



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**MAX LAYLSON RIBEIRO SAMPAIO LUCENA**

**ANÁLISE TÉCNICO ECONÔMICA DO PROCESSO DE ARMAZENAMENTO E  
TRANSFERÊNCIA DE MONOISOPROPILAMINA**

**FORTALEZA**

**2019**

MAX LAYLSON RIBEIRO SAMPAIO LUCENA

ANÁLISE TÉCNICO ECONÔMICA DO PROCESSO DE ARMAZENAMENTO E  
TRANSFERÊNCIA DE MONOISOPROPILAMINA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Moises Bastos Neto

FORTALEZA

2019

# FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- L968a Lucena, Max Laylson Ribeiro Sampaio.  
Análise técnico econômica do processo de armazenamento e transferência de monoisopropilamina /  
Max Laylson Ribeiro Sampaio Lucena. – 2019.  
41 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia Química, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Moises Bastos Neto.
1. Monoisopropilamina. 2. Taxa de evaporação. 3. Retorno econômico. I. Título.

CDD 660

---

MAX LAYLSON RIBEIRO SAMPAIO LUCENA

ANÁLISE TÉCNICO ECONÔMICA DO PROCESSO DE ARMAZENAMENTO E  
TRANSFERÊNCIA DE MONOISOPROPILAMINA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovada em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Moises Bastos Neto (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará

---

Profa. Dra. Rílvia Saraiva de Santiago Aguiar  
Universidade Federal do Ceará

---

Eng. Saulo Victor Azevedo Pereira de Almeida  
Nufarm Indústria Química SA

---

Eng. David Bruno de Oliveira Alencar  
Nufarm Indústria Química SA

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me guiar e abençoar em todos os meus passos nessa longa jornada.

Aos meus pais, Wilson e Marly que são fontes inesgotáveis de ensinamentos, dedicação e amor. Sem vocês nada disso seria possível.

Aos meus sobrinhos, Isy e João pela alegria e amor que vocês transmitem.

À minha irmã, Layla e meu irmão de coração Diekson, que sempre acreditaram em mim e motivaram para que eu pudesse sempre ir mais longe.

Aos meus avós, Manoel e Maria do Carmo que mesmo a distância sempre torceram e rezaram por mim.

À Letícia por sua dedicação, determinação e carinho transcendentais que foram fundamentais nesse ciclo que se encerra. Você é capaz de trazer o melhor de mim.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo e motivaram para que pudéssemos alcançar metas que não pareciam alcançáveis.

Aos meus companheiros de trabalho, Cleilton, Xavier, Felipe, Arnildo pela parceria de todos os dias.

Aos meus chefes, Anderson e David pelos ensinamentos e conselhos que foram fundamentais para esse trabalho e meu desenvolvimento como profissional.

Ao Prof. Dr. Moises Bastos Neto por todos os conhecimentos e ensinamentos dados e por sua dedicação admirável.

À Prof. Dra. Maria Valdez Ponte Rocha, por sua atenção e cuidado incontestáveis.

Aos membros da banca por aceitarem avaliar esse trabalho.

*“Education is the most powerful weapon  
which you can use to change the world.”*

*Nelson Mandela*

## RESUMO

Nesse trabalho foi realizado um estudo de caso de uma fábrica de produção de defensivos agrícola, onde existe uma perda significativa de monoisopropilamina (MIPA), devido à evaporação desse produto. Um dos pontos críticos identificados nesse processo foi a temperatura em que o produto se encontra nos tanques de armazenamento que é uma média de 33,7 °C. O ponto de ebulição da MIPA pressão atmosférica é 32°C o que justifica as elevadas perdas por evaporação desse produto. Com uma análise das perdas de processo nos últimos quatro anos foi identificado uma média de 1,38% de variação considerando o total utilizado no período. Para solucionar esse problema foi proposto o resfriamento da MIPA a temperaturas inferiores ao seu ponto de ebulição. As temperaturas escolhidas foram 25 °C, 18°C e 11°C e com elas foram realizados os balanços de energia considerando uma vazão média de 0,42 kg/s. Posteriormente foi realizada uma análise do trocador de calor existente na fábrica e foi constatada a necessidade de um novo trocador com maior capacidade nominal para realizar o serviço de troca térmica proposto. A redução das perdas por evaporação forma calculadas para as temperaturas de 25 °C, 18°C e 11°C e foram obtidos valores de 27%, 45% e 59% respectivamente. Com esses valores foi calculado o retorno econômico através do método de payback descontado e os projetos trariam retorno em até três anos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Monoisopropilamina; Taxa de evaporação; Retorno econômico.

