



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE XXXXXXXXX
DEPARTAMENTO DE XXXXXXXXXX
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PAULO CESAR DA SILVA JUNIOR

**CONTRIBUIÇÕES PARA O ENTENDIMENTO DA INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS NA
VIBRAÇÃO DE MOINHOS DE ROLOS VERTICAIS, NO PROCESSO DE MOAGEM
DO CIMENTO COM AUXÍLIO DE MACHINE LEARNING.**

FORTALEZA

2024

PAULO CESAR DA SILVA JUNIOR

CONTRIBUIÇÕES PARA O ENTENDIMENTO DA INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS NA
VIBRAÇÃO DE MOINHOS DE ROLOS VERTICAIS, NO PROCESSO DE MOAGEM DO
CIMENTO COM AUXÍLIO DE MACHINE LEARNING.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia mecânica
do Centro de XXXXXXXX da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do grau de bacharel em Engenharia
mecânica.

Orientador: Profa. Dra. Rosineide Fer-
nando da Paz

FORTALEZA

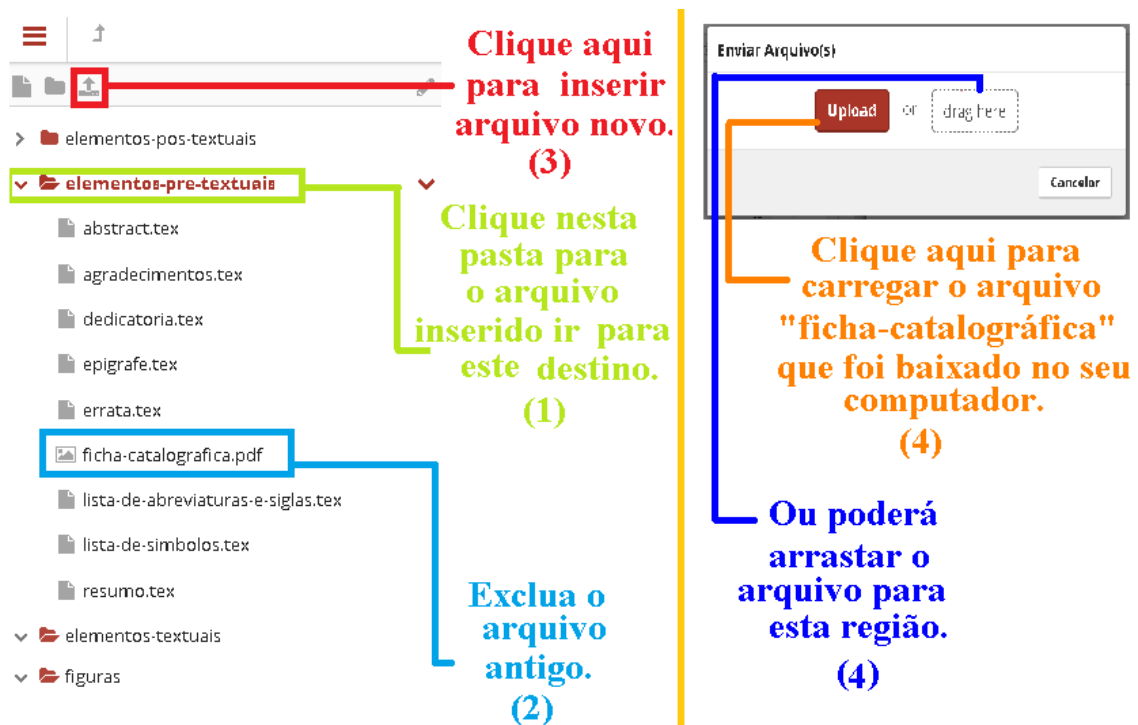
2024

Para criar sua ficha catalográfica, preencha corretamente o Módulo de Elaboração de Fichas Catalográficas (CATALOG!) disponibilizado no link:

<http://fichacatalografica.ufc.br/>

Em seguida, deve-se renomear o arquivo gerado como “ficha-catalografica” e adicioná-lo ao *template* na pasta “elementos-pre-textuais”. É necessário, contudo, excluir o antigo arquivo “ficha-catalografica” antes de adicionar o novo.

A figura a seguir mostra os passos enumerados para a inclusão da ficha catalográfica no *ShareLatex*.



