

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**LAURA ARRUDA COUTINHO DIAS DE CARVALHO**

**ANÁLISE DE PROCESSO: ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA  
GRANULOMETRIA NO PRNT DO CALCÁRIO AGRÍCOLA EM UMA  
MINERADORA NO CENTRO-OESTE MINEIRO**

**FORMIGA – MG**  
**2022**

LAURA ARRUDA COUTINHO DIAS DE CARVALHO

ANÁLISE DE PROCESSO: ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA  
GRANULOMETRIA NO PRNT DO CALCÁRIO AGRÍCOLA EM UMA MINERADORA  
NO CENTRO-OESTE MINEIRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG,  
como requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Ms. Antônio José dos Santos  
Júnior

FORMIGA – MG

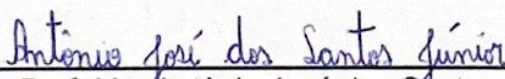
2022

Laura Arruda Coutinho Dias de Carvalho

ANÁLISE DE PROCESSO: ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA  
GRANULOMETRIA NO PRNT DO CALCÁRIO AGRÍCOLA EM UMA MINERADORA  
NO CENTRO-OESTE MINEIRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG,  
como requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Química.

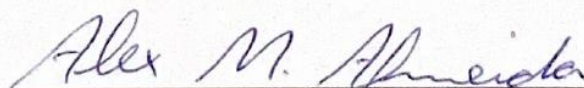
BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Me. Antônio José dos Santos Júnior

Orientador



---

Prof. Dr. Alex Magalhães de Almeida

UNIFOR-MG



---

Prof. Me. José Luiz Giarola Andrade

UNIFOR-MG

Formiga, 24 de junho de 2022.

## RESUMO

Com a crescente procura por maior qualidade por parte dos consumidores de calcário agrícola, as empresas mineradoras produtoras desse material têm buscado inovações e melhorias contínuas em seus processos, investindo em maquinários e no setor de controle de qualidade, a fim de monitorar todas as etapas da fabricação, minimizando as falhas e entregando ao consumidor um produto que satisfará a sua necessidade. Para isso, as ferramentas de gestão da qualidade são alicerces para se atingir tal objetivo. Este estudo propõe uma análise de como a granulometria do material influencia diretamente no resultado do Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) do calcário agrícola em uma mineração localizada em Arcos, no Centro-Oeste mineiro. Os ensaios químicos e granulométricos foram realizados por meio de um simulador desenvolvido no Excel, *Visual Basic for Applications* (VBA), de forma a simular aleatoriamente alguns ensaios, analisar todas as variáveis do processo e apresentar medidas corretivas para cada tipo de problema encontrado, que está relacionado à divergência das granulometrias. Com os ensaios realizados, observou-se que a granulometria interfere diretamente no PRNT do calcário, independente do valor do PN. Além disso, constatou a eficácia do simulador e sua aplicabilidade nas mineradoras produtoras de calcário agrícola. Trabalhos como esse podem ser úteis para análises e otimização de processos.

Palavras-chaves: PRNT. Calcário agrícola. Gestão da qualidade.

## ABSTRACT

With the growing demand for higher quality by consumers of agricultural limestone, mining companies that produce this material have sought innovations and continuous improvements in their processes, investing in machinery and in the quality control sector, in order to monitor all stages of manufacturing, minimizing failures and delivering to the consumer a product that will satisfy their need. For this, quality management tools are the foundations to achieve this objective. This study proposes an analysis of how the granulometry of the material directly influences the result of the Relative Power of Total Neutralization (RPTN) of agricultural limestone in a mining company located in Arcos, in the Midwest of Minas Gerais. The chemical and granulometric tests were performed using a simulator developed in Excel, Visual Basic for Applications (VBA), in order to randomly simulate some tests, analyze all process variables and present corrective measures for each type of problem encountered, which is related to the divergence of granulometries. With the tests carried out, it was observed that the granulometry directly interferes in the RPTN of limestone, regardless of the NP value. In addition, it verified the effectiveness of the simulator and its applicability in mining companies that produce agricultural limestone. Works like this can be useful for analysis and process optimization.

Keywords: RPTN. Agricultural limestone. Quality management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo PDCA para controle de processos .....	15
Figura 2 - Representação da Análise/Matriz SWOT .....	16
Figura 3 - Evolução do sistema de qualidade.....	18
Figura 4 - Conceitos de qualidade, gestão da qualidade e seus elementos .....	19
Figura 5 - Exemplo de fluxograma para a produção de caixas de papelão.....	20
Figura 6 - Modelo do Diagrama de Ishikawa .....	22
Figura 7 - Diagrama de Ishikawa aplicado para analisar a variação de atendimento em um restaurante .....	22
Figura 8 - Primeiras rochas expostas após a limpeza .....	25
Figura 9 - Espectrofotômetro de fluorescência de RAIO-X por energia dispersiva (EDXRF).....	31
Figura 10 - Interface inicial do simulador VBA.....	34
Figura 11 - Interface principal do simulador VBA .....	34
Figura 12 - Primeira simulação – PRNT 80 a 85%.....	37
Figura 13 - Segunda simulação – PRNT 80 a 85%.....	37
Figura 14 - Terceira simulação – PRNT 80 a 85% .....	38
Figura 15 - Quarta simulação – PRNT 80 a 85% .....	38
Figura 16 - Quinta simulação – Valores Conformes.....	39
Figura 17 - Primeira simulação – PRNT 95 a 100%.....	40
Figura 18 - Segunda simulação – PRNT 95 a 100%.....	41
Figura 19 - Terceira simulação – PRNT 95 a 100% .....	41
Figura 20 - Quarta simulação – PRNT 95 a 100% .....	42
Figura 21 - Quinta simulação – PRNT 95 a 100%.....	42
Figura 22 - Sexta simulação – Valores Conformes .....	44
Figura 23 – Martelo novo .....	45
Figura 24 - Queixo e grelhas de 2 mm .....	45
Figura 25 - Rotor com oito posições.....	46
Figura 26 - Martelos acoplados ao rotor.....	47
Figura 27 - Martelo sem aproveitamento.....	48
Figura 28 - Pastilha do martelo quebrada .....	48
Figura 29 - Posicionamento das grelhas no moinho .....	49
Figura 30 - Instrução de como realizar o rodízio das grelhas.....	49

Figura 31 - Moinho de bolas.....	50
Figura 32 - Esferas de aço do moinho de bolas .....	51
Figura 33 – Ensaio químico – PRNT 80 a 85%.....	52
Figura 34 - Ensaio químico - PRNT 95 a 100%.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações de natureza física e garantia granulométrica pelo MAPA	29
Tabela 2 - Especificações para os corretivos de acidez dos solos.....	30
Tabela 3 - Garantias químicas e físicas mínimas registradas no MAPA - Calcário dolomítico PRNT 80 a 85% .....	36
Tabela 4 - Garantias químicas e físicas mínimas registradas no MAPA - Calcário dolomítico PRNT 95 a 100% .....	40



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CaO – Óxido de cálcio

LI – Licença de Instalação

LO – Licença de Operação

LP – Licença Prévia

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MgO – Óxido de magnésio

PN – Poder de Neutralização

PRNT – Poder Relativo de Neutralização Total

VBA – *Visual Basic for Applications*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Análise de Processo.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Ferramentas para análises de processos.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Análise de Qualidade.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Ferramentas para controle da qualidade.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Calcário.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Origem geológica .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Processo Produtivo .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Características do calcário .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b>Aplicações do Calcário .....</b>	<b>27</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Calcário agrícola.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5</b>	<b>Características físico/químicas do calcário agrícola.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Poder Reativo de Neutralização Total (PRNT).....</b>	<b>28</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Poder de Neutralização (PN).....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Desenvolvimento do Simulador .....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>Ensaio granulométricos .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Calcário com PRNT de 80 a 85% .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Calcário com PRNT de 95 a 100% .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Medidas corretivas para as divergências granulométricas .....</b>	<b>44</b>
<b>5.2</b>	<b>Ensaio químicos .....</b>	<b>52</b>

5.2.1	Medidas corretivas para as divergências químicas.....	53
5.3	Aplicabilidade do simulador desenvolvido .....	54
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
	REFERÊNCIAS .....	57

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2021, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) realizou um estudo sobre o agronegócio brasileiro, sendo analisados os principais produtos cultivados no Brasil, como soja, milho, café etc. O estudo elaborou uma projeção de crescimento em produção e expansão de área cultivada até 2030, tendo como resultados um crescimento de 27,1% de produção e de área plantada sair de 82 milhões de hectares para 93,3 milhões de hectares (BRASIL, 2021, p.84).

Além dessas informações, o estudo traz uma retrospectiva em que nos últimos dez anos a produção de grãos cresceu em 57,5% (BRASIL, 2021, p.84). Esses dados apenas confirmam o quanto o agronegócio tem crescido e com essa expansão, as tecnologias agrícolas também evoluíram e tendem a progredir cada vez mais.

Atrelado a isso, os produtores rurais e indústrias consumidoras de calcário agrícola também estão buscando por mais assertividade nos plantios, como é o caso da cultura de precisão. Com isso, a exigência por mais qualidade nos insumos agrícolas, como o calcário, tem se tornado progressivamente mais um ponto forte na tomada de decisão de qual fornecedor escolher na hora de comprar o seu insumo.

Por esse motivo, as minerações produtoras de calcário agrícola têm buscado inovações e melhorias contínuas em seus processos, investimento em seus maquinários e no setor de qualidade, para serem capazes de monitorar o seu produto do início ao fim, com o intuito de minimizar todas as falhas e poder ofertar aos consumidores um produto de maior qualidade que irá satisfazer a sua necessidade. Pode-se afirmar que as ferramentas de gestão da qualidade são alicerces para se atingir tal objetivo.

O presente estudo analisou como a granulometria do material influencia diretamente no resultado do Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) do calcário agrícola, em uma mineração localizada em Arcos, no Centro-Oeste Mineiro. O estudo foi elaborado por meio de um simulador desenvolvido em que é possível analisar todas as variáveis e expor os resultados obtidos. E, por fim, foram apresentadas medidas corretivas para cada tipo de problema encontrado, que está relacionado à divergência das granulometrias.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Estudar a influência da granulometria no PRNT do calcário agrícola em uma mineradora no Centro-Oeste Mineiro.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar a importância do calcário em segmentos diversos e as suas diferentes aplicações;
- Descrever a relevância do PRNT do calcário em sua aplicação como corretivo de solo;
- Desenvolver um simulador no VBA que permita analisar como variações da granulometria e do PN influenciam diretamente no resultado do PRNT do calcário agrícola.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Análise de Processo

Um processo é qualquer operação ou um conjunto de operações, a fim de alcançar um objetivo anteriormente definido (FELDER; ROUSSEAU; BULLARD, 2018, p. 41). Complementando, Werkema (2021, p. 23) diz que “um processo pode ser definido de forma sucinta, como um conjunto de causas que têm como objetivo produzir um determinado efeito, o qual é denominado produto do processo”.

Ademais, Araújo, Garcia e Martines (2017, p. 25) trazem uma abordagem de que todo processo é composto por um determinado número de atividades e que, dependendo de sua complexidade, podem e devem ser divididas em tarefas, que corresponderão a conclusão de determinada etapa. Além disso, essas atividades são fundamentais para gerir um resultado em particular, que posteriormente fará parte do resultado geral de tal processo.

E, para que um processo seja bem elaborado e tenha máxima eficiência, é imprescindível que análises e projetos sejam realizados. Perlingeiro (2018, p.17) aborda que o objetivo principal da análise de um processo é realizar uma previsão e avaliação do comportamento, seja físico ou econômico do mesmo.

De acordo com Perlingeiro (2018, p.17), a previsão do comportamento físico de um processo consiste em avaliar o comportamento dele, ainda sem existir. Isso, com o objetivo de que ao ser colocado em operação, esteja em conformidade com as especificações técnicas previamente estabelecidas. E, a avaliação está relacionada à verificação do comportamento do processo, se ele atende ao que foi projetado, uma vez que, a partir do momento que o processo apresenta baixo rendimento, é necessário que a causa seja identificada e o problema seja resolvido o quanto antes.

Ainda levando em consideração o autor supracitado, a previsão do comportamento econômico corresponde à estimativa de lucratividade do processo, baseando-se em um modelo econômico. Já sua avaliação consiste em verificar se a lucratividade obtida justifica a realização e continuidade do processo.

