos de preparação, esse caldo tem o nome de mosto.

A sétima fase do processo é a fermentação, que deve ocorrer após o preparo do mosto. Feito isso, o mosto é levado para a sala de fermentação que deve ser devidamente arejada, onde ocorrerá o processo de transformação do açúcar em álcool, realizado pelas leveduras. Esse processo deve durar aproximadamente 24 horas, sendo sempre acompanhado com atenção, buscando controlar a temperatura do ambiente, analisar o cheiro do processo, o aspecto da espuma que é gerada, o pH e a acidez. De acordo com SEBRAE (1999), quando há a diminuição das bolhas nas dornas de fermentação, as leveduras diminuirão o ritmo das atividades, ou seja, o teor de sacarose está chegando a zero. Ao concluir a fermentação é passado para a próxima etapa: a destilação.

Para adequar o nível de graduação alcoólica, o vinho da cana é passado pelo processo de destilação. Esse processo consiste na separação de substâncias pelo ponto de ebulição, sejam elas sólidas, líquidas ou gasosas, ou seja, no processo de produção da cachaça, é na destilação que ocorre o processo final de separação do álcool e dos outros componentes presentes, o destilado e o vinhoto. Durante essa etapa, o destilado é separado em três frações: Cabeça, Coração e Cauda. Sobre esse processo Chaves, J.; Fernandes, A.; SILVA, C. (2003, p. 18) afirmam que:

O álcool (etanol) ferve a 78,3°C. Assim, durante a destilação no alambique, em sistema descontínuo, obtêm-se três produtos relativamente distintos:

- cabeça: constituída pelos primeiros produtos destilados, caracteriza-se pelo alto teor de componentes de menor ponto de ebulição do que o álcool. Para se obter uma aguardente de qualidade, essa primeira fração (cerca de 10% do volume total de destilado) deve ser separada.
- coração: os produtos de coração são os que contêm a menor quantidade de impurezas voláteis, como ácidos, álcoois superiores, furfural e outros, constituindo-se na melhor fração (aguardente) - cerca de 80% do volume total - do destilado.
- cauda: os produtos da cauda são constituídos de "água fraca", na qual a quantidade de álcool é pequena em relação à de água. Nessa fração, que corresponde a cerca de 10% do volume destilado, encontram-se pouco álcool (etanol), muita água e substâncias, cujo ponto de ebulição é maior do que o do álcool (etanol) e o da água, conhecidos como óleo de fúsel. Acredita-se que as substâncias que formam este óleo

sejam responsáveis pela "ressaca" e dor de cabeça que ocorrem, algumas horas após, se ingerir uma aguardente de baixa qualidade.

O cobre do alambique funciona como um reator químico, que favorece a criação de componentes voláteis da cachaça. Além disso, ajuda na formação de aromas e buquês (JERÔNIMO; SILVA, 2005).

Seguido do processo de destilação, temos o processo de armazenamento, que se caracteriza pela transferência da bebida para as dornas de inox, que não alteram as características da cachaça, servindo somente para o “descanso” da bebida, uma vez que ao sair da destilação, ela está bastante ácida e agressiva. Assim que é enviada para o armazenamento, é tirada uma amostra para a realização da análise físico-química do produto. Com isso, a pessoa, responsável técnica da produção, poderá fazer uma análise e dizer se há necessidade de realizar alguma alteração no processo e, se precisar, quais medidas serão tomadas.

Para melhorar a qualidade do produto e, assim, agregar mais valor, a cachaça passa pelo envelhecimento. De acordo com Jerônimo e Silva (2005), o envelhecimento em barris de madeira reduz a graduação alcoólica, incrementa o teor de ésteres e alguns produtos secundários da madeira, além de melhorar as propriedades sensoriais.

A cachaça é o único destilado que pode ir em vários tipos de madeira, entre elas, o carvalho, jequitibá, amburana, amendoim, bálsamo, castanheira, ipê e jatobá. Cada uma com uma característica, podendo deixar a cachaça mais ou menos suave, adocicada e aromatizada, levando em consideração o tempo de envelhecimento.

Conforme a legislação, uma cachaça pode ser denominada envelhecida se possuir, no mínimo, 50% de cachaça envelhecida em tonéis de madeira, de capacidade máxima de 700 litros, por pelo menos um ano. Poderá ser classificada como Premium a cachaça que possuir 100% do seu produto envelhecido, por no mínimo um ano. Já as bebidas envelhecidas por três anos ou mais serão caracterizadas como Extra Premium.