PAULO CESAR DA SILVA JUNIOR

CONTRIBUIÇÕES PARA O ENTENDIMENTO DA INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS NA
VIBRAÇÃO DE MOINHOS DE ROLOS VERTICAIS, NO PROCESSO DE MOAGEM DO
CIMENTO COM AUXÍLIO DE MACHINE LEARNING.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia mecânica
do Centro de XXXXXXXX da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do grau de bacharel em Engenharia
mecânica.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rosineide Fernando da Paz (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX
Universidade do Membro da Banca Dois (SIGLA)

Prof. Dr. XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX
Universidade do Membro da Banca Três (SIGLA)

Prof. Dr. XXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXX
Universidade do Membro da Banca Quatro (SIGLA)

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ricardo Silva Thé Pontes por me orientar em minha tese de doutorado.

Ao Prof. Dr. Tobias Rafael Fernandes Neto, coordenador do Laboratório de Sistemas Motrizes (LAMOTRIZ) onde este *template* foi desenvolvido.

Ao Doutorando em Engenharia Elétrica, Ednardo Moreira Rodrigues, e seu assistente, Alan Batista de Oliveira, aluno de graduação em Engenharia Elétrica, pela adequação do *template* utilizado neste trabalho para que o mesmo ficasse de acordo com as normas da biblioteca da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Aos bibliotecários da Universidade Federal do Ceará: Francisco Edvander Pires Santos, Juliana Soares Lima, Izabel Lima dos Santos, Kalline Yasmin Soares Feitosa e Eliene Maria Vieira de Moura, pela revisão e discussão da formatação utilizada neste *template*.

Ao aluno Thiago Nascimento do curso de ciência da computação da Universidade Estadual do Ceará que elaborou o *template* do qual este trabalho foi adaptado para Universidade Federal do Ceará.

Ao Prof. Dr. Humberto de Andrade Carmona do Curso de Física da UFC pelo primeiro incentivo para o uso do L^AT_EX.

Ao aluno de graduação em engenharia elétrica e amigo, Lohan Costa por me apresentar a plataforma *ShareLatex* que depois migrou para a plataforma *OverLeaf*.

Aos amigos de laboratório, Felipe Bandeira, Renan Barroso e Roney Coelho, pelas discussões sobre os recursos do L^AT_EX.

Aos meus pais, irmãos e sobrinhos, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender.

E à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento (Funcap), na pessoa do Presidente Tarcísio Haroldo Cavalcante Pequeno pelo financiamento da pesquisa de doutorado via bolsa de estudos.

“O sonho é que leva a gente para frente. Se a gente for seguir a razão, fica aquietado, acomodado.”

(Ariano Suassuna)

RESUMO

Em *Pelas Ondas do Rádio: Cultura Popular, Camponeses e o MEB* analisa a participação de camponeses do nordeste brasileiro no Movimento de Educação de Base. A perspectiva da tese é a de demonstrar como os trabalhadores envolvidos com as escolas radiofônicas elaboraram ações para manutenção e reprodução da escola em sua comunidade, visando obter os benefícios necessários à reprodução e melhoria de seu modo de vida. A partir de representações políticas e culturais singulares, dentre as quais vigoraram: um sentido para escola, um papel para o sindicato e para participação política, preceitos do direito de uso da terra e dos direitos do trabalho, assim como, sentidos múltiplos para o uso do rádio como meio de comunicação, informação e lazer, os camponeses do MEB, foram coadjuvantes da proposição católica modernizadora de inícios de 1960. Isto posto, demarca que a ação do camponês nordestino e seu engajamento político, seja no MEB, nos sindicatos rurais, nas Juventudes Agrárias Católicas (JAC's), no MCP, e nas mais diversas instâncias dos movimentos sociais do período, não se apartaram do processo modernizador. Neste sentido, considera-se que a modernização brasileira foi pauta das instituições, organismos políticos e partidos, assim como, do movimento social, instância em que ela foi ressignificada a partir de elementos da vida material, que envolviam diretamente, no momento em questão, a problemática do direito a terra, do direito a educação e cultura e dos direitos do trabalho.

Palavras-chave: Camponeses. Cultura popular. Educação de adultos. Escola rural.

ABSTRACT

In this on the radio waves: popular culture, peasants and the Basic Education Movement we analyze the participation of peasants of the Brazilian northeastern region in the Basic Education Movement. The focus of this thesis is to demonstrate how the labors involved with broadcast schools have elaborated actions for maintaining and spreading the schools in their communities, in order to achieve the necessary means to improve their way of life. Peasants of the Basic Education Movement have been coadjuvant of the modernizing catholic proposition of the early 1960s, by means of quite peculiar political and cultural representations. Some of these representations were: a meaning for the school, a role for the union and for the political participation, precepts of the land use rights and labor rights, and the multiple meanings of the radio as a mass communication, information and leisure medium. This study intends to stress that the actions – and the political enrollment – of the northeastern peasant could not ever be separated from the modernizing process. The connection can be observed in different social movements of the period, such as the Basic Education Movement, rural unions, the Catholic Agrarian Youth and the MCP. In this sense, we consider that, if the Brazilian modernization was a guideline for the institutions, political organisms and parties for the social movement, such a modernization was a guideline of demands based on elements of material life. Those elements included, by that time, the agrarian reform, the educational issue and labor urgencies.