Então, para que um processo seja bem desenvolvido e eficiente, torna-se necessário um gerenciamento dele, com o intuito de que as variáveis do processo sejam controladas e os resultados sejam satisfatoriamente alcançados, através das análises realizadas. Zairi (1997 *apud* SORDI, 2018, p. 29), diz que “gestão por

processos está correlacionada aos aspectos principais da operação do negócio e apresenta grande potencial para agregação de valor e alavancagem do negócio”.

Três principais ações para o controle de processo são estabelecidas:

1. Estabelecimento da “diretriz de controle” (Planejamento da Qualidade):  
A diretriz de controle consta da meta, que é a faixa de valores desejada para o item de controle (nível de controle), e do método, que são os procedimentos necessários para o alcance da meta.
2. Manutenção do nível de controle (Manutenção de Padrões):  
Consiste em garantir que a meta estabelecida no Item 1 seja atingida. Caso isso não ocorra, será necessário atuar nas causas que provocaram o desvio e recolocar o processo no estado de funcionamento adequado
3. Alteração da diretriz de controle (Melhorias):  
Consiste em mudar o nível de controle atual e alterar os procedimentos padrão de tal forma que o novo nível de controle seja atingido. Essas alterações têm o objetivo de melhorar o nível de qualidade planejado inicialmente (CAMPOS (2014 *apud* WERKEMA, 2021, p. 28)).

Em um gerenciamento e controle de processos, é necessário ter conhecimento e administração sobre todos os fatores que compõem o processo, como mão de obra, maquinário, matéria-prima, métodos etc. (SEBRAE, 2019). Esses fatores citados, e muitos outros, interferem diretamente no processo, por esse motivo é importante controlá-los.

### 3.1.1 Ferramentas para análises de processos

O ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*), desenvolvido na década de 50 por William Edward Deming, tornou-se mundialmente conhecido e é um dos métodos mais aplicados. É uma técnica reconhecida como um programa lógico, que permite o desenvolvimento de melhorias nas atividades (VARGAS *et al.*, 2018, tradução da autora).

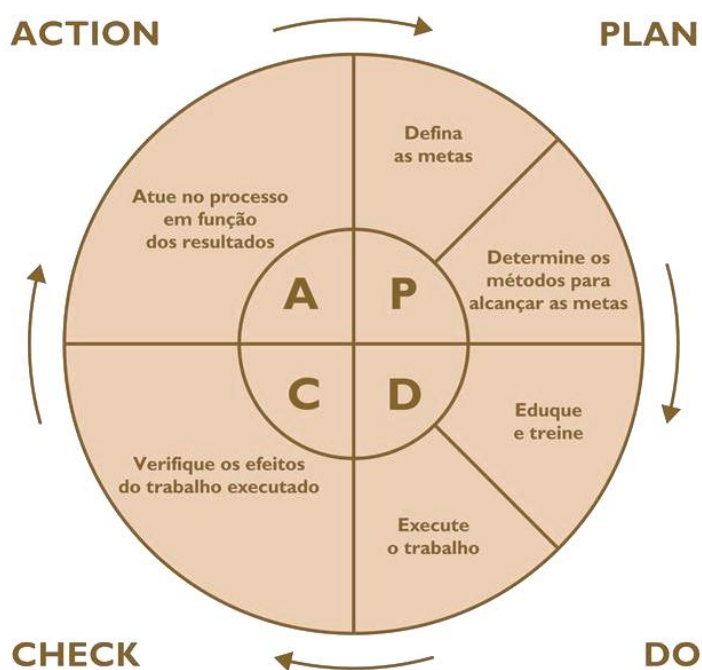
Werkema (2021, p.31) apresenta o ciclo como “um método de gestão, representando o caminho a ser seguido para que as metas estabelecidas possam ser atingidas”. E, Kocik (2017, tradução da autora) acrescenta que o modelo PDCA é extremamente versátil e pode ser utilizado com sucesso em qualquer tipo de negócio. Ainda integra que uma empresa que utiliza esse método pode ter uma redução de 80% dos custos com “problemas” para 20 a 30% do nível inicial.

O ciclo PDCA é composto por quatro fases, conforme citado anteriormente. A primeira etapa (P) consiste no planejamento, no qual haverá a definição de metas e de como as metas serão alcançadas. Em seguida, está a execução das atividades e a coleta de dados, que devem ser realizadas conforme planejadas (D). A terceira

etapa (C) corresponde à verificação do processo, pois com base nos dados coletados é possível verificar se o que foi efetivamente realizado está de acordo com o planejado. E, por fim, é a etapa da ação corretiva (A). Nessa fase, caso a meta não tenha sido alcançada, é preciso agir sobre as causas do problema e estipular um novo plano. Mas, se a meta foi alcançada, pode-se adotar o plano como padrão (WERKEMA, 2021, p. 30).

A seguir, o ciclo PDCA está representado (FIG. 1).

Figura 1 - Ciclo PDCA para controle de processos



Fonte: Campos (2014 *apud* WERKEMA, 2021, p. 31)

Então, infere-se que para que o ciclo PDCA seja um método efetivo, é necessário ter conhecimento de todas as informações e fatos relacionados a ele, visto que, quanto mais informações forem inseridas no plano, maior será a probabilidade de alcance de meta, já que cada parte do processo poderá ser controlada e corrigida, quando necessário.

Uma outra metodologia muito utilizada para análise e controle de processos, que complementa o recurso anterior é a Análise SWOT ou Matriz SWOT. Trata-se de uma ferramenta de "planejamento que ajuda as organizações a criar um plano



estratégico para atingir metas, melhorar as operações e manter os negócios relevantes” (WHITE, 2019).

A FIG. 2 a seguir ilustra como a matriz é normalmente representada:

Figura 2 - Representação da Análise/Matriz SWOT

	Fatores Positivos	Fatores Negativos
Fatores internos	<b>S</b> Strengths (força)	<b>W</b> Weaknesses (fraquezas)
Fatores externos	<b>O</b> Oportunities (oportunidades)	<b>T</b> Threats (ameaças)

Fonte: Adaptado de Casarotto (2019)

Teoli, Sanvictores e An (2020, tradução da autora) explicam que o termo SWOT vem da abreviação de *strengths*, *weaknesses*, *opportunities* e *threats*, em português, forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, respectivamente. Ainda não se tem um responsável pela criação dessa técnica de análise, mas estudos apontam que é muito utilizada desde a década de 60.

Segundo Hofrichter (2020), essa ferramenta ajuda a identificar os fatores externos e internos que interferem ou colaboram com o alcance do objetivo proposto para o processo, em que os pontos fortes e pontos fracos se enquadram no ambiente interno e as oportunidades e ameaças no âmbito externo.

Ainda tendo em vista as ideias de Hofrichter (2020), ele define os quatro pontos da seguinte forma:

- Pontos Fortes (forças): são pontos positivos, que podem ser atingíveis ou inatingíveis no processo, mas estão sob controle da organização;
- Pontos Fracos (fraquezas): são pontos negativos, que apesar de estarem sob controle da organização, podem prejudicar o processo;
- Oportunidades: são fatores externos positivos, que podem colaborar e impulsionar o processo, mas não representam uma condição controlável;
- Ameaças: são circunstâncias externas negativas, não controláveis, que podem perturbar o processo e levar ao não alcance de metas propostas.

Pode-se observar que, ao se ter conhecimento de todas as situações que estão diretas ou indiretamente ligadas ao processo, sejam internas ou externas, é possível estabelecer planos de ações contra todas as condições desfavoráveis a ele.

Portanto, infere-se que um gerenciamento bem executado, com as atividades devidamente distribuídas e avaliações constantes, contribui para a análise de processo, que é de suma importância para o alcance das metas e objetivos propostos, pois reduz os gastos excessivos, otimiza o tempo de produção com máximo rendimento e eficiência e garante a qualidade almejada pela empresa.

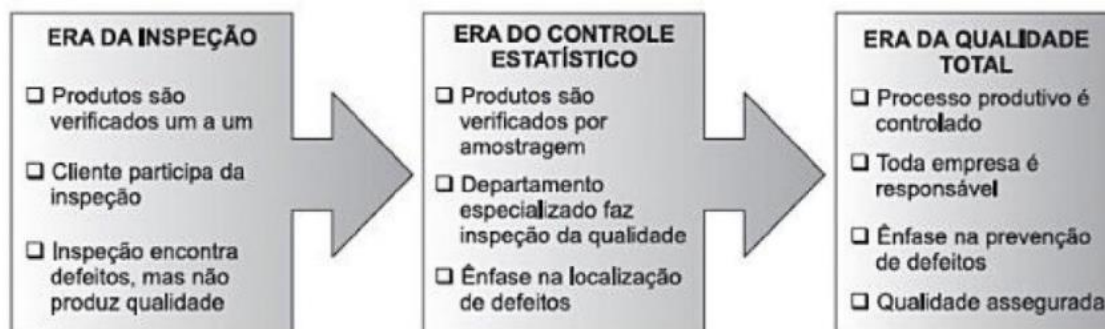
### **3.2 Análise de Qualidade**

O termo “qualidade” possui uma complexidade em seu significado literal, uma vez que inúmeros fatores interferem nessa perspectiva, como por exemplo, cultura, necessidade específica, expectativas geradas sobre o produto e/ou serviço, dentre outros que causam um olhar pessoal a respeito. Entretanto, a NBR ISO 9001:2015 (ABNT, 2015, p.8) aborda que a qualidade pode ser definida como um conjunto de princípios que tem por objetivo satisfazer a determinados requisitos.

Fernandes (2014) diz que ao se referir à qualidade, infere-se que esta passou por muitas modificações com o passar dos anos, já que deixou de ser um diferencial competitivo entre os concorrentes e passou a ser considerada como um pré-requisito de sobrevivência no mercado contemporâneo.

Lobo (2020) retrata que nesse novo contexto socioeconômico, em que existe uma forte concorrência e uma exigência maior do público, a qualidade passou a ser considerada sob uma nova perspectiva, a da conformidade ao custo, em que se deve obter uma alta qualidade com um custo menor de produção, tornando a organização mais competitiva. O autor Oliveira (2020) apresenta em sua literatura uma evolução do sistema da qualidade, conforme a FIG. 3.

Figura 3 - Evolução do sistema de qualidade



Fonte: Maximiano (2000 *apud* OLIVEIRA, 2020)

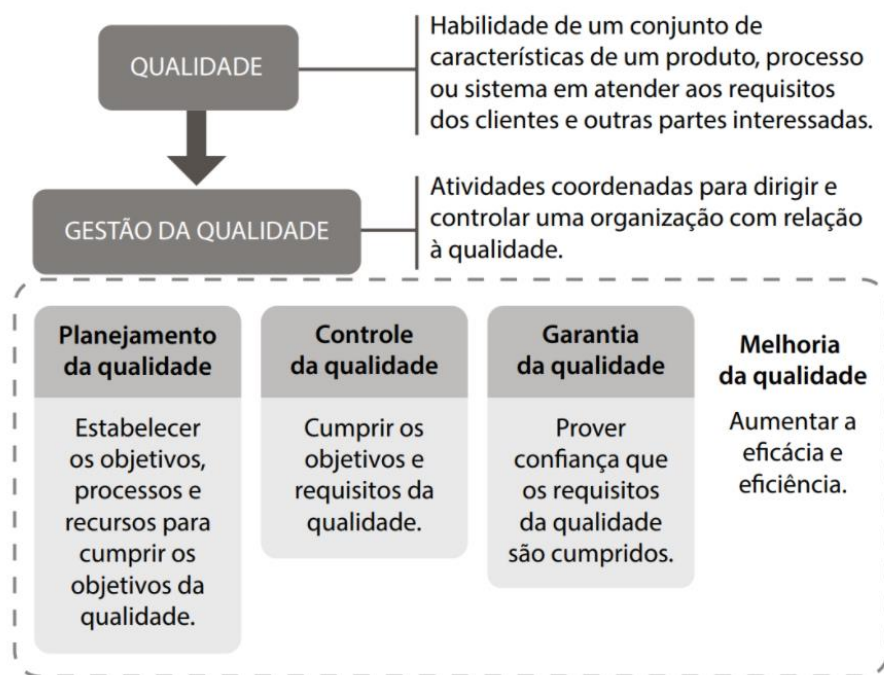
No entanto, o autor Lobo (2019) destaca que embora tenha tido uma evolução dos conceitos, as organizações não devem admitir que a última definição é a superior entre as demais e devem ter cautela em determinar qual é a mais adequada para o negócio, pois o mundo e a tecnologia estão em constante mudança e o próprio conceito de qualidade ainda pode evoluir e expandir. Em complemento, Pezzatto *et al.* (2018, p.16) retratam que “a qualidade representa não só a busca da satisfação dos clientes, mas a satisfação de todo o público de uma empresa, bem como a excelência de seus processos organizacionais”. Então, é perceptível que para um melhor controle dos processos e adequação às normas, o sistema de gestão de qualidade (SGQ) tornou-se imprescindível.