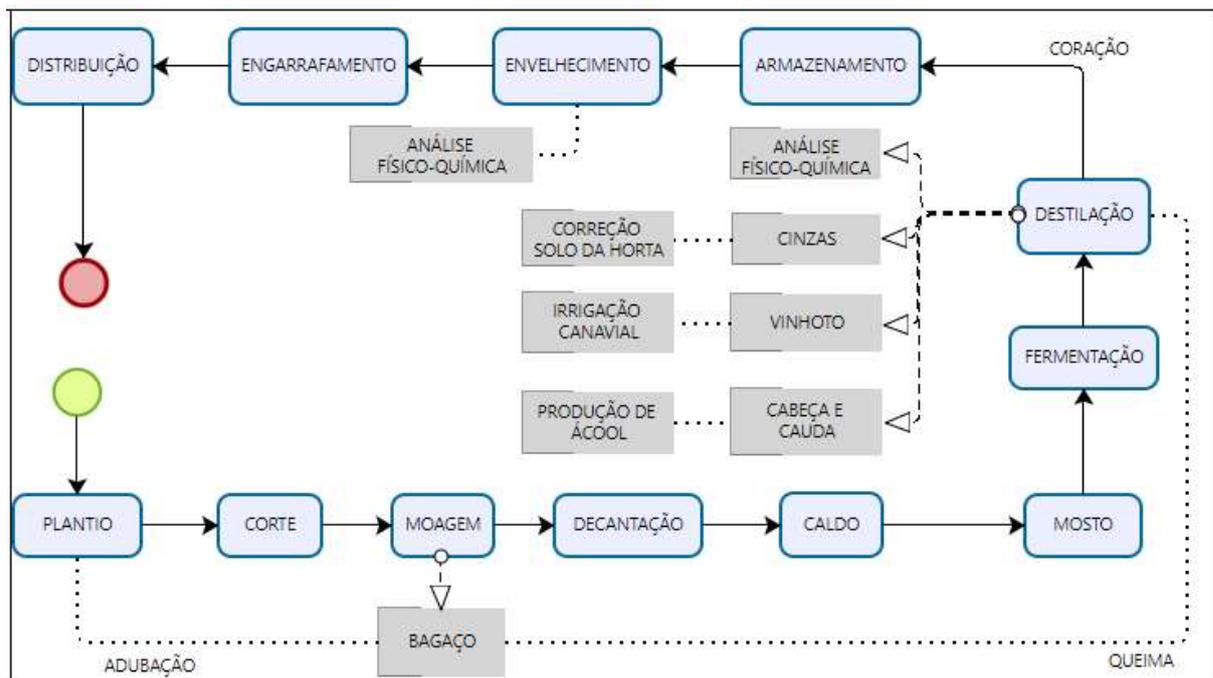
Ao realizar todos esses processos produtivos, por fim, os master blenders poderão fazer a blendagem das cachaças. Analisando a cachaça de cada barril, para que consiga fazer o produto que poderá, finalmente, ser envasado, rotulado e comercializado, isso se apresenta o registro do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o registro na Receita Federal.

Após a realização do blend, a responsável técnica exige a realização de uma nova análise físico-química da cachaça, para saber se o produto está nos padrões impostos.

É relevante ressaltar que todo resíduo gerado no processo produtivo da cachaça, na maioria dos alambiques, são utilizados no próprio local de produção. O bagaço, após a secagem, pode ser utilizado na caldeira ou no alambique para geração de energia, além de ser utilizado também como adubo. As cinzas geradas na queima são utilizadas para a correção de solo ou até fabricação de sabão para utilização nos sítios. O vinhoto gerado na destilação pode ser diluído e utilizado na irrigação do canavial ou até mesmo para alimentação de bovinos. As frações de Cabeça e Cauda são redestiladas para a produção de álcool, utilizado como combustível de carros e para a assepsia dos equipamentos e instalações da própria indústria.

A seguir, a Figura 3, apresenta o fluxograma do processo produtivo da cachaça.