## ABSTRACT

This work is a study case of an agrochemical plant where there was a significant loss, scrap factor, of monoisopropylamine (MIPA) due the evaporation process of this material. One of the main points identified in this process is that the temperature of the MIPA storage tanks is averages 33,7 °C. The atmospheric boiling point of MIPA is 32 °C, hence the high loss percentage of this product. Analyzing MIPA's scrap factor in the last four years it was found an average of 1,38% of losses in this period due evaporation. To overcome this problem, it is proposed a system to cool MIPA to temperatures below its boiling point. The chosen temperatures were 25 °C, 18°C e 11°C and the energy balance for those temperatures were calculated considering the MIPA's mass flow rate of 0,42 kg/s. Then, an analysis of the of the heat exchanger available at the plant was done and the results pointed a necessity for a new equipment that had a higher nominal capacity. A decrease in the loss by evaporation at 25 °C, 18°C e 11°C were evaluated at de 27%, 45% e 59%, respectively. The payback period for this investment to recover all the funds invested was around three years proving the economic value of this project.

**KEY WORDS:** Monoisopropylamine; Evaporation rate; Economic viability.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura molecular da MIPA.....	19
Figura 2 – Exemplificação da variação da pressão de vapor com a temperatura.....	20
Figura 3 – Trocador de calor tipo chiller.....	21
Figura 4 – Ciclo de refrigeração de compressão de vapor ideal.....	22
Figura 5 – Isocontainer utilizado para o transporte e armazenamento de MIPA.....	24
Figura 6 – Estrutura atual de armazenamento de MIPA na fábrica.....	25
Figura 7 – Chiller da Mecalor com condensação a ar.....	33

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Representação das classes de defensivos vendidas no ano de 2014.....	17
Gráfico 2 – Evolução da quantidade consumida por ano e total perdas por evaporação..	26
Gráfico 3 – Taxa de evaporação por temperatura.....	28
Gráfico 4 – Taxa de evaporação em diferentes temperaturas e processo.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição do PIB brasileiro de 2008 a 2017.....	16
Tabela 2 – Distribuição de Culturas em que herbicidas foram aplicados em 2013.....	18
Tabela 3 – Propriedades Físicas e Químicas da MIPA.....	19
Tabela 4 – Perdas por evaporação nos anos de 2015 a 2018.....	26
Tabela 5 – Informações técnicas do chiller.....	27
Tabela 6 – Cálculo da taxa de evaporação de MIPA.....	28
Tabela 7 – Acompanhamento da temperatura dos tanques no dia 1.....	29
Tabela 8 – Acompanhamento da temperatura dos tanques no dia 2.....	29
Tabela 9 – Acompanhamento da temperatura dos tanques no dia 3.....	29
Tabela 10 – Temperatura média dentro dos tanques de MIPA.....	30
Tabela 11 – Cálculo da energia necessária pra o serviço de resfriamento da MIPA.....	31
Tabela 12 – Propriedades da água de processo.....	32
Tabela 13 – Variação de temperatura da água de resfriamento.....	32
Tabela 14 – Modelos de chiller.....	34
Tabela 15 – Análise da quantidade de MIPA utilizada nos últimos quatro anos.....	34
Tabela 16 – Perda por evaporação média.....	35
Tabela 17 – Redução das perdas por evaporação.....	35
Tabela 18 – Custos de implementação do sistema de resfriamento.....	36
Tabela 19 – Cálculo do consumo de energia elétrica.....	37
Tabela 20 – Custos do resfriamento considerando os gastos com energia elétrica.....	37
Tabela 21 – Cálculo do payback descontado para o resfriamento a 25 °C.....	37
Tabela 22 – Cálculo do payback descontado para o resfriamento a 18 °C.....	38
Tabela 23 – Cálculo do payback descontado para o resfriamento a 11 °C.....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DDT	Diclorodifeniltricloroetano
DMA	Dimetilamina
EUA	Estados Unidos da América
FCL	Fluxo de Caixa Livre
FV	Valor Futuro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCA	Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva
MIPA	Monoisopromilamina
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PSV	Válvula de Segurança
PV	Valor Presente
RR	Roundup Ready <sup>®</sup>
SL	Concentrado Solúvel
TEA	Trietanolamina
TMA	Taxa Mínima de Atratividade