A implementação do sistema de gestão da qualidade, além de contribuir para a sobrevivência das organizações em ambientes competitivos, permite adequar produtos e serviços às exigências do mercado; ampliar o universo de atuação, estimulando o crescimento da organização; vencer barreiras comerciais; reduzir custos globais e aumentar as margens de lucro; e melhorar o desempenho global da organização com maior qualidade e produtividade, tornando-a mais competitiva e lucrativa (PEZZATTO *et al.*, 2018, p.18).

Segundo a NBR ISO 9001:2015 (ABNT, 2015, p.8), os princípios de gestão de qualidade são: foco no cliente, liderança, engajamento das pessoas, abordagem de processo, melhorias, tomada de decisão baseada em evidência e gestão de relacionamento.

A FIG. 4 traz uma abordagem dinâmica da relação entre o conceito de qualidade, a gestão da qualidade e os elementos que a integram.

Figura 4 - Conceitos de qualidade, gestão da qualidade e seus elementos



Fonte: Pezzatto *et al.* (2018, p. 20)

Souza (2018, p. 19) relata que para se alcançar a qualidade, é preciso que haja conformidade entre o que foi planejado e o que foi executado. Para tal, é necessário estabelecer critérios mensuráveis e metas atingíveis para que seja possível avaliar todos os procedimentos do processo produtivo.

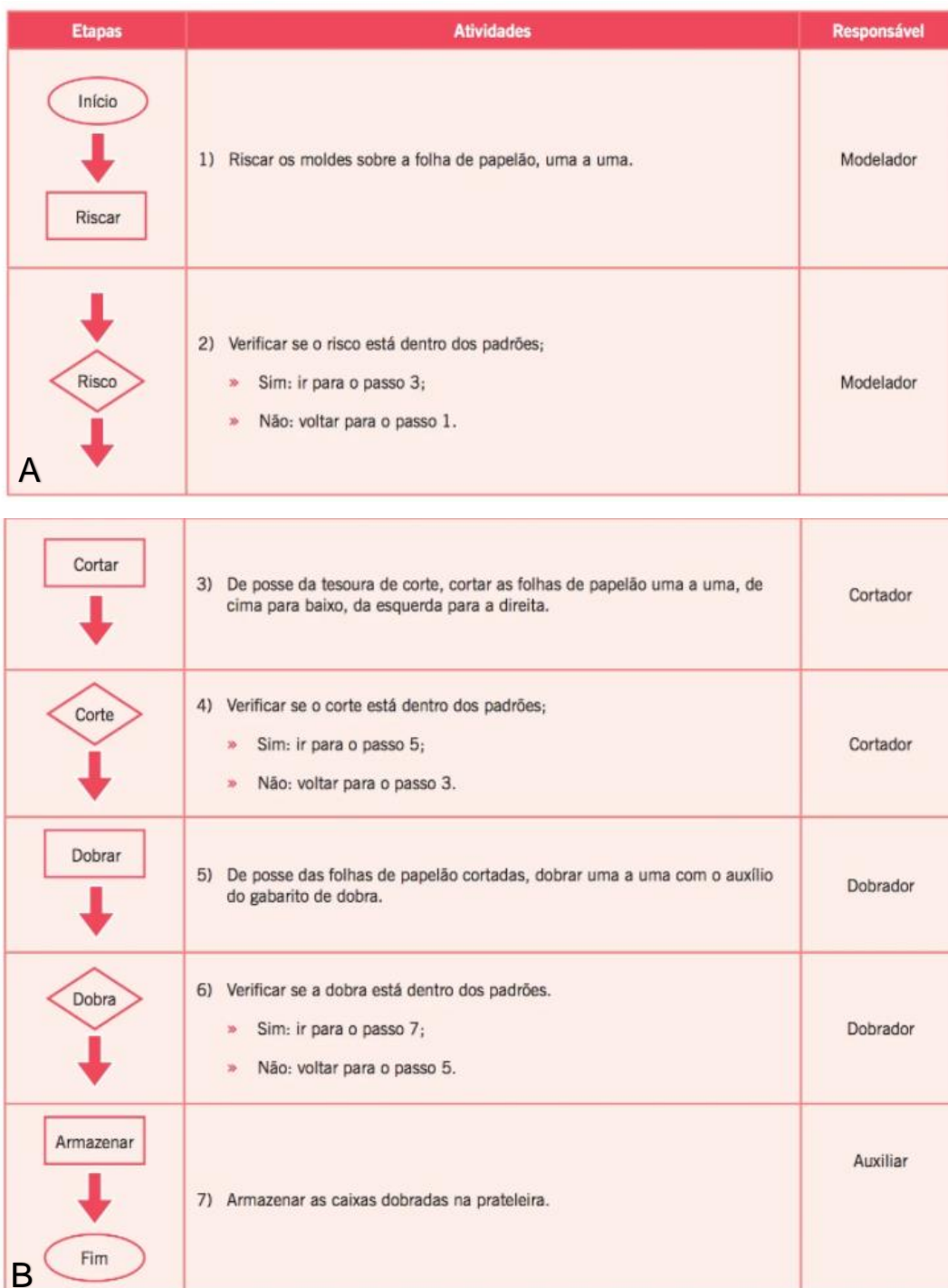
Então, com o intuito de garantir a qualidade almejada pelos consumidores, algumas metodologias e ferramentas são comumente utilizadas, com o intuito de prever as falhas e/ou controlá-las, bem como mensurar, analisar e propor soluções para eventuais problemas que podem ocorrer no processo.

### 3.2.1 Ferramentas para controle da qualidade

Dentre tantas ferramentas da qualidade, uma das mais utilizadas é o fluxograma, que tem por objetivo representar, de forma gráfica, o fluxo de um determinado processo, do início ao fim, indicando os passos das tarefas a serem realizadas, por meio de uma descrição visual, que facilita o entendimento e compreensão rápida de cada procedimento e a sua interferência no seguinte (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2015, p. 116).

A FIG. 5 retrata um exemplo de fluxograma construído para a produção de caixas de papelão.

Figura 5 - Exemplo de fluxograma para a produção de caixas de papelão



Fonte: Lobo; Limeira; Marques (2015, p.119 e p.120)

Legenda: A) Parte I do fluxograma

B) Parte II do fluxograma

A implementação de um fluxograma em um projeto e/ou procedimento contribui para a gestão, pois está diretamente ligada ao objetivo de cada processo do sistema. Além disso, as organizações têm, cada vez mais, desenvolvido ações que possuem várias áreas funcionais, aumentando a complexidade e, muitas vezes, a dificuldade de comunicação entre as pessoas e departamentos envolvidos na realização da atividade.

Lobo, Limeira e Marques (2015, p. 117) dizem que quando um processo é moldado por um diagrama de fluxo, é possível visualizar as inter-relações entre os setores envolvidos e as diferentes atividades, analisando-as individualmente, definindo e identificando pontos de interferência, podendo demonstrar antecipadamente os problemas e gerando a oportunidade de iniciar medidas de melhorias contínuas em todo o processo, evitando uma não-conformidade.

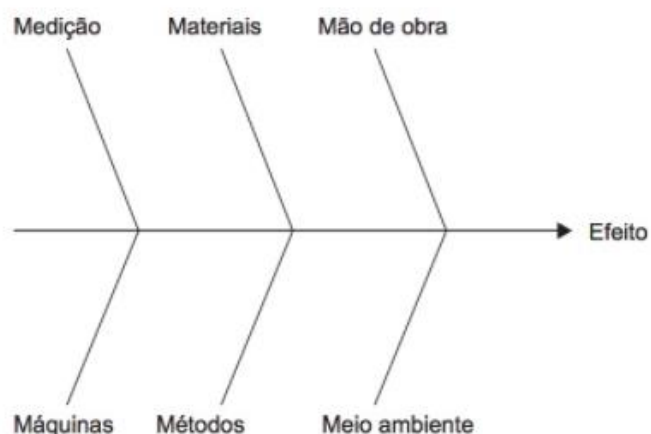
Todavia, por mais que os processos sejam monitorados e controlados, pode haver falhas com o produto ou serviço executado, gerando uma não-conformidade com o cliente. Para isso, o sistema de gestão da qualidade geralmente utiliza o Diagrama de Ishikawa, ou mais conhecido como diagrama de espinha de peixe ou diagrama de causa e efeito (POSSARLE, 2014).

Esse, por sua vez, foi desenvolvido para auxiliar na análise de problemas, representando a relação entre o efeito gerado (problema) e todas as possíveis causas que podem ter ocasionado tal fato (POSSARLE, 2014). De acordo com Lobo, Limeira e Marques (2015, p. 129), esse diagrama, desenvolvido por Ishikawa em 1943, tem o formato de uma espinha de peixe para facilitar a visualização de todas as causas supostas, de modo que aquelas que não geraram problema sejam expostas e eliminadas, evidenciando-se a causa raiz do efeito.

Os autores Lobo, Limeira e Marques (2015, p. 129) afirmam que essa metodologia tende a trazer melhorias surpreendentes no processo e ainda dizem: “é importante para se repensar as variáveis envolvidas em um processo. Por isso, para que possamos resolver os problemas, primeiramente precisamos identificar as suas causas”.

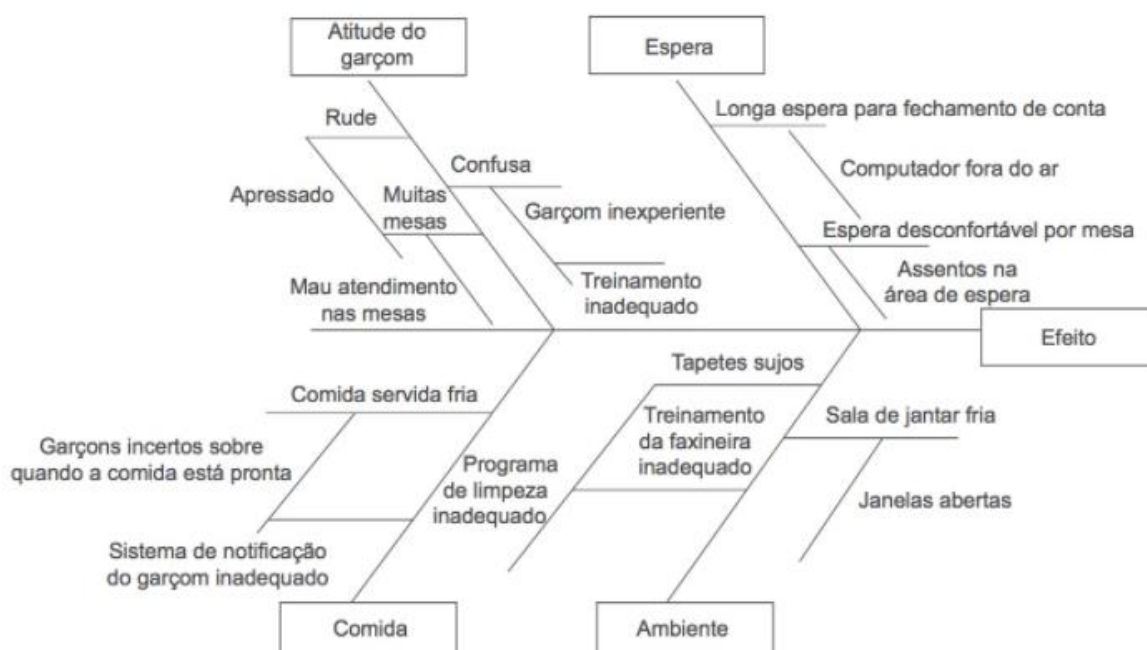
A FIG. 6 retrata um modelo padrão e simples, de forma macroscópica, de como é construído esse diagrama. Em seguida, a FIG. 7 demonstra um exemplo do diagrama aplicado para a análise da variação de atendimento em um restaurante.