Figura 3: Processo produtivo da cachaça



Fonte: Elaboração própria (2022)

## 2.5 Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR)

O Problema de Sequenciamento em Projeto com Restrição de Recursos (PSPRR) teve seu surgimento no final do século 50, de acordo com Morillo et al. (2014). Este tipo de problema, segundo Ichihara (2002) tem sua relevância, porque leva em consideração a escassez de recursos que tem se intensificado na indústria onde os preços são crescentes e o objetivo é aumentar a produção e gastar menos insumos. Além disso, segundo Yang et al. (2001), o problema tem como principal objetivo a minimização da duração do projeto levando em consideração algumas restrições importantes associadas ao sequenciamento das atividades e a alocação dos recursos utilizados.

Segundo Brucker et al. (1998), o PSPRR é constituído, genericamente, por um conjunto de atividades,  $V = (1, 2, \dots, n)$ , e um conjunto de recursos renováveis,  $R = (1, \dots, m)$ . Cada atividade  $i$  do projeto necessita de uma quantidade constante do recurso ( $r_{ik}$ ) para ser executada. A atividade  $i$  é executada sem ser interrompida em ( $p_i$ ) unidades de tempo. Cada tipo de recurso está disponível em uma quantidade constante de unidades ( $R_k$ ). Os valores de  $R_k$ ,  $r_{ik}$  e  $p_i$  são maiores ou iguais a zero. Algumas relações de precedência entre as atividades são definidas a priori. O objetivo é definir e minimizar a duração total do projeto ( $C_{\max}$ ):

- determinando a data de início para cada atividade do projeto ( $S_i$ );
- alocando os recursos de tal forma que quantidade de cada tipo de recurso utilizada por uma atividade ( $r_{ik}$ ), durante um determinado período de execução, não ultrapasse a quantidade total disponível deste recurso ( $R_k$ );
- respeitando todas as relações de precedência ( $E$ ) entre as atividades do projeto.

Artigues, Michelon e Reusser (2003) propuseram um modelo matemático, e tal formulação está representada pelas equações (1) a (9). Esse modelo também está apresentado em Fonte e Vieira (2019). Porém, é necessário definir alguns termos, conforme segue:

- $V$  é o conjunto de atividades;
- $R$  é o conjunto de recursos renováveis;
- $E$  é o conjunto das relações de precedência entre as atividades do projeto e estabelece que entre duas atividades ( $i, j$ ) que possuem esta relação, a atividade  $j$  só pode ser iniciada após a conclusão da atividade  $i$ ;
- $s$  e  $t$ : atividades fictícias representando o início e o fim do projeto, respectivamente;

- $r_{ik}$  é a quantidade do recurso  $k$  necessário para que a atividade  $i$  seja executada;
- $R_k$  é a quantidade total do recurso  $k$  disponível no projeto;
- $p_i$  é tempo de processamento (duração) da atividade  $i$ ;
- $M$  e  $N$  são constantes arbitrárias grandes;
- $f_{ijk}$  é o fluxo do recurso  $k$  da atividade  $i$  para a atividade  $j$ ;
- $x_{ij}$  é uma variável binária que estabelece:

se for 0, a atividade  $i$  não tem relação de precedência com a atividade  $j$ ,

se for 1, a atividade  $i$  tem relação de precedência com a atividade  $j$ .

- $S_i$  é a data de início da atividade  $i$ ;
- $C_{max}$  é a duração total do projeto.

A formulação proposta por Artigues, Michelon e Reusser (2003) é:

$$\min C_{max} \quad (1)$$

s. a.

$$x_{ij} = 1 \quad \forall (i, j) \in E \quad (2)$$

$$S_j - S_i - M_{x_{ij}} \geq p_i - M \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\} \quad (3)$$

$$f_{ijk} - N_{x_{ij}} \leq 0 \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\}, \forall k \in R \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V \cup \{t\}} f_{ijk} = r_{ik} \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall k \in R \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V \cup \{s\}} f_{ijk} = r_{jk} \quad \forall j \in V \cup \{t\}, \forall k \in R \quad (6)$$

$$C_{max} \geq S_i + p_i \quad \forall i \in V \quad (7)$$

$$f_{ijk} \in \mathbb{N} \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\}, \forall k \in R \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\} \quad (9)$$

A equação (1) apresenta o objetivo do problema: minimizar a duração total do projeto. Na equação (2), temos as restrições relacionadas às relações de precedência. As restrições em (3) mostram as relações de sequenciamento entre as atividades. As restrições em (4) definem se existe fluxo de recurso ou não entre os pares de atividades. As restrições (5) e (6) mostram que a entrada e saída de fluxo de uma atividade em um recurso  $k$  deve ser igual a sua capacidade requerida em cada recurso, isto é, a propriedade de conservação do fluxo. Na restrição (7) é definido o tempo total de execução do projeto. As restrições (8) e (9) mostram o domínio das variáveis.