Keywords: Adult education. Community schools. Peasants. Popular culture.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS

A_e	Área efetiva da antena
B	Largura de faixa em que o ruído é medido em Hertz
d	Distância em metros
E	Campo elétrico
FA	Fator da antena
Gr	Ganho de recepção
h	Altura efetiva ou comprimento efetivo de uma antena
I	Corrente elétrica
k	Constante de Boltzmann's
K	Eficiência de irradiação
M	Variação do patamar de ruído em função da RBW
N	Condutor de neutro
NF	Figura de ruído
N_i	Potência do ruído na entrada
N_o	Potência do ruído na saída
P	Potência
R	Resistência
S_i	Potência do sinal na entrada
S_o	Potência do sinal na saída
t	Tempo
V	Tensão
Z_L	Impedância da antena
Z_o	Impedância de referência (50Ω)
λ	Comprimento de onda
Γ	Coefficiente de reflexão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

Para começar a utilizar este *template*, siga o tutorial clicando no seguinte *link*: http://www.biblioteca.ufc.br/images/arquivos/instrucoes_modelos/tutorial_sharelatex.pdf

For further references see Something Linky or go to the next url: <http://www.sharelatex.com> or open the next file File.txt

Neste *template*, o autor irá encontrar diversas instruções e exemplos dos recursos do uso do \LaTeX na plataforma *Overleaf*. O \LaTeX foi desenvolvido, inicialmente, na década de 80, por Leslie Lamport e é utilizado amplamente na produção de textos matemáticos e científicos, devido a sua alta qualidade tipográfica (??).

O *Overleaf* é uma plataforma *online* que pode ser acessado por meio de qualquer navegador de internet até mesmo de um *smartphone*. Essa plataforma dispensa a instalação de aplicativos no computador para desenvolver trabalhos em \LaTeX . Também, não é necessário instalar *packages*, ou seja, pacotes que permitem diferentes efeitos na formatação e no visual do trabalho. Todos os *packages* que este *template* utiliza são encontrados *online*.

Apresentam-se, também, neste modelo, algumas orientações de como desenvolver um trabalho acadêmico. Entretanto, este arquivo deve ser editado pelo autor de acordo com o seu trabalho sendo que a formatação já está de acordo com o aceito pela Universidade Federal do Ceará.

A introdução, tem como finalidade, dar ao leitor uma visão concisa do tema investigado, ressaltando-se o assunto de forma delimitada, ou seja, enquadrando-o sob a perspectiva de uma área do conhecimento, de forma que fique evidente sobre o que se está investigando; a justificativa da escolha do tema; os objetivos do trabalho; o objeto de pesquisa que será investigado. Observe que não se divide a introdução em seções, mas a mesma informa como o trabalho ao todo está organizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O cimento é composto por uma mistura de calcário e argila, sendo representado por 75-80% e 20-25%, respectivamente de cada composto (??). Suas aplicações são extremamente difundidas em toda a sociedade, desde a sua invenção, até os dias de hoje. Isso se evidencia quando observamos que a origem do cimento ocorreu há cerca de 4.500 anos. Naquela época, os monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. As grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorino, ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água.(??).

Figura 1 – Fotografia do Coliseu, em Roma.



Fonte: ??).

Dito isso, o ponto de inflexão no processo de desenvolvimento do cimento aconteceu em 1756 pelo inglês John Smeaton, que através da calcinação de calcários moles e argilosos conseguiu obter um produto resistente. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. A mistura obtida, após secar, tornou-se tão dura quanto as pedras que eram utilizadas nas construções. Além disso, uma propriedade importante desse novo material era que ele não se dissolvia em água. Posteriormente, foi patenteado com o nome de cimento Portland, por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (??).

Figura 2 – Fotografia de cimento Portland.



Fonte: ??).

2.1 Composição química geral do cimento

A tabela ?? apresenta os principais componentes presentes na composição química do cimento, suas respectivas fórmulas, intervalo de percentuais em relação à composição total e que papéis possuem no produto final. Segundo (??), os cimentos Portland são geralmente compostos por 95% de clínquer de cimento e 5% de di-hidrato de sulfato de cálcio, que atua como regulador do tempo de pega.

Tabela 1 – Componentes do cimento e suas funcionalidades