Figura 6 - Modelo do Diagrama de Ishikawa



Fonte: Lobo; Limeira; Marques (2015, p.130)

Figura 7 - Diagrama de Ishikawa aplicado para analisar a variação de atendimento em um restaurante



Fonte: Lobo; Limeira; Marques (2015, p.130)

Segundo Brito Júnior (2021), em processos produtivos em que há presença de fatores incontroláveis que interferem no resultado do processamento, como por exemplo, a utilização de recursos naturais como matéria-prima, o controle e gestão da qualidade deve ser realizado desde o momento da aquisição dos insumos até o

produto acabado, para que se tenha o mínimo, ou o mais desejado, nenhum efeito negativo sob o produto (informação verbal).<sup>1</sup>

Esse tipo de procedimento supracitado pode ser exemplificado através de uma mineradora que tem por finalidade a produção de calcário. Nesse caso, as análises são realizadas desde as bancadas da jazida e extração da rocha calcária até a produção final. Essa conduta adotada tem o intuito de alterar os fatores controláveis com base na divergência dos incontroláveis, para produzir um material dentro das especificações garantidas aos clientes.

### 3.3 Calcário

#### 3.3.1 Origem geológica

De acordo com sua composição e formação geológica,

o calcário é uma rocha sedimentar que tem como constituinte principal o mineral calcite. É originado em meio marinho, quando este sofre perda de dióxido de carbono. No processo de reposição dos níveis de dióxido de carbono, dá-se a formação de calcite e a consequente precipitação desta. Mais tarde, forma-se o calcário, acumulando fósseis de animais marinhos (conchas, corais, algas) e estruturas sedimentares diversas, reflexo das condições ambientais existentes. Este processo de deposição pode conferir à rocha atributos estéticos importantes (SOLANCIS [2022]).

Em complemento, Lhoist [2022] traz uma abordagem em que “acredita-se que o calcário já exista há mais de três bilhões de anos, desde o período Pré-Cambriano”. Além disso, aborda que os mares proporcionam um solo fértil ideal para o calcário (carbonato de cálcio,  $\text{CaCO}_3$ ), devido ao depósito biológico acumulado, e é onde tudo se inicia.

O calcário é encontrado em diversas regiões do mundo, de formas bem variáveis, porque o local influencia diretamente na sua formação. Valadão (2021) explica que no Brasil, em especial em Minas Gerais, principalmente na região de Arcos e Pains, o calcário possui qualidade superior, devido às rochas sedimentares das pedreiras. Essas rochas diferenciam-se por não serem rochas vulcânicas, então seus minerais são mais puros e trazem melhor benefício para suas aplicações (informação verbal).<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> JÚNIOR, H. B. Experiência na área de mineração há 20 anos. Atualmente atua como gerente de produção. 16 de dezembro de 2021, Arcos – MG.

<sup>2</sup> VALADÃO, S. F. Experiência na área de mineração há 25 anos. Atualmente atua como supervisor de produção. 16 de dezembro de 2021, Arcos – MG.



### 3.3.2 Processo Produtivo

Brito Júnior (2021) explica que o processo produtivo do calcário se inicia no estudo da presença desse minério nas áreas de interesse, levando em consideração as análises da qualidade, quantidade (vida útil da pedra) e a viabilidade ambiental, em que se deve avaliar a liberação das minas para extração e beneficiamento do calcário. A conformidade de todos esses parâmetros com os órgãos ambientais garante que o processo pode continuar (informação verbal).<sup>3</sup>

Ao se tratar dos órgãos ambientais, é importante destacar o processo do licenciamento ambiental para mineração, uma vez que sem esses documentos em dia, as etapas de extração não podem ocorrer. Geoscan (2020) pontua que o licenciamento ambiental consiste em “um procedimento administrativo onde poderá ser concedida a licença ambiental pelo órgão responsável tanto no âmbito federal, estadual ou municipal para autorizar uma determinada atividade que será executada por uma pessoa física ou jurídica”.

Em complemento, Geoscan (2020) apresenta as três fases da licença para liberação da mina, sendo essas:

1. Licença Prévia: Implica no levantamento do estudo de impacto ambiental e a viabilidade econômica, social e ambiental do empreendimento para o Órgão ambiental responsável.
2. Licença de Instalação: Permite a instalação do empreendimento de acordo com os programas e projetos aprovados.
3. Licença de Operação: Autoriza a operação da atividade ou empreendimento.

Para maior esclarecimento, Geoscan (2020) descreve cada uma dessas etapas. Na fase da licença prévia (LP) acontece o planejamento e viabilidade do empreendimento. Já na licença de instalação (LI) ocorre o desenvolvimento da mina, instalação do complexo mineiro e implementação dos projetos de controle ambiental. Por fim, na fase da licença de operação (LO) os passos são a lavra, beneficiamento e acompanhamento de sistemas de controle ambiental.

Em conformidade com a parte de licenciamento, a empresa fica apta a prosseguir com os processos minerários. A primeira etapa consiste na descoberta do solo e na limpeza das áreas, como a retirada de terras, até as rochas calcárias se

---

<sup>3</sup> JÚNIOR, H. B. Experiência na área de mineração há 20 anos. Atualmente atua como gerente de produção. 16 de dezembro de 2021, Arcos – MG.

tornarem viáveis (informação verbal)<sup>4</sup> (THOMAZINI, 2021). A FIG. 8 ilustra esse momento.

Figura 8 - Primeiras rochas expostas após a limpeza



Fonte: A autora, 2022.

Segundo Thomazini (2021), após toda a limpeza, e as rochas estarem bem expostas, furos são feitos para que os explosivos sejam instalados e aconteça a detonação (momento em que ocorre a explosão). Assim, o material poderá ser melhor extraído, em tamanhos menores, mais fáceis de transportar (informação verbal).<sup>5</sup>

Valadão (2021) afirma que o próximo passo é o transporte desse material para a indústria. Vale ressaltar que quanto mais perto a mina for da indústria, melhor será sua viabilidade econômica, pois o valor do frete para esse traslado influencia diretamente na composição de custos e preço final de venda (informação verbal).<sup>6</sup>

De acordo com Valadão (2021), na indústria, o primeiro processo é o da britagem, em que as pedras brutas são reduzidas gradativamente até atingir o tamanho ideal para serem moídas. Posteriormente, para serem moídas, passam pelo processo de moagem, que transforma a matéria-prima em pó. Primeiramente no moinho de martelo, para produzir o calcário de maior granulometria e em seguida pelo

---

<sup>4</sup> THOMAZINI, E.D. Engenheiro de Mina. Experiência na área de mineração há 15 anos. Atualmente atua como Engenheiro de Mina. 17 de dezembro de 2021, Arcos – MG.

<sup>5</sup> Cf. THOMAZINI, 2021.

<sup>6</sup> VALADÃO, S. F. Experiência na área de mineração há 25 anos. Atualmente atua como supervisor de produção. 16 de dezembro de 2021, Arcos – MG.

moinho de bolas, que transforma em calcário mais fino. Essa pode ser considerada uma das partes mais importantes de todo processo, pois é justamente aqui que se determina a especificação e qualidade física do material. E, por fim, o calcário pode ser expedido a granel ou em algum acondicionamento, como sacarias e/ou *big bags* (informação verbal).<sup>7</sup>

### 3.3.3 Características do calcário

De acordo com Engelhardt e Engelhardt (2019), o calcário é uma rocha composta por calcita e/ou dolomita e, por esse motivo, é conhecido como calcário calcítico ou dolomítico, levando em consideração a porcentagem de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO). A sua classificação era comumente dividida em calcítico, dolomítico ou magnesiano, que, segundo Engelhardt e Engelhardt (2019), está diretamente ligada a concentração de MgO presente em sua composição, sendo:

- Calcário calcítico: Menor que 5% de MgO
- Calcário magnesiano: De 5 a 12% de MgO
- Calcário dolomítico: Maior que 12% de MgO

Porém, de acordo com as mudanças morfológicas das rochas calcárias, a nomenclatura “magnesiano” está, cada vez mais, sendo menos utilizada, mantendo um padrão em calcítico ou dolomítico (informação verbal)<sup>8</sup> (MENEZES, 2021).

Barcelos *et al* (2017) abordam que, dentre as características do calcário, estão as impurezas que podem se encontrar, como por exemplo: “silicatos, fosfatos, sulfetos, sulfatos, óxidos outros, além de matéria orgânica”.

Menezes (2021) ressalta que quando se fala das questões químicas do calcário, conforme já dito anteriormente, é exclusivamente proveniente da rocha calcária extraída, podendo ser alterada durante o processo produtivo, em caso de não conformidade ao que é comercializado (informação verbal).<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup> VALADÃO, S. F. Experiência na área de mineração há 25 anos. Atualmente atua como supervisor de produção. 16 de dezembro de 2021, Arcos – MG.

<sup>8</sup> MENEZES, E.R.T. Técnica em Química. Experiência de 33 anos na área de mineração. Atualmente é aposentada como Analista da Qualidade e prestadora de serviço como Consultora da Qualidade. 05 de outubro de 2021, Arcos – MG.

<sup>9</sup> Cf. MENEZES, 2021.

### 3.4 Aplicações do Calcário

Barcelos *et al* (2017) afirmam que, em uma visão geral, o calcário é um recurso mineral abundante, distribuído em todo Brasil e possui uma variedade grande de aplicações, como por exemplo, construção civil, indústrias de transformação (vidros, cerâmicas, eletrodos etc.), cimento, siderurgias, ingrediente para alimentação animal, agricultura, dentre outros.

#### 3.4.1 Calcário agrícola

Uma das aplicações mais conhecidas do calcário é na parte agrícola, que tem uma função extremamente importante no solo: atuar como corretivo da acidez do solo. De acordo com o estudo realizado por Wietholter (2000, p.10), os solos brasileiros, em sua maioria, são quimicamente ácidos e possuem um déficit grande dos nutrientes essenciais para as plantas. É importante destacar que a acidez é responsável por afetar a disponibilidade dos micro e macronutrientes no solo, deixando-os inviáveis para o plantio.

Wietholter (2000, p. 9) diz que a calagem é uma das práticas agrícolas mais antigas da humanidade, sendo utilizada há mais de 3 mil anos. Em complemento, Silva e Corrêa (2021) abordam que a prática de corrigir a acidez do solo tem como intuito principal deixar o solo com mais qualidade, ou seja, mais fértil para o plantio. Esse método, além de reduzir a acidez, eleva o pH do solo, disponibiliza cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para as plantas e reduz os elementos tóxicos presentes no solo, como alumínio e manganês (SILVA; CORRÊA, 2021).

Ademais, Souza *et al* (2021) alegam que “a correção apropriada da acidez do solo é extremamente válida para a sustentabilidade no uso do solo, visto que um solo ácido afeta negativamente o desenvolvimento e a produtividade das culturas”. Portanto, para realizar uma correção apropriada e obter um bom resultado com a calagem, é imprescindível que seja feita sob a dosagem correta desse insumo.

A dosagem correta é determinada após a coleta de uma amostra e, posterior análise do solo. Essa análise, com base em critérios técnicos, interpretada por um especialista na área de agronomia, apresentará como está a realidade do solo e apontar a quantidade e compostos químicos de que o solo necessita. A sua aplicação correta, atrelada ao manejo ideal, sem dúvidas, irá trazer resultados positivos ao

plantio (PRIMAVESI; PRIMAVESI, 2004, p. 8). “Poucas práticas agrícolas dão retornos tão elevados como a correção da acidez do solo, no que diz respeito ao aumento da produtividade das culturas” (BAMBOLIM *et al.*, 2015, p. 35).

O calcário agrícola possui duas variáveis que influenciam diretamente na recomendação que o técnico agrícola passará ao produtor, são elas: parte química e física do material. A parte química está diretamente ligada à qualidade da rocha calcária extraída, pois nela já constam as porcentagens dos elementos químicos presentes. Por outro lado, a parte física está relacionada à granulometria do calcário, mais conhecida no universo agrícola como Poder Reativo de Neutralização Total (PRNT) do calcário (MENEZES, 2021)<sup>10</sup>.

### **3.5 Características físico/químicas do calcário agrícola**

#### **3.5.1 Poder Reativo de Neutralização Total (PRNT)**

Giraldeli (2019) explana que o PRNT do calcário está associado à qualidade do calcário, bem como a sua eficiência no tempo de aplicação. Como dito anteriormente, esse valor está relacionado à granulometria do material (característica física) e é expresso em porcentagem (%). Rodrighero, Barth e Caires (2015) explicam que o PRNT do calcário interfere na velocidade de reação do corretivo no solo. Isso, porque quanto menor for a partícula do calcário, mais facilmente ele penetrará no solo e conseqüentemente, mais rápido será a reação. Portanto, quanto maior for o valor do PRNT, mais fino será o calcário.