Este modelo matemático apresentado será implementado computacionalmente no GNU Linear Programming Kit (GLPK) e aplicado ao processo produtivo da cachaça artesanal a fim de torná-lo mais eficiente.

### **3. ESTUDO DE CASO: PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO EM PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE RECURSOS APLICADO AO PROCESSO PRODUTIVO DA CACHAÇA ARTESANAL**

A Cachaça Mineiriana é uma empresa familiar e tem sua história começando na década de 80, quando o avô do atual sócio e mestre alambiqueiro começou a produzir cachaça. Assim como muitos produtores, até 2014, a produção era somente um hobby. Porém, com a chegada dos novos sócios, que viram a oportunidade de negócio, a empresa passou a ser legalizada, e em cinco anos começou a ser reconhecida, chamando atenção pela qualidade, aromas e sabores.

Em 2019, a marca conseguiu boa colocação em um dos maiores concursos de cachaça do país, a cachaça armazenada em carvalho conseguiu ficar na quinta posição na categoria de envelhecidas. Essa conquista fez com que a demanda tivesse um aumento considerável, o que não era esperado, obrigando os sócios a realizarem investimentos sem planejamento para conseguir atender à crescente demanda. Por isso, mostra-se necessária a análise do processo produtivo para a identificação de problemas.

A seguir, a Tabela 3 apresenta os dados do problema: todas as atividades para a produção de cachaça, com seus respectivos tempos de processamento, as quantidades de recursos renováveis necessários para a realização e as relações de precedência entre elas. Partindo de aproximadamente 1000 kg de cana tipo 3280, para produção de 50 litros de aguardente diária.

Tabela 3: Características das atividades necessárias no processo de produção da cachaça artesanal

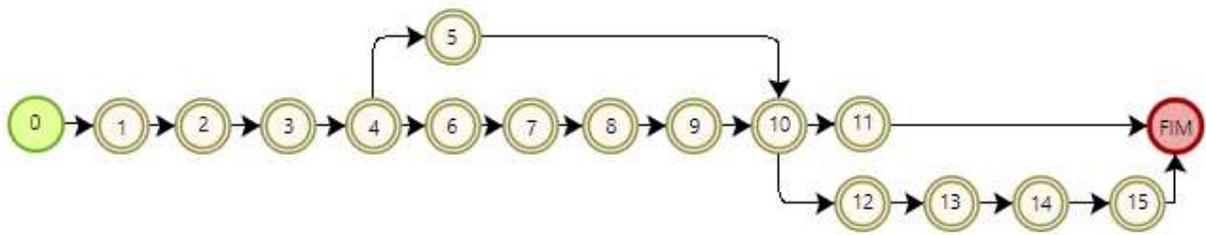
	<b>Atividades</b>	<b>Durações (h)</b>	<b>Recurso Mão de Obra</b>	<b>Recurso Água (L)</b>	<b>Precedência</b>
1	Plantio	128	4		-
2	Maturação Cana	8760	1		1
3	Corte	4	1		2
4	Moagem	1	1		3
5	Bagaço	1	1		4
6	Decantação	0,5	1		4
7	Caldo	0,2	1	73	6
8	Mosto	6	1		7
9	Fermentação	24	1		8
10	Destilação	7	1		5,9
11	Produção Álcool	5	1		10
12	Armazenamento	4392	1		10
13	Envelhecimento	21960	2		12
14	Engarrafamento	6	2		13
15	Rotulagem	8	2		14

Fonte: Elaboração própria (2022)

Como podemos perceber, o processo de produção da empresa Mineiriana segue todas as etapas do processo de produção da cachaça artesanal descritas no referencial teórico deste trabalho. Conforme citado anteriormente, todos os resíduos gerados no processo produtivo da cachaça podem ser utilizados no próprio local de produção, e é o que ocorre na Mineiriana: as frações de Cabeça e Cauda são redestiladas para a produção de álcool, sendo utilizado para assepsia e combustível de carro; o vinhoto é diluído e utilizado no canavial, já as cinzas são utilizadas para correção do solo e o bagaço é utilizado para geração de energia no alambique e adubação do canavial. Por isso, para além das atividades comuns do processo, foram acrescentadas as atividades cinco e onze (bagaço e produção álcool, respectivamente).