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>Histórico dos defensivos agrícolas</b> .....	15
<b>2.2</b>	<b>Cenário dos agroquímicos no Brasil e no mundo</b> .....	15
<b>2.3</b>	<b>Formulações de herbicidas</b> .....	18
<b>2.4</b>	<b>Propriedades físicas e químicas da MIPA</b> .....	18
<b>2.5</b>	<b>Equilíbrio líquido vapor</b> .....	19
<b>2.5.1</b>	<i>Pressão de Vapor</i> .....	19
<b>2.5.2</b>	<i>Taxa de Evaporação</i> .....	20
<b>2.6</b>	<b>Trocadores de calor</b> .....	21
<b>2.6.1</b>	<i>Trocador de calor tipo chiller</i> .....	21
<b>2.6.2</b>	<i>Balanco de energia para trocadores de calor</i> .....	22
<b>2.7</b>	<b>Payback descontado</b> .....	23
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	23
<b>3.1</b>	<b>Condição atual de processo</b> .....	24
<b>3.1.1</b>	<i>Transporte e Armazenamento</i> .....	24
<b>3.1.2</b>	<i>Perdas de Processo por evaporação</i> .....	25
<b>3.1.3</b>	<i>Resfriamento atual</i> .....	27
<b>3.2</b>	<b>Cálculo da Taxa de Evaporação</b> .....	27
<b>3.3</b>	<b>Avaliação do processo de troca térmica</b> .....	31
<b>3.3.1</b>	<i>Balanco de energia</i> .....	31
<b>3.3.2</b>	<i>Cálculo da temperatura de saída da água de resfriamento</i> .....	31
<b>3.3.3</b>	<i>Análise do trocador de calor disponível</i> .....	32
<b>3.3.4</b>	<i>Proposição de um novo trocador de calor</i> .....	33
<b>4</b>	<b>ANÁLISE ECONÔMICA</b> .....	34
<b>4.1</b>	<b>Estimativa de produção</b> .....	34
<b>4.2</b>	<b>Redução da perda por evaporação</b> .....	35
<b>4.3</b>	<b>Custos de implementação</b> .....	35
<b>4.3.1</b>	<i>Equipamentos e materiais</i> .....	35
<b>4.3.2</b>	<i>Gastos com energia elétrica</i> .....	36
<b>4.3.3</b>	<i>Payback descontado</i> .....	37
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	39

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>40</b>
-------------------------	-----------

# TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E SIGILO

O Trabalho Final de Curso, apresentado na forma de documento monográfico intitulado **Análise Técnico Econômica do Processo de Armazenamento e Transferência de Monoisopropilamina**, volume constante como um dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Ceará, orientado pelo **Prof. Dr. Moises Bastos Neto**, defendido no dia **03** de junho de 2019, foi depositado pelo autor **Max Laylson Ribeiro Sampaio Lucena** sob compromisso de confidencialidade e sigilo sobre todas as informações técnicas relacionadas às suas pesquisas. Por este termo de confidencialidade e sigilo são vedadas as seguintes práticas:

1. **Disponibilização** do documento integral em plataformas públicas ou repositórios acadêmicos;
2. **A utilização das informações**, aqui protegidas por sigilo, e doravante constantes como informações confidenciais, a quem tiver acesso;
3. **Gravação ou cópia da documentação** confidencial a que tiver acesso, excetuando as cópias e/ou documentos originais AUTORIZADOS;
4. A **apropriação** para si ou para outrem do material confidencial e/ou sigiloso da tecnologia que venha a ser disponível;
5. **Repasse** de conhecimento das informações confidenciais;

Neste Termo, as seguintes expressões serão assim definidas:

**Informação Confidencial** significará toda informação revelada através da apresentação da tecnologia, a respeito de, ou, associada com dados obtidos para elaboração da monografia, sob a forma escrita, verbal ou por quaisquer outros meios. Informação Confidencial inclui, mas não se limita, à informação relativa às operações, processos, planos ou intenções, informações sobre produção, instalações, equipamentos, sistemas, dados, habilidades especializadas, projetos, métodos e metodologia, fluxogramas, especializações, componentes, fórmulas, produtos e questões relativas ao desempenho das atividades laborais.

A vigência da obrigação de confidencialidade e sigilo, assumida por meio deste termo, terá a validade enquanto a informação não for tornada de conhecimento público por direta autorização dos seus autores, mediante autorização escrita.

**Max Laylson Ribeiro Sampaio Lucena**

Autor

**Prof. Dr. Moises Bastos Neto**

Orientador

**Profa. Dra. Rílvia Saraiva de Santiago Aguiar**

Docente Responsável pela disciplina

# TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E SIGILO

O Trabalho Final de Curso, apresentado na forma de documento monográfico intitulado **Análise Técnico Econômica do Processo de Armazenamento e Transferência de Monoisopropilamina**, volume constante como um dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Ceará, orientado pelo **Prof. Dr. Moises Bastos Neto**, defendido no dia **03** de junho de 2019, foi depositado pelo autor **Max Laylson Ribeiro Sampaio Lucena** sob compromisso de confidencialidade e sigilo sobre todas as informações técnicas relacionadas às suas pesquisas. Por este termo de confidencialidade e sigilo são vedadas as seguintes práticas:

1. **Disponibilização** do documento integral em plataformas públicas ou repositórios acadêmicos;
2. **A utilização das informações**, aqui protegidas por sigilo, e doravante constantes como informações confidenciais, a quem tiver acesso;
3. **Gravação ou cópia da documentação** confidencial a que tiver acesso, excetuando as cópias e/ou documentos originais AUTORIZADOS;
4. A **apropriação** para si ou para outrem do material confidencial e/ou sigiloso da tecnologia que venha a ser disponível;
5. **Repasse** de conhecimento das informações confidenciais;

Neste Termo, as seguintes expressões serão assim definidas:

**Informação Confidencial** significará toda informação revelada através da apresentação da tecnologia, a respeito de, ou, associada com dados obtidos para elaboração da monografia, sob a forma escrita, verbal ou por quaisquer outros meios. Informação Confidencial inclui, mas não se limita, à informação relativa às operações, processos, planos ou intenções, informações sobre produção, instalações, equipamentos, sistemas, dados, habilidades especializadas, projetos, métodos e metodologia, fluxogramas, especializações, componentes, fórmulas, produtos e questões relativas ao desempenho das atividades laborais.

A vigência da obrigação de confidencialidade e sigilo, assumida por meio deste termo, terá a validade enquanto a informação não for tornada de conhecimento público por direta autorização dos seus autores, mediante autorização escrita.

**Francisco Carolino Maranhão Filho**

Ouvinte

**Rosa Dayse Fernandes Maranhão**

Ouvinte

**Letícia Fernandes Maranhão**

Ouvinte

**Profa. Dra. Rílvia Saraiva de Santiago Aguiar**

Docente Responsável pela disciplina