Luz, Almeida e Braga (2018, p.153) esclarecem que a granulometria é definida e controlada no processo de moagem. Os principais moinhos de mineração de calcário podem ser classificados em martelo e de bolas. O moinho de martelo é responsável pela regularização granulométrica de acordo com o tipo de calcário a ser produzido, reduzindo-o, em pó calcário, a uma faixa de maior granulometria, entre 80 e 90% de PRNT.

Já o moinho de bolas tende a minimizar mais ainda o tamanho das partículas do pó calcário, transformando-o em pó extremamente fino, em uma faixa acima de 90

---

<sup>10</sup> MENEZES, E.R.T. Técnica em Química. Experiência de 33 anos na área de mineração. Atualmente é aposentada como Analista da Qualidade e prestadora de serviço como Consultora da Qualidade. 05 de outubro de 2021, Arcos – MG.

a 100% de PRNT. Normalmente, as faixas são as duas citadas, mas em algumas indústrias pode-se achar insumos abaixo de 80% e acima de 100%. Os calcários puros, sem aditivos, não costumam passar dessa faixa, uma vez que o PRNT está ligado ao Poder de Neutralização (PN) do calcário, e quando há aditivos químicos, o valor do PN se altera (informação verbal)<sup>11</sup> (ALVES, 2021).

Primavesi e Primavesi (2004, p. 27) relatam em seu estudo que a diferença de aplicação das faixas de PRNT dos calcários se deve à necessidade do momento. Por exemplo, quando há um atraso na calagem, recomenda-se aplicar o calcário com maior valor de PRNT, ou seja, mais fino, para se ter uma reação mais rápida no solo e corrigir o solo no tempo necessário. Em contrapartida, quando se há tempo para deixar o calcário reagir ou em algumas culturas, existe a necessidade de o corretivo apresentar efeito residual, recomendando-se então o calcário com partículas mais grossas, com menor valor de PRNT.

Gonçalves *et al* (2011) trazem uma explicação a respeito do efeito residual do calcário, que é o efeito da correção que se mantém no solo durante um determinado período. Os materiais mais finos são mantidos no solo por um período mais curto, por reagirem mais rápido. Por outro lado, os materiais com partículas mais grossas perduram por mais tempo, por ter uma reação mais prolongada.

Para a determinação e garantia desses valores, o MAPA prevê algumas diretrizes que devem ser seguidas, com base na porcentagem de partículas passantes. O art. 8º da Instrução Normativa Nº 39 prevê as exigências, especificações e garantias mínimas, de acordo com a sua natureza física (TAB. 1).

Tabela 1 - Especificações de natureza física e garantia granulométrica pelo MAPA

Natureza física	Especificação de natureza física	Garantia granulométrica (Peneiras)	Partículas Passantes
Sólido	Pó	2,0 mm (ABNT 10)	100%
		0,84 mm (ABNT 20)	70% mínimo
		0,3 mm (ABNT 50)	50% mínimo

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2018, p. 19.

Portanto, para a peneira de mesh 10, a porcentagem de partículas passantes, deve ser equivalente a 100%. Para a de mesh 20, é aceitável 70% e para a de mesh

<sup>11</sup> ALVES, J.P. Experiência na área de mineração há 20 anos. Atualmente atua como supervisor de produção. 12 de novembro de 2021, Arcos – MG

50, a porcentagem aceitável é de 50%.

Entretanto, Menezes (2021) explica que o MAPA determina as garantias mínimas, mas não exige que as empresas sigam os valores à risca, uma vez que os resultados serão adaptados à geologia da rocha calcária explorada, seja para as garantias químicas e/ou físicas. Então, cada produto possui um registro específico no MAPA contendo as garantias que a rocha consegue fornecer, tendo em vista os valores mínimos aceitáveis (informação verbal).<sup>12</sup>

### 3.5.2 Poder de Neutralização (PN)

Segundo Primavesi e Primavesi (2004, p. 13), “o poder de neutralização indica a capacidade potencial do corretivo de neutralizar a acidez do solo”. Isto é, quanto maior for o valor de PN, maior será a eficácia do calcário para corrigir a acidez do solo. O Poder de Neutralização do calcário está associado à natureza química do calcário. A taxa de variação ocorre de acordo com a rocha explorada, tendo a região da mineração como um fator expressamente relevante.

Complementando, um estudo realizado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) explica que o PN é “expresso em teor de neutralizante equivalente ao carbonato de cálcio (% E CaCO<sub>3</sub>)” (BRASIL, 2013, p. 537). Então, para todos os tipos de corretivos de solo, tornou-se relevante considerar o CaCO<sub>3</sub> como o componente neutralizante. Na TAB. 2 a seguir, estão representados os valores mínimos aceitáveis de PN para os corretivos de solo.

Tabela 2 - Especificações para os corretivos de acidez dos solos

Material corretivo de acidez	PN (%E CaCO <sub>3</sub> ) Mínimo	Soma %CaO + %MgO	PRNT mínimo
Calcário agrícola	67	38	45
Calcário calcinado agrícola	80	43	54
Cal hidratada agrícola	94	50	90
Cal virgem agrícola	125	68	120
Parâmetros de referências para outros corretivos de acidez	67	38	45

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2006, p. 3.

<sup>12</sup> MENEZES, E.R.T. Técnica em Química. Experiência de 33 anos na área de mineração. Atualmente é aposentada como Analista da Qualidade e prestadora de serviço como Consultora da Qualidade. 05 de outubro de 2021, Arcos – MG.

Conforme apresentado, a legislação brasileira vigente, representada por meio da Instrução Normativa DAS/ Nº 35, de 04 de julho de 2006, rege que o valor mínimo de PN deve ser igual a 67% para o calcário agrícola. Nas técnicas mais antigas, esse valor era obtido através do método de titulação, que pode ser detalhado e explicado da seguinte forma:

A capacidade de neutralização de um corretivo é obtida através de uma determinação analítica que se fundamenta em fazer uma amostra de corretivo exercer toda a sua capacidade de neutralização sobre uma quantidade conhecida e em excesso de ácido clorídrico; em seguida determina-se o excesso de ácido e, por diferença, tem-se a quantidade de ácido neutralizada, que é quimicamente equivalente à quantidade de constituintes neutralizantes presente na amostra de corretivo (BRASIL, 2013, p. 537).

Porém, com o avanço das tecnologias e, pensando na saúde e segurança dos profissionais de laboratórios químicos, as indústrias passaram a adotar equipamentos de Raio-X, como é o exemplo do espectrofotômetro de fluorescência de Raio-X por energia dispersiva (EDXRF), em que, de acordo com a empresa fornecedora desses tipos de equipamentos (*Malvern Panalytical*), a amostra recebe uma fonte de radiação, que ocasiona uma fluorescência, para posteriormente, ser medida por um detector de energia dispersiva (informação verbal)<sup>13</sup> (MENEZES, 2021). A FIG. 9 ilustra o equipamento citado anteriormente.

Figura 9 - Espectrofotômetro de fluorescência de RAIO-X por energia dispersiva (EDXRF)



Fonte: A autora, 2022.

<sup>13</sup> MENEZES, E.R.T. Técnica em Química. Experiência de 33 anos na área de mineração. Atualmente é aposentada como Analista da Qualidade e prestadora de serviço como Consultora da Qualidade. 05 de outubro de 2021, Arcos – MG.



Menezes (2021) diz que como o equipamento é capaz de armazenar inúmeros elementos da tabela periódica, o detector presente nele separa as radiações emitidas para identificar os elementos presentes na amostra analisada, fornecendo o resultado em menos de cinco minutos. Por ser uma técnica computadorizada, a margem para erros cai drasticamente, o que leva a uma confiabilidade maior nos resultados obtidos (informação verbal).<sup>14</sup>

De acordo com a Eirene Solutions (2021), a tecnologia está cada vez mais presente na agricultura. Eles retratam um exemplo de veracidade dessa informação quando abordam que a agricultura de precisão deverá ter um crescimento exponencial no período de 2020 a 2030, sendo esta, um tipo de manejo já muito utilizado por diversos produtores.

A agricultura de precisão pode ser definida como um manejo diferente, que possibilita ao produtor conhecer melhor a sua área de plantio. São ferramentas tecnológicas que apontam, por exemplo, o tempo certo para corrigir o solo, a quantidade certa de insumos a serem aplicados, o local adequado, dentre outros fatores que contribuem para uma produção mais eficiente, lucrativa e sustentável (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2021).

Por esse motivo, torna-se imprescindível, que as mineradoras produtoras de calcário agrícola se adaptem ao cenário tecnológico, para alcançarem a máxima qualidade nos produtos e poderem ofertar uma maior confiabilidade nas especificações apresentadas aos clientes.

---

<sup>14</sup> MENEZES, E.R.T. Técnica em Química. Experiência de 33 anos na área de mineração. Atualmente é aposentada como Analista da Qualidade e prestadora de serviço como Consultora da Qualidade. 05 de outubro de 2021, Arcos – MG.

## 4 METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado através de consulta a livros, e-books, artigos científicos, acadêmicos, periódicos, plataformas online de busca de artigos, como *Scielo* e Google Acadêmico, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorados e dados coletados no dia a dia de uma indústria de mineração, no período de fevereiro de 2021 a maio de 2022.

Todo o trabalho foi desenvolvido com base nas diretrizes e ferramentas de monitoramento da qualidade, levando em consideração o processo produtivo e todas as especificações necessárias que interferem diretamente no produto final e nos tópicos analisados.

Foram elaboradas análises de todo o sistema produtivo dos dois tipos de calcários estudados, sendo o calcário agrícola com PRNT de 80 a 85% e o de PRNT de 95 a 100%, para entender e definir o quanto a granulometria interfere no resultado e quais são as medidas corretivas que devem ser aplicadas ao procedimento.

Para isso, a pesquisa contou com coletas de dados e acompanhamento do processo, desde o momento da extração do calcário até o seu último processamento dentro da empresa de mineração em questão, para garantir que todas as etapas fossem analisadas. Os principais equipamentos estudados foram aqueles que são de variáveis controláveis, sendo o moinho de martelo e o moinho de bolas, que são utilizados para formar a granulometria do material.

### 4.1 Desenvolvimento do Simulador

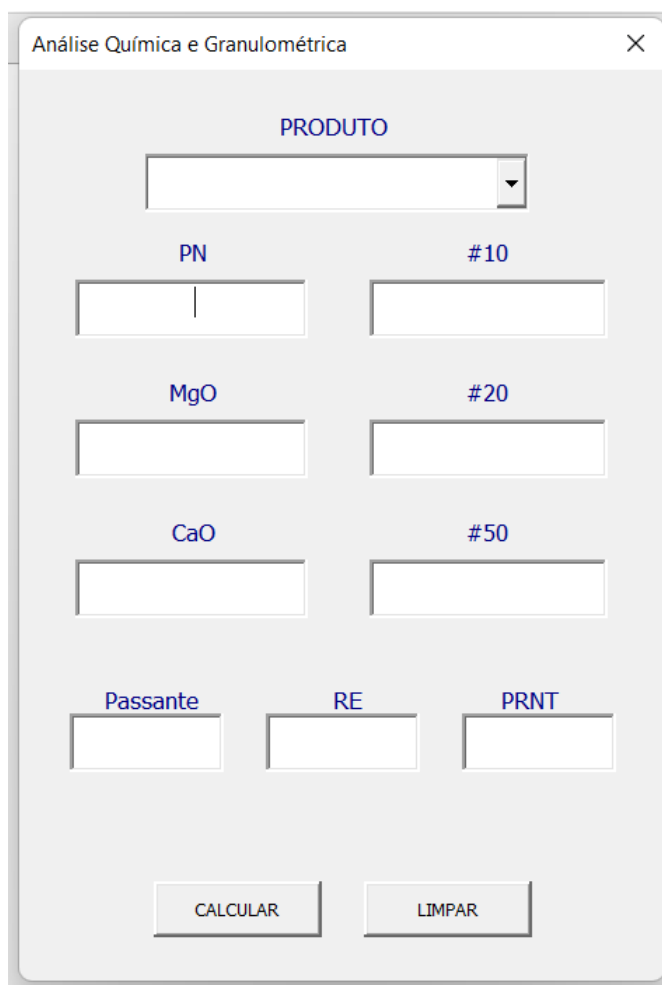
Para preservar os dados da empresa, desenvolveu-se um simulador no programa *Visual Basic for Applications* (VBA), na ferramenta de Excel, no qual foi possível simular algumas análises, de forma aleatória, mas levando em consideração à proximidade da realidade dos ensaios realizados na mineração, podendo identificar e explicitar os resultados de como a granulometria interfere diretamente no PRNT do calcário. A FIG. 10 ilustra a plataforma desenvolvida, em sua interface inicial e a FIG.11 demonstra a interface principal do simulador.