Para melhor visualização das relações de precedência um grafo foi criado, que é apresentado na Figura 4 a seguir. Ele mostra o processo produtivo da cachaça artesanal utilizado na modelagem do PSPRR:

Figura 4 - Grafo do processo produtivo da cachaça artesanal envelhecida



Fonte: Elaboração própria (2022)

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pela primeira vez o processo de produção da cachaça Mineiriana passou por estudo com foco na sua cadeia de atividades. A partir de conversas informais durante o dia dos sócios responsáveis pela produção da cachaça, foi possível coletar as informações mais fiéis possíveis com o dia-a-dia no sítio em relação a duração das atividades, as relações de dependência entre elas e os insumos utilizados em cada uma. Dessa forma, o resultado da pesquisa tende a ser o melhor para atingir os objetivos firmados no início do trabalho.

Os dados do problema estudado foram manipulados através da metodologia apresentada e resolvidos computacionalmente utilizando a linguagem Mathematical Programming Language (MPL) e o otimizador GNU Linear Programming Kit (GLPK). O tempo de execução do programa foi de 0.1 segundos e a respectiva memória utilizada foi de 1.5 Mb. Dessa forma, a solução ótima foi obtida, com a definição das datas de início de cada atividade, como está sendo apresentado na tabela 4.

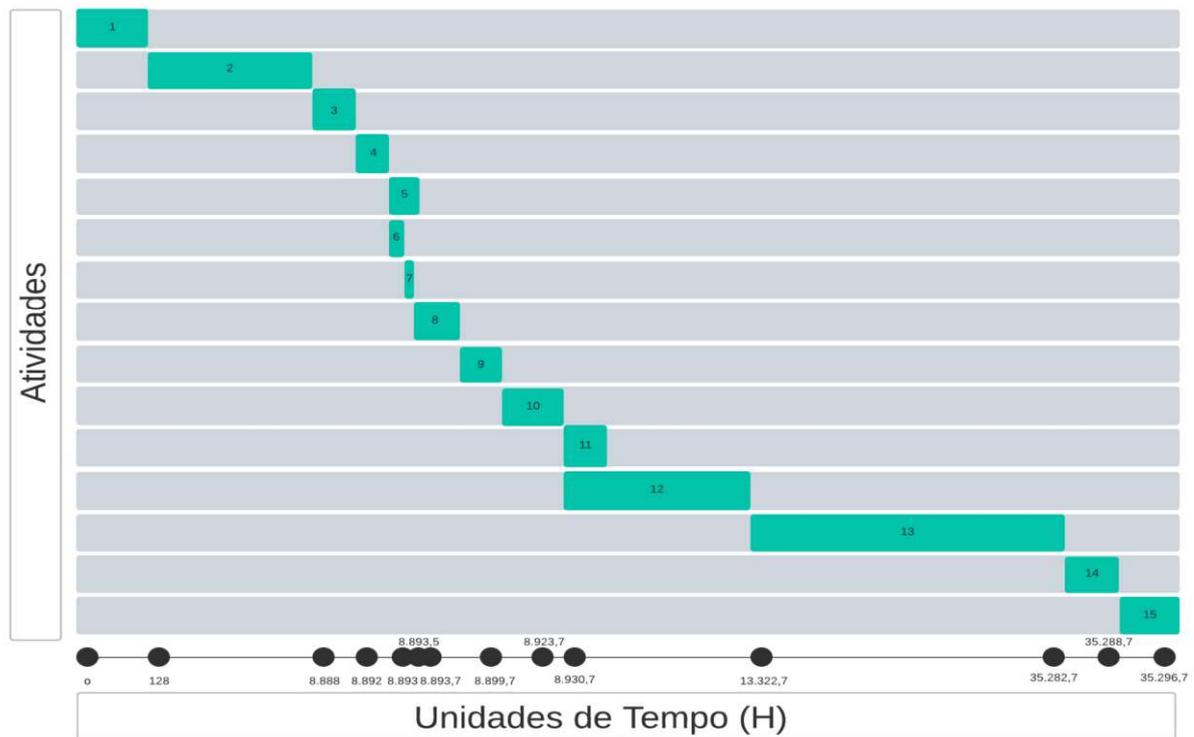
Tabela 4: Início e duração das atividades