Figura 10 - Interface inicial do simulador VBA



Fonte: A autora, 2022.

Figura 11 - Interface principal do simulador VBA

A imagem mostra a interface principal do simulador. No topo, há um campo de seleção rotulado "PRODUTO". Abaixo dele, há campos de entrada para "PN" e "#10". Seguem-se campos para "MgO" e "#20", e "CaO" e "#50". Na base, há campos para "Passante", "RE" e "PRNT". No rodapé, há dois botões: "CALCULAR" e "LIMPAR".

Fonte: A autora, 2022.

Para um maior foco e ênfase na granulometria do calcário, considerou-se que a parte química estava em conformidade com as garantias. Bem como, na simulação da parte química (PN), manteve-se as partes físicas em conformidade. É importante ressaltar que isso não é um procedimento utópico, desde que se trabalhe em um lote de matéria-prima que esteja com valores próximos e dentro da garantia. E, a fim de

comparações, utilizou-se as tabelas que contêm as garantias químicas e físicas da empresa, que estão registradas no MAPA.

Por fim, para estabelecer as medidas corretivas para os problemas identificados nos moinhos, que estavam interferindo no resultado das granulometrias, fez-se necessário estudar os manuais de manutenção dos equipamentos, disponibilizados pelos respectivos fabricantes.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Ensaio granulométricos

#### 5.1.1 Calcário com PRNT de 80 a 85%

Na TAB.3 encontram-se as garantias mínimas registradas no MAPA. Esses dados apresentados foram utilizados como parâmetros para comparar os resultados obtidos nas simulações, de forma a verificar se estes se enquadram ou não às garantias padrões.

Tabela 3 - Garantias químicas e físicas mínimas registradas no MAPA - Calcário dolomítico PRNT 80 a 85%

Discriminação	Garantia	Unidade de medida
Soma CaO + MgO	49.4000	%
CaO	43.9000	%
MgO	5.5000	%
PN	91.7800	%
Peneira 2,00 mm (ABNT n° 10)	100.0000	%
Peneira 0,84 mm (ABNT n° 20)	92.0000	%
Peneira 0,30 mm (ABNT n° 50)	76.0000	%
PRNT	80.0300	%

Fonte: A autora, 2022.

As simulações realizadas encontram-se nas FIG.12, 13, 14 e 15.

Figura 12 - Primeira simulação – PRNT 80 a 85%

Análise Química e Granulométrica

PRODUTO

Dolomítico 80 - MgO 5,5

PN	#10	
93	1	
MgO	#20	
5.5	7	
CaO	#50	
44	22	
Passante	RE	PRNT
70	85,6	79,61

Valor abaixo da garantia.

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.

Figura 13 - Segunda simulação – PRNT 80 a 85%

Análise Química e Granulométrica

PRODUTO

Dolomítico 80 - MgO 5,5

PN	#10	
92	0	
MgO	#20	
5.5	9	
CaO	#50	
44	22	
Passante	RE	PRNT
69	84	77,28

Valor abaixo da garantia.

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.

Figura 14 - Terceira simulação – PRNT 80 a 85%

Análise Química e Granulométrica

PRODUTO

Dolomítico 80 - MgO 5,5

PN	#10	
92	0	
MgO	#20	
5.5	7	
CaO	#50	
44	25	
Passante	RE	PRNT
68	84,4	77,65

Valor abaixo da garantia.

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.

Figura 15 - Quarta simulação – PRNT 80 a 85%

Análise Química e Granulométrica

PRODUTO

Dolomítico 80 - MgO 5,5

PN	#10	
91	0	
MgO	#20	
5.5	2	
CaO	#50	
44	16	
Passante	RE	PRNT
82	92	83,72

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.

Nas três primeiras simulações apresentadas, os resultados das peneiras ficaram 1% a mais do que o valor limite estabelecido pelo MAPA permite, conforme a TAB.3, sendo respectivamente nas peneiras mesh 10, mesh 20 e mesh 50. No simulador, esses valores aparecem em vermelho, como forma de alerta para o usuário de que eles estão fora da faixa estabelecida. Já na quarta simulação, o valor de PN foi modificado a 0,78 a menos do que a garantia mínima e a parte física foi mantida dentro dos padrões.

Com isso, foi possível perceber que a granulometria interfere diretamente no valor do PRNT. Como visto na quarta simulação, mesmo que a variável do PN esteja levemente abaixo do permitido, as granulometrias estando conformes, o PRNT mantém-se na faixa aceitável. A FIG. 16 ilustra uma simulação de um exemplo de todas as garantias conformes, aproximando-se da idealidade.

Figura 16 - Quinta simulação – Valores Conformes

PRODUTO		
Dolomítico 80 - MgO 5,5		
PN	#10	
94	0	
MgO	#20	
5.5	2,5	
CaO	#50	
44	16,5	
Passante	RE	PRNT
81	91,4	85,92

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.



### 5.1.2 Calcário com PRNT de 95 a 100%

Para o calcário com PRNT de 95 a 100%, as garantias encontram-se na TAB.

4.

Tabela 4 - Garantias químicas e físicas mínimas registradas no MAPA - Calcário dolomítico PRNT 95 a 100%

Discriminação	Garantia	Unidade de medida
Soma CaO + MgO	51.5000	%
CaO	46.000	%
MgO	5.5000	%
PN	95.5200	%
Peneira 2,00 mm (ABNT n° 10)	100.0000	%
Peneira 0,84 mm (ABNT n° 20)	99.9000	%
Peneira 0,30 mm (ABNT n° 50)	98.9000	%
PRNT	95.0600	%

Fonte: A autora, 2022.

As simulações realizadas encontram-se nas FIG.17, 18, 19, 20 e 21.

Figura 17 - Primeira simulação – PRNT 95 a 100%

Análise Química e Granulométrica

PRODUTO  
Dolomítico 95 - MgO 5,5

PN #10  
96 30

MgO #20  
5.5 0,1

CaO #50  
46 1,1

Passante RE PRNT  
68,8 99,48 95,5

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.

Figura 18 - Segunda simulação – PRNT 95 a 100%

Análise Química e Granulométrica

PRODUTO  
Dolomítico 95 - MgO 5,5

PN	#10
96	0
MgO	#20
5.5	1
CaO	#50
46	1,1

Passante	RE	PRNT
97,9	98,76	94,81

Valor abaixo da garantia.

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.

Figura 19 - Terceira simulação – PRNT 95 a 100%

Análise Química e Granulométrica

PRODUTO  
Dolomítico 95 - MgO 5,5

PN	#10
96	0
MgO	#20
5.5	0
CaO	#50
46	3

Passante	RE	PRNT
97	98,8	94,85

Valor abaixo da garantia.

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.

Figura 20 - Quarta simulação – PRNT 95 a 100%

Análise Química e Granulométrica

PRODUTO  
Dolomítico 95 - MgO 5,5

PN	#10
96	1,5
MgO	#20
5.5	2
CaO	#50
46	1

Passante	RE	PRNT
95,5	98	94,08

Valor abaixo da garantia.

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.

Figura 21 - Quinta simulação – PRNT 95 a 100%

Análise Química e Granulométrica

PRODUTO  
Dolomítico 95 - MgO 5,5

PN	#10
95,5	0
MgO	#20
5.5	0
CaO	#50
46	0,2

Passante	RE	PRNT
99,8	99,92	95,42

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.

Pode-se observar que o calcário com PRNT de 95 a 100% comporta-se de forma distinta do calcário com PRNT de 80 a 85%. Diferentemente do primeiro ensaio, na primeira simulação desse material, não é possível variar apenas uma das peneiras, mesmo havendo uma variação muito discrepante, conforme mostrado na FIG. 17. Porém, essa discrepância entre o resultado da simulação e a realidade não acontece de fato, visto que a primeira peneira, mesh 10, tem suas grades com 2 mm e como esse material passa pelos dois moinhos, martelos e de bolas, o segundo moinho, fragmenta ainda mais as partículas do material, deixando-o bem mais fino. Então, a porcentagem de retidos nessa peneira deve ser igual a 0.

Na segunda simulação, considerando que na peneira de mesh 20 houve 0,9% a mais de retido, já foi possível observar uma queda no valor do PRNT. Isso ocorreu porque essa peneira possui 0,84 mm em suas grades, ou seja, já é mais fácil de detectar partículas fora do padrão. O mesmo acontece na terceira simulação, com a peneira mesh 50, em que suas grades possuem 0,3 mm.

Já na quarta simulação, considerou-se que duas peneiras haviam porcentagem de retidos superior à garantia. Nesse caso, diferente da primeira simulação, já foi possível observar uma alteração no valor de PRNT.

E, a quinta simulação foi realizada para, novamente, exemplificar que mesmo que o valor de PN esteja um pouco abaixo do padrão, as granulometrias estando em conformidade, o valor de PRNT mantém-se dentro dos parâmetros. A FIG. 22 representa uma simulação em que os valores se apresentam próximos da idealidade.

Figura 22 - Sexta simulação – Valores Conformes

Análise Química e Granulométrica

PRODUTO  
Dolomítico 95 - MgO 5,5

PN 98 #10 0

MgO 5.5 #20 0

CaO 46 #50 0,2

Passante 99,8 RE 99,92 PRNT 97,92

CALCULAR LIMPAR

Fonte: A autora, 2022.

### 5.1.3 Medidas corretivas para as divergências granulométricas

Quando a parte química se encontra em concordância com os parâmetros pré-estabelecidos e apenas a parte granulométrica não condiz, é necessário fazer alguns ajustes mecânicos nos moinhos para retomar ao padrão, de acordo com as instruções de seu manual. É importante destacar que mesmo havendo manutenções preventivas e supervisão dos equipamentos, algumas vezes é necessário realizar manutenção corretiva.

#### 5.1.3.1 Moinho de Martelo

O moinho de martelo é composto por várias peças. Contudo, algumas são mais relevantes quanto à interferência na granulometria do calcário. São elas:

- Martelos (FIG. 23);
- Grelhas de 2 mm (FIG.24);
- Queixo (FIG. 24);
- Rotor com oito posições (FIG. 25);

Figura 23 – Martelo novo



Fonte: A autora, 2022.

Figura 24 - Queixo e grelhas de 2 mm



Fonte: A autora, 2022.

Legenda: a) Queixo.  
b) Grelhas de 2 mm.

Figura 25 - Rotor com oito posições



Fonte: A autora, 2022.

Dentre as peças apresentadas, os martelos e as grelhas são as peças fundamentais que determinam a qualidade granulométrica do calcário. Por esse motivo, as medidas corretivas são concentradas neles. O primeiro passo para realizar a manutenção corretamente é desligar o equipamento via painel – ação automatizada – e realizar os bloqueios elétricos e mecânicos pelos responsáveis pela manutenção. Esse passo é de suma importância para impedir qualquer tipo de acidente.

Em seguida, com o equipamento aberto, deve-se analisar as seguintes situações: como está a vida útil dos martelos e das grelhas. Os martelos ficam acoplados no rotor, conforme demonstrado na FIG. 26. Como é um processo rotativo dentro do moinho, os martelos trabalham apenas de um lado, sendo necessário realizar a virada destes. O manual recomenda que sejam realizadas 4 viradas, além de ter um rodízio, trocando os que ficam nas pontas pelos que ficam no meio, pois os das laterais tendem a se desgastar mais.

Figura 26 - Martelos acoplados ao rotor



Fonte: A autora, 2022.

É possível verificar na foto que o quarto martelo (último à direita) está sem desgaste algum de um lado e com desgaste de outro. Portanto, faz-se necessário realizar a primeira virada e o rodízio deles. Essa ação já permite normalizar as granulometrias, evidentemente a curto prazo, dependendo da produção.

Todavia, quando chegar o momento da terceira virada, os dois lados dos martelos já estarão desgastados. Diante disso, é necessário trocar a sua posição no rotor, trazendo-o mais para perto das grelhas e colocando-o na segunda ou primeira posição. Normalmente, sua posição inicial é no terceiro furo, quando os martelos estão novos.

Efetuada todas as viradas possíveis, o martelo perderá sua utilidade, pois mesmo estando próximo da grelha não conseguirá quebrar as rochas o suficiente e voltará a causar divergência nos parâmetros. Nesse caso, realiza-se a troca da pastilha do martelo (parte superior). Na FIG. 27 está representado um modelo de martelo gasto, sem aproveitamento.



Figura 27 - Martelo sem aproveitamento



Fonte: A autora, 2022.

Em alguns casos, dependendo do material britado, pode-se ocasionar a quebra da pastilha do martelo nas primeiras rotações do moinho. Isso pode ocorrer, por exemplo, com as rochas de maior teor de sílica ou de MgO, que são mais resistentes e pode acarretar a quebra. Em tal caso, é feita a troca imediata para não danificar as outras peças do equipamento. A FIG. 28 ilustra um exemplo de uma pastilha quebrada.

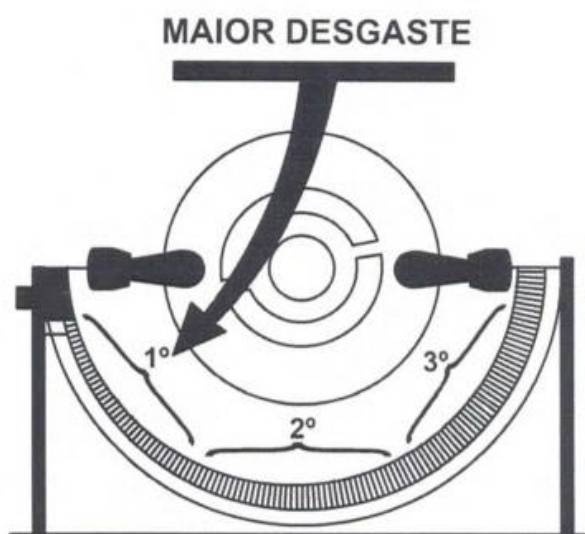
Figura 28 - Pastilha do martelo quebrada



Fonte: A autora, 2022.

Em relação às grelhas, também é possível realizar virada e rodízio. O fornecedor recomenda que o desgaste máximo das lâminas seja de  $\frac{2}{3}$  da sua altura total. Ou seja, em cada lado da lâmina é permitido o desgaste de  $\frac{1}{3}$  da sua altura. A parte que mais sofre o desgaste é a primeira terça, logo abaixo do queixo. A FIG. 29 ilustra o posicionamento das grelhas.

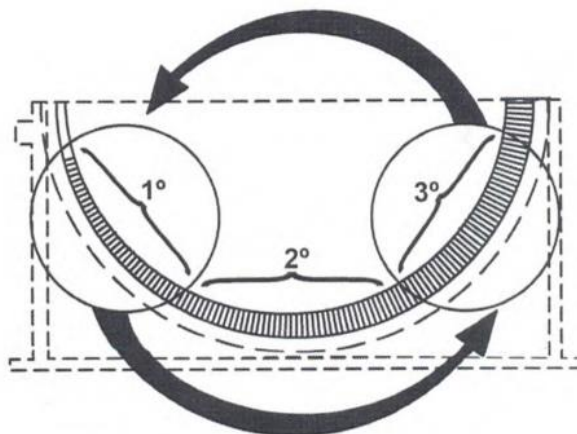
Figura 29 - Posicionamento das grelhas no moinho



Fonte: Imetec, 2005.

O rodízio das grelhas consiste em trocar o primeiro pelo último terço das pastilhas, conforme exemplificado na FIG. 30. Isso, porque o último recebe menos impacto e sofre menos desgaste.

Figura 30 - Instrução de como realizar o rodízio das grelhas



Fonte: Imetec, 2005.

Quando esse procedimento não for mais possível devido ao seu alto desgaste, é necessário que se faça a virada das grelhas. Ou seja, colocar o lado de cima (em uso) para baixo, possibilitando outros rodízios até a troca das grelhas. É indispensável que, assim como os martelos, tenha monitoramento e manutenção frequente nas grelhas, pois elas são de suma importância para manter a uniformidade granulométrica do calcário.

Sendo assim, os martelos e as grelhas devem ser ajustados em tempo real com base nos resultados passados pelo laboratório de controle da qualidade, para que a granulometria seja corrigida o quanto antes e a produção prossiga produzindo o calcário adequado.

### 5.1.3.2 Moinho de bolas

O calcário sai do moinho de martelos com o PRNT em uma faixa de 80 a 85%. E, para produzir o calcário com PRNT de 95 a 100%, é necessário que passe pelo moinho de bolas (FIG. 31).

Figura 31 - Moinho de bolas



Fonte: A autora, 2022.

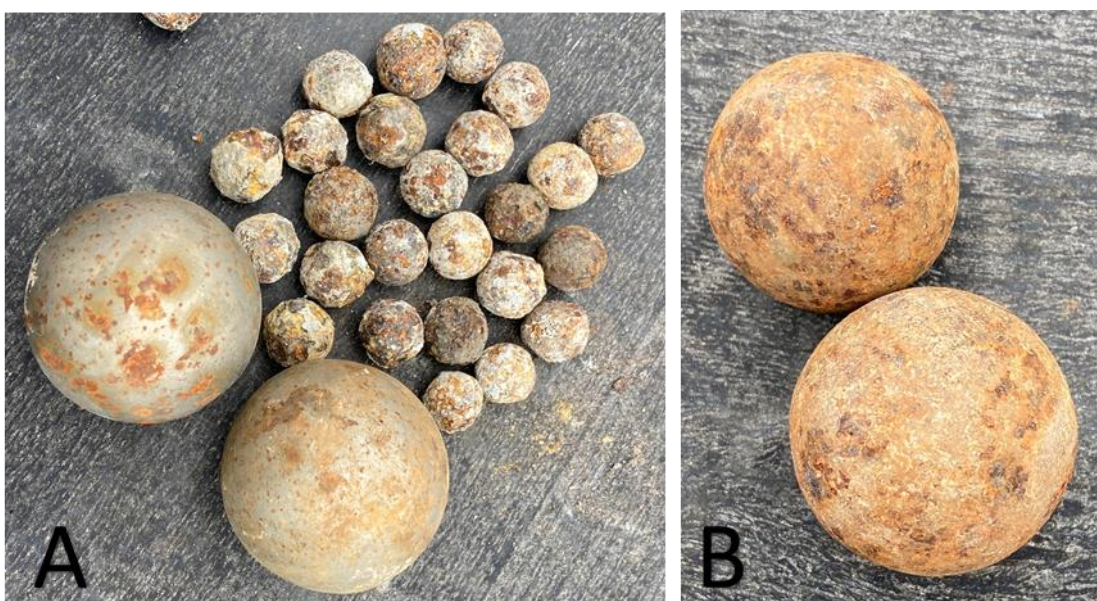
O moinho de bolas é um equipamento rotativo que possui em seu interior cerca de 30 a 40% de bolas de aço, que variam de um a quatro cm de diâmetro. A rotação promove sucessivas colisões entre as esferas de aço e o calcário, fragmentando mais suas partículas e, conseqüentemente, reduzindo a sua granulometria, chegando a uma faixa de PRNT de 95 a 100%.



Quando não se consegue alcançar essa faixa, mas o problema não se encontra no moinho de martelos, é necessário que sejam averiguadas e corrigidas três situações: se as bolas do moinho estão em quantidade adequadas, como está a vida útil das esferas e a velocidade de rotação do moinho. Normalmente, o moinho é abastecido com mais de um tamanho das bolas, para conseguir atingir o máximo de partículas possíveis.

Na FIG. 32 estão representadas as esferas do moinho de bolas.

Figura 32 - Esferas de aço do moinho de bolas



Fonte: A autora, 2022.

Legenda: a) Esferas de 2 e 4 cm de diâmetro.

b) Esferas de 3 cm de diâmetro.

Para esse equipamento, as correções se concentram apenas nas esferas que estão operando dentro do moinho e na velocidade de rotação, desde que o moinho em si esteja totalmente adequado ao funcionamento. Portanto, ajustando esses pontos supracitados, o PRNT retorna ao padrão.

Assim como no moinho de martelos, é importante que a correção seja feita o quanto antes para que a produção siga produzindo o material com a qualidade adequada. E, para essa rápida identificação, é imprescindível que amostras sejam coletadas e analisadas de hora em hora.

## 5.2 Ensaio químicos

Na FIG. 33 está exposta a simulação realizada para o ensaio químico do calcário com PRNT 80 a 85%.

Figura 33 – Ensaio químico – PRNT 80 a 85%

The figure shows two screenshots of a software interface titled 'Análise Química e Granulométrica'. Both screenshots show the same product selection: 'Dolomítico 80 - MgO 5,5'. The input fields are as follows:

Parameter	Value (A)	Value (B)
PN	85	90
#10	0	0
MgO	5.5	5,5
#20	1,5	1,5
CaO	44	44
#50	15	15
Passante	83,5	83,5
RE	92,8	92,8
PRNT	78,88	83,52

In screenshot A, the PRNT value of 78,88 is highlighted in red, and a red note below it reads 'Valor abaixo da garantia.' In screenshot B, the PRNT value is 83,52, which is within the 80-85% range. Both screenshots have 'CALCULAR' and 'LIMPAR' buttons at the bottom.

Fonte: A autora, 2022.

Legenda: a) Primeiro ensaio químico.

b) Segundo ensaio químico.

Conforme apresentado na TAB. 3, o valor mínimo do PN para esse material é de 91,78. Na primeira simulação realizada, representada pela FIG. 13 (A), percebe-se que o valor de PN ficou 6,78 a menos do que o desejável, sendo uma diferença relevante. Já na FIG.13 (B) ficou apenas 1,78 a menos, não sendo uma diferença menor que no primeiro caso.

Pode-se observar que na primeira simulação, o PN influencia diretamente no valor do PRNT. Já na segunda simulação, como há uma diferença pequena no teor do PN, o PRNT mantém-se na faixa desejável. Isso aconteceu devido à discrepância nos resultados do PN. Quando há uma diferença muito grande, mesmo as granulometrias estando conformes, não se consegue alcançar o valor mínimo de

PRNT. E, quando se tem uma discrepância pequena no PN, as granulometrias estando conformes, essa variável tem um impacto menor no resultado do PRNT.

O mesmo comportamento é constatado no calcário com PRNT de 95 a 100%, conforme representado pela FIG. 34.

Figura 34 - Ensaio químico - PRNT 95 a 100%

The figure displays two screenshots of a software interface titled 'Análise Química e Granulométrica'. Both screenshots show the same product: 'Dolomítico 95 - MgO 5,5'. The interface includes input fields for various parameters and their corresponding values.

Parâmetro	Valor
PN	89
#10	0
MgO	5.5
#20	0
CaO	46
#50	0,2
Passante	99,8
RE	99,92
PRNT	88,93

Valor abaixo da garantia.

Legend: A) Primeiro ensaio químico. B) Segundo ensaio químico.

Fonte: A autora, 2022.

Legenda: a) Primeiro ensaio químico.  
b) Segundo ensaio químico.

### 5.2.1 Medidas corretivas para as divergências químicas

Assim como há correções para as divergências granulométricas, quando apenas a parte química não se encontra em concordância com os parâmetros pré-estabelecidos, existem duas alternativas para corrigir esse problema, são elas: blendagem e troca de bancada na extração.

### **5.2.1.1 Blendagem**

De acordo com Chebli *et al.* (2015), o processo de blendagem é quando se faz uma mistura, em proporções adequadas, de minérios que apresentam características diferentes, com a finalidade de alcançar as propriedades almejas. À vista disso, quando o PN está abaixo da garantia química, é necessário realizar a blendagem com um calcário de maior PN, a fim de equilibrar e alcançar a especificidade desejada, levando em consideração as garantias de seu respectivo registro no MAPA.

### **5.2.1.2 Troca da bancada na extração**

Caso a tentativa de uma primeira blendagem não seja suficiente ou não tenha material apto e pronto para ser blendado, faz-se necessário trocar a bancada da extração do minério. Em tal caso, análises químicas são realizadas em vários pontos e em diferentes bancadas, para averiguar em qual local deve ser feita a extração, visando a aquisição de um material com maior PN, com a finalidade de ser utilizado em uma segunda blendagem ou diretamente na britagem do material específico.

## **5.3 Aplicabilidade do simulador desenvolvido**

O simulador desenvolvido pode ser aplicado em todas as indústrias de mineração produtoras de calcário agrícola. Ele tem a finalidade de calcular o valor do passante, da reatividade e do PRNT do calcário, de forma rápida, prática e confiável, uma vez que as fórmulas padrões dos cálculos e as diretrizes de conformidade são projetados na plataforma uma única vez, sendo atualizadas à medida que os padrões de conformidade forem alterados pela organização.