Início (H)	0	128	8888	8892	8893	8893	8893,5	8893,7	8899,7	8923,7	8930,7	8930,7	13322,7	35282,7	35288,7
Duração (H)	128	8888	8892	8893	8894	8893,5	8893,7	8899,7	8923,7	8930,7	8935,7	13322,7	35282,7	35288,7	35296,7

Fonte: Elaboração própria (2022)

O modelo apresentou um *makespan* de 35.296,7 horas para a realização das 15 atividades, utilizando um total de 4 recursos de mão de obra e 73 litros de água. Com a solução posta, podemos apresentar o diagrama de Gantt:

Figura 5: Diagrama de Gantt



Fonte: Elaboração própria (2022)

Podemos observar pelo diagrama que a precedência determinada no grafo foi respeitada na solução. Consta-se que do início do projeto, que é o plantio da cana, até a atividade de moagem (4), elas foram projetadas para serem realizadas sequencialmente. As etapas de bagaço (5) e decantação (6) ocorrem concomitantemente, a partir da atividade seis até a atividade 10, que é a destilação, elas ocorrem de forma sequencial. Assim como as tarefas cinco e seis, as atividades 10 e 11 (destilação e produção do álcool, respectivamente) também ocorrem simultaneamente. Como a atividade de armazenamento (12) não depende da 11, assim que a atividade 10 termina, se inicia a 12, e assim, segue sequencialmente até a última atividade de todo o processo de produção da cachaça.

Com a solução obtida pelo software, e todo o estudo realizado do processo de produção e o setor da cachaça, foi possível realizar uma análise individualizada e rápida para a empresa.

Com o diagrama de Gantt analisamos a sequência das atividades, o que permitiu a gestão eficiente dos recursos utilizados e o tempo gasto em cada uma. Portanto, percebemos que no processo de produção não é possível fazer muitas alterações no sequenciamento de suas atividades, mesmo com a otimização do tempo e da utilização dos recursos, o aumento da produção ainda é prejudicado pelo elevado tempo gasto nas atividades 12 e 13, armazenamento e envelhecimento, respectivamente.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar a produção de cachaça, a fim de aumentar o conhecimento do processo produtivo da empresa estudada. Para isso, o modelo matemático de Problema de Sequenciamento em Projeto com Restrição de Recursos (PSPRR) foi aplicado. A partir de informações coletadas, dados sobre a duração das atividades, as relações de dependência entre elas e os recursos utilizados em cada uma foram esclarecidas. Com esses dados, foi apresentado uma tabela detalhando o tempo necessário em cada atividade e os recursos utilizados em cada uma. A partir dela, os dados foram implementados computacionalmente e o resultado apresentado no grafo, que é uma ferramenta de planejamento e controle. Pois, facilita a visualização do processo produtivo e das relações de precedência entre as atividades, com suas datas de início definidas. Dessa forma, obteve-se como resultado a duração do tempo total de duração do projeto que foi 35.296,7 horas. O PSPRR mostrou ser uma ferramenta eficiente definindo o menor *makespan* em tempo exequível.

De forma concisa, podemos perceber que o Problema de Sequenciamento em Projeto com Restrição de Recursos fornece soluções ótimas e em tempo exequível para os problemas em que são aplicados. Isso mostra sua importância no ambiente competitivo e dinâmico das empresas. Sua aplicação no gerenciamento das atividades contribui para a redução de desperdícios, conhecimento do processo e dos recursos utilizados, auxiliando a tomada de decisões em âmbito estratégico.