Além disso, com a utilização desse simulador, é possível se constatar uma relevante otimização de tempo por parte dos colaboradores, já que, usualmente, o departamento de controle da qualidade das minerações realiza os cálculos de forma manual e, nesse caso, é necessário apenas alimentar o simulador com dados básicos e o sistema realiza todos os cálculos em instantes.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade de um processo/serviço ofertado aos clientes tem se tornado, cada vez mais, uma preocupação, tanto por parte dos consumidores quanto dos fornecedores. Ao se falar dessa atenção dos clientes, nesse caso, produtores rurais, consumidores do calcário para corretivo de solo, a sua busca por qualidade tem crescido devido ao desenvolvimento tecnológico na agricultura, já que na atualidade, é possível se ter uma cultura de precisão, podendo ser mais assertivo no tipo e quantidade de insumo agrícola que irá utilizar.

E, em relação aos fornecedores, a busca pela excelência e maior qualidade oferecida é em circunstância da evolução do mercado, uma vez que a qualidade está, cada dia mais, deixando de ser um diferencial competitivo e tornando-se uma condição primordial para o posicionamento de uma marca no mercado.

Diante disso, as constantes evoluções e aprimoramento das indústrias no setor de qualidade também têm crescido, com o intuito de conseguir monitorar o processo produtivo como um todo e em tempo real, minimizando os erros e garantindo que o produto final esteja de acordo com o projetado.

Nas minerações produtoras de calcário agrícola, um dos pontos de maior atenção é em relação ao PRNT do calcário, pois o seu resultado impacta diretamente na eficácia da aplicação do insumo no solo. Para isso, a utilização das ferramentas de qualidade torna-se essencial para um maior e melhor controle dos processos.

No que se refere ao PRNT do calcário, com o presente estudo, foi possível confirmar que a granulometria interfere diretamente em seu resultado final. Uma vez que, quanto maior a porcentagem de retidos nas peneiras, menor é o valor de PRNT. Confirmando também, a teoria de Rodrighero, Barth e Caires (2015), que quanto maior for o valor do PRNT, mais fino será o calcário, ou seja, maior a porcentagem de passantes nas peneiras.

Além disso, foi possível observar nas simulações, como a granulometria tem maior efeito sobre o PRNT do que o PN, pois desde que não haja uma discrepância grande dessa variável em relação a sua garantia e as granulometrias estando conformes, não há interferência significativa no PRNT, a ponto de deixá-lo fora dos parâmetros.

E, no que diz respeito ao simulador, esse pode ser aplicado em todas as minerações produtoras de calcário agrícola, com a finalidade de otimizar o tempo dos



colaboradores do departamento de controle da qualidade e fornecer os resultados das análises de forma mais rápida, prática e confiável.

Por conseguinte, no que diz respeito aos objetivos geral e específicos do estudo em questão, estes foram alcançados com êxito.

## REFERÊNCIAS

ARAUJO, Luis César G.; GARCIA, Adriana Amadeu; MARTINES, Simone. **Gestão de processos**: melhores resultados e excelência organizacional. São Paulo: Atlas, 2017. *E-book*.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001:15**: Sistema de gestão da qualidade - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BAMBOLIM, Amauri *et al.* Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 2, n. 3, p. 34-37, jul/set. 2015.

BARCELOS, Marcos Antônio *et al.* Análise das propriedades físico-químicas de calcários calcíticos depositados em diferentes níveis de jazida da região de Matozinhos (MG). **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 9, n. 3, p. 260-266, dez. 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Calcário agrícola**. Brasília, DF: Agência Nacional de Mineração. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-1-2013-calcario-agricola#:~:text=Legalmente%20o%20assunto%20%C3%A9%20tratado,ou%20biofertilizantes%20destinados%20%C3%A0%20agricultura>. Acesso em: 21 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa DAS Nº 35, de 4 de julho de 2006**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 12 jul. 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 10 ago. 2018. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/36278414/do1-2018-08-10-instrucao-normativa-n-39-de-8-de-agosto-de-2018-36278366](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/36278414/do1-2018-08-10-instrucao-normativa-n-39-de-8-de-agosto-de-2018-36278366). Acesso em: 06 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio – Brasil 2020/21 a 2030/31**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2021.

BRITANICA. Artigos. **Calcário**. Disponível em: <https://escola.britannica.com.br/artigo/calc%C3%A1rio/481747>. Acesso em: 30 out. 2021.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC**: controle da qualidade total (no estilo japonês). 9.ed. Nova Lima: Editora Falconi, 2014.

CASAROTTO, Camila. Aprenda o que é análise SWOT, ou análise FOFA, e saiba como fazer uma análise estratégica do seu negócio. *In: Blog Rockcontent*, 20 dez. 2019. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/como-fazer-uma-analise-swot/>. Acesso em: 28 set. 2021.

CHEBLI, Mohamede Hassan Zaki *et al.* Potencial do calcário comercial blindado com rejeito de mineração na correção da acidez do solo. *In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 2015, Natal. **O solo e suas múltiplas funções**. Natal, Centro de convenções, 2015. Disponível em: <https://www.eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1797.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2022.

EIRENE. Blog. **Tendências da agricultura de precisão para 2021**. Disponível em: <https://www.savefarm.com.br/tendencias-da-agricultura-de-precisao-para-2021>. Acesso em: 20 nov. 2021.

ENGELHARDT, Juliana Layber Mota; ENGELHARDT, Henrique. Análise das propriedades químicas de calcários calcíticos para indústria siderúrgica. **Revista científica multidisciplinar núcleo do conhecimento**. São Paulo, v. 08, mar. 2019. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/analise-das-propriedades. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/analise-das-propriedades>. Acesso em: 30 out. 2021.

FELDER, Richard M.; ROUSSEAU, Ronald W.; BULLARD, Lisa G. **Princípios elementares dos processos químicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2018. *E-book*.

FERNANDES, Elisangela Elias. **Qualidade: Não mais um diferencial, e sim uma sobrevivência para as instituições**. 2014. Dissertação (Pós-graduação de MBA em Gestão da Qualidade) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GEOSCAN. Blog. **Licenciamento ambiental para mineração**. Disponível em: <https://www.geoscan.com.br/blog/licenciamento-ambiental-para-mineracao/>. Acesso em: 29 mar. 2022.

GIRALDELI, Ana Lúcia. Como o PRNT do calcário pode mudar toda a sua correção de solo. *In: O blog da aegro*, 10 jun. 2019. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/prnt/>. Acesso em: 07 nov. 2021.

GONÇALVES, J. R. P. *et al.* Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n.2, p. 369-375, 2011. DOI 10.4025/actasciagron.v33i2.3659.

HOFRICHTER, Markus. **Análise SWOT**. São Paulo: Simplissimo Livros, 2020. *E-book*. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=yXEEDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT18&dq=an%C3%A1lise+SWOT&ots=PQ3MfV6AUZ&sig=Z87z0SwUJysAxXt\\_0UI5unYqUe0#v=onepage&q=an%C3%A1lise%20SWOT&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=yXEEDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT18&dq=an%C3%A1lise+SWOT&ots=PQ3MfV6AUZ&sig=Z87z0SwUJysAxXt_0UI5unYqUe0#v=onepage&q=an%C3%A1lise%20SWOT&f=false). Acesso em: 28 set. 2021.

IMETEC. **Manual de instruções e catálogos de peças**. Moinho de martelos MCF-120-B. 2 ed. Colombo, Paraná, 2005.

KOCIK, Marta Jagusiak. PDCA cycle as a part of continuous improvement in the production company - a case study. **Production engineering** archives. Warsaw, Poland, abr. 2017. DOI 10.30657/pea.2017.14.05.

LHOIST. Tudo sobre cal e minerais. **Origens do calcário**. [2022]. Disponível em: [https://www.lhoist.com/br\\_br/origens-do-calc%C3%A1rio](https://www.lhoist.com/br_br/origens-do-calc%C3%A1rio). Acesso em: 30 out. 2021.

LOBO, Renato Nogueirol. **Gestão da Qualidade**. São Paulo: Érica, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=S8y8DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT18&dq=gestao+da+qualidade&ots=BShWodZ8xi&sig=uK458tjiXFFuVbJsMZSNQPhqV4A#v=onepage&q&f=true>. Acesso em: 03 out. 2021.

LOBO, Renato Nogueirol; LIMEIRA, Eika Thalita Navas Pires; MARQUES, Rosiane do Nascimento. **Controle da qualidade**: princípios, inspeção e ferramentas de apoio na produção de vestuário. São Paulo: Érica, 2015. *E-book*.

LUZ, A. B. da.; ALMEIDA, S. L. M; BRAGA, P.F.A. Britagem e Moagem. **Tratamento de Minérios**, Rio de Janeiro, 6. ed., p. 133-183, ago.2018.

MALVERN PANALYTICAL. Produtos. **Fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF)**. Disponível em: <https://www.malvernpanalytical.com/br/products/technology/xray-analysis/x-ray-fluorescence/energy-dispersive-x-ray-fluorescence>. Acesso em: 20 nov. 2021.

MAXIMIANO, Antônio César Amaru. **Teoria Geral da Administração**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

OLIVEIRA, Otávio J. **Gestão da qualidade**: Tópicos avançados. São Paulo: Cengage Learning, 2020. *E-book*. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=AlwMEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=gestao+da+qualidade&ots=\\_2nTNN\\_D3g&sig=U\\_KMhyiSxXf7oToL1An2GQbJQbE#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=AlwMEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=gestao+da+qualidade&ots=_2nTNN_D3g&sig=U_KMhyiSxXf7oToL1An2GQbJQbE#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 03 out. 2021.

PRIMAVESI, Ana Cândida; PRIMAVESI, Odo. **Características de corretivos agrícolas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004.

PERLINGEIRO, Carlos Augusto G. **Engenharia de Processos**: análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos. São Paulo: Blucher, 2018. *E-book*.

PEZZATTO, Alan Thomas *et al.* **Sistema de controle da qualidade**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. *E-book*.

POSSARLE, Roberto. **Ferramentas da qualidade**. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2014.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Ponta Grossa, p. 1723-1736, jul. 2015. DOI 10.1590/01000683rbcS20150036. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcS/a/mVLVQbkYfGzrwhcDX4WPSXn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 nov. 2021.

SEBRAE. Artigo. **Saiba o que é e como funciona a metodologia PDCA**. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/4-etapas-do-pdca-melhoram-gestao-dos-processos-e-qualidade-do-produto,9083438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 13 set. 2021.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Projetos e programas. **Agricultura de Precisão**. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/projetos-e-programas/agricultura-de-precis%C3%A3o>. Acesso em: 21 nov. 2021

SILVA, E. M. F.; CORRÊA, V. R. C. **Theobroma grandiflorum: os efeitos do cobre, gessagem e correção do solo em fase inicial de desenvolvimento**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021.

SOLANCIS. Pedreiras. **A origem da pedra**. [2022]. Disponível em: <http://www.solancis.com/pt/pedreiras/a-origem-da-pedra>. Acesso em: 30 out. 2021.

SORDI, José Osvaldo De. **Gestão por processos: uma abordagem da moderna administração**. São Paulo: Saraiva Educação, 2018. *E-book*.

SOUZA, F. J. L. *et al.* Fontes fosfatadas e acidez do solo na produção de mudas *Theobroma grandiflorum*. **Nature and conservation**, v. 14, n.1, p.141-148, dez.2020/fev.2021. DOI 10.6008/CBPC2318-2881.2021.001.0016.

SOUZA, Stefania Marcia de Oliveira. **Gestão da qualidade e produtividade**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

TEOLI D.; SANVICTORES T.; AN J. SWOT Analysis. **StatPearls Publishing**. Treasure Island (FL), fev. 2019. DOI 30725987.

VARGAS, Arturo Realyvásquez *et al.* Applying the plan-do-check-act (PDCA) cycle to reduce the defects in the manufacturing industry. A case study. **Applied sciences**. Baja California, Mexico, nov. 2018. DOI 10.3390/app8112181.

WERKEMA, Cristina. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Rio de Janeiro: GEN | Grupo Editorial Nacional. Publicado pelo selo Editora Atlas, 2021. *E-book*.

WHITE, Sarah K. Você sabe quando e como fazer uma análise de SWOT?. *In: CIO*, 05 jan. 2019. Disponível em: <https://cio.com.br/gestao/voce-sabe-quando-e-como-fazer-uma-analise-de-swot/>. Acesso em: 28 set. 2021.

WIETHOLTER, Sírio. **Calagem no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000.

ZAIRI, M. **Business process management**: a boundaryless approach to modern competitiveness. *Business Process Management; Bradford*, v. 3, n. 1, p. 64-80, 1997.