## REFERÊNCIAS

- ARTIGUES, C.; MICHELON, P.; REUSSER, S. **Insertion techniques for static and dynamic resource constrained project scheduling**. European Journal of Operational Research, v. 149, n. 2, p. 249 - 267, set. 2003.
- BAPTISTA, Juliana. **Consumo de álcool aumentou durante a pandemia**. Globo Esporte, 2020. Disponível em: <https://globoesporte.globo.com/eu-atleta/saude/noticia/consumo-de-alcool-aumentou-durante-a-pandemia.ghtml>. Acesso em 22 fev. 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **A cachaça no Brasil: dados de registro de cachaças e aguardentes ano 2021** / Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : MAPA/AECS, 2021. Acesso em 08 ago. 2022.
- BRASIL. Presidência da República/Câmara de Comércio Exterior/Comitê Executivo de Gestão. Resolução nº105 de 31 de Outubro de 2016. **Aprova o Regulamento de Uso da Indicação Geográfica "Cachaça" de acordo com critérios técnicos definidos pelos Ministérios da Indústria, Comércio Exterior e Serviços da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, no âmbito de suas respectivas competências**. Diário Oficial da União. Brasília 01, nov. 2016. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/22065373/do1-2016-11-01-resolucao-n-105-de-31-de-outubro-de-2016-22065250](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/22065373/do1-2016-11-01-resolucao-n-105-de-31-de-outubro-de-2016-22065250). Acesso em: 24 fev. 2021.
- BRUCKER, P., KNUST, S., SCHOO, A. e THIELE, O. **A Branch and Bound Algorithm for the Resource - Constrained Project Scheduling Problem**. European Journal of Operational Research, v. 107, p. 272 – 288, 1998.
- CARLIER, J.; NÉRON, E. **On Linear Lower Bounds for the Resource Constrained Project Scheduling Problem**. European Journal of Operational Research, v. 149, p. 314 - 324, 2003.
- CHAVES, J.; FERNANDES, A.; SILVA, C. **Produção Artesanal de Cachaça de Qualidade (Capacidade 3000 litros por dia)**. Projetos de Empreendimentos Agroindustriais - Produtos de Origem Vegetal. Editora UFV. Ed. 1, c. 3, p. 59 - 118, 2003.
- FERNANDES, Dirley. **Cachaça está mais presente nos carrinhos dos supermercados, mostra pesquisa**. Devotos da Cachaça, 2022. Disponível em: <https://xn--devotosdacachaa->

[rmb.com.br/2022/02/23/cachaca-esta-mais-presente-nos-carrinhos-dos-supermercados-mostra-pesquisa/](http://rmb.com.br/2022/02/23/cachaca-esta-mais-presente-nos-carrinhos-dos-supermercados-mostra-pesquisa/). Acesso em 13 ago. 2022.

FERNANDES, Dirley. **Setor de cachaça avança, mas não recupera nível pré-pandemia.** Devotos da Cachaça, 2022. Disponível em: <https://xn--devotosdacachaa-rmb.com.br/2022/09/14/setor-de-cachaca-avanca-mas-nao-recupera-nivel-pre-pandemia/>. Acesso em 02 out. 2022.

FILIPPE, Marina. **Mercado ilegal de bebida alcoólica destilada cresce na pandemia.** Exame, 2020. Disponível em: <https://exame.com/negocios/mercado-ilegal-de-bebida-alcoolica-destilada-cresce-na-pandemia/>. Acesso em 22 fev. 2021.

FONTES, Brenda; VIEIRA, Clarisse da Silva. **Processo produtivo de cerveja artesanal caseira e sua análise através do Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrições de Recursos (PSPRR).** IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, PR, ano 2019, p. 1-12, 4 dez. 2019. Disponível em: [https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/09302019\\_210945\\_5d929f610af41.pdf](https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/09302019_210945_5d929f610af41.pdf). Acesso em: 10 nov. 2022.

GNU Linear Programming Kit: **Reference Manual.** GLPK Version 4.52. 2013. Disponível em: <http://most.ccib.rutgers.edu/glpk.pdf>. Acesso em 10 de nov. 2022.

ICHIHARA, Jorge de Araújo. **O problema de programação de projetos com Restrição de recursos (resource-constrained Project scheduling problem).** XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção Curitiba – PR, 23 a 25 de outubro de 2002.

JERÔNIMO, Elisângela Marques; SILVA, Marcelo de Almeida. **CACHAÇA: UMA BEBIDA BRASILEIRA.** Pesquisa & Tecnologia, v. 2, n. 2, jul - dez. 2005.

MARQUES, Pedro. **“Marvada” que nada. Brasileiríssima, cachaça rebate preconceito e cresce como bebida gourmet.** Uol, 2020. Disponível em: <https://www.uol.com.br/nossa/reportagens-especiais/marvada-que-nada-cachaca-rebate-preconceito-e-cresce-como-bebida-gourmet/#page7>. Acesso em 22 fev. 2021.

MATTOS, Rodrigo de. **O Cenário Brasileiro da Cachaça e dos Destilados.** Euromonitor International, 2021. Disponível em:

<https://acrobat.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:43e93ff2-95b3-3a7c-b39b-ef77cdc92095>. Acesso em 13 ago. 2022.

MORILLO, D.; MORENO, L.; DÍAZ, J. **Metodologías Analíticas y Heurísticas para la Solución del Problema de Programación de Tareas con Recursos Restringidos (RCPSP): una revisión**. Parte 1. Revista Ingeniería y Ciencia, v. 10, n. 20. 2014.

MOTOMURA, Marina. **Venda online de bebidas alcoólicas aumenta 960% na pandemia**. CNN Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/2020/11/22/venda-online-de-bebidas-alcoolicas-aumenta-960-na-pandemia>. Acesso em 22 fev. 2021.

SANTOS, Jaqueline G.; SILVA, Ylka Danielle T. **Práticas de Gestão Ambiental e produção mais limpa: uma análise do processo produtivo da cachaça Sanhaçu**. Revista Produção e Desenvolvimento, [s. l.], ano 2017, v. 3, ed. 3, p. 1-17, 29 dez. 2017. Disponível em: <http://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento>. Acesso em: 22 ago. 2022.

SEBRAE. **A Cachaça de Alambique: Um estudo sobre hábitos de consumo em Goiânia**. 2019. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/GO/Sebrae%20de%20A%20a%20Z/A%20Cacha%20C3%A7a%20de%20Alambique%20-%20Um%20estudo%20sobre%20o%20h%C3%A1bito%20de%20Consumo%20em%20Goi%C3%A2nia.pdf>. Acesso em 22 fev. 2021.

SEBRAE. **Cachaça Artesanal: Série Estudos Mercadológicos**. 2012. Disponível em: [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/444c2683e8debad2d7f38f49e848f449/\\$File/4248.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/444c2683e8debad2d7f38f49e848f449/$File/4248.pdf). Acesso em 22 fev. 2021.

SEBRAE. **Produção de cachaça no Brasil ainda tem muito potencial econômico: Quase 90% dos produtores de aguardente são informais em um mercado que está em expansão**. MERCADO E VENDAS | VENDA, [S. l.], ano 2022, 1 abr. 2022. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/producao-de-cachaca-no-brasil-ainda-tem-muito-potencial-economico,578ed967936ef710VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 10 nov. 2022.

SEBRAE. **Série Perfil de Projetos: Fábrica de aguardente de cana de açúcar**. Vitória, 1999. Disponível em: <https://acrobat.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:12521183-0206-32fc-b875-e25e698635c7>. Acesso em: 1 out. 2022.

SILVA, Jairo Martins da. **Cachaça: O Mais Brasileiro dos Prazeres: História, Elaboração, Serviço e Degustação: Um Guia para Profissionais e Apreciadores**. Anhembí Morumbi, 2006.

SLACK, Nigel et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

STAKE, R. **A arte da investigação com estudos de caso**. 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2009. (Originalmente publicado em 1995).

TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2011.

VIANA, Fernando Luiz E. **Indústria de Bebidas Alcoólicas**. Banco do Nordeste, [S. l.], ano 7, n. 216, p. 1-9, 1 mar. 2022. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1159/3/2022\\_CDS\\_216.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1159/3/2022_CDS_216.pdf). Acesso em: 1 out. 2022.

VIEIRA, Clarisse da Silva. **Modelagem e Solução de Problemas de Sequenciamento de Atividades em Projetos com Restrição de Recursos**. Tese em Engenharia Mecânica – UFMG, Belo Horizonte, 2010.

XXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2003, Ouro Preto. **Aspectos da evolução do mercado da cachaça**. Ouro Preto: [s. n.], 2003. Disponível em: [https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2003\\_tr0111\\_0600.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr0111_0600.pdf). Acesso em: 11 out. 2022.

YANG, B.; GEUNES, J.; O'BRIEN, W. **Resource-Constrained Project Scheduling: Past Work and New Directions, Research Report 2001-6**, Department of Industrial and Systems Engineering, University of Florida, 2001.

YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. (Originalmente publicado em 1984).

YIN, R. **Qualitative research from start to finish**. New York: Guilford Press, 2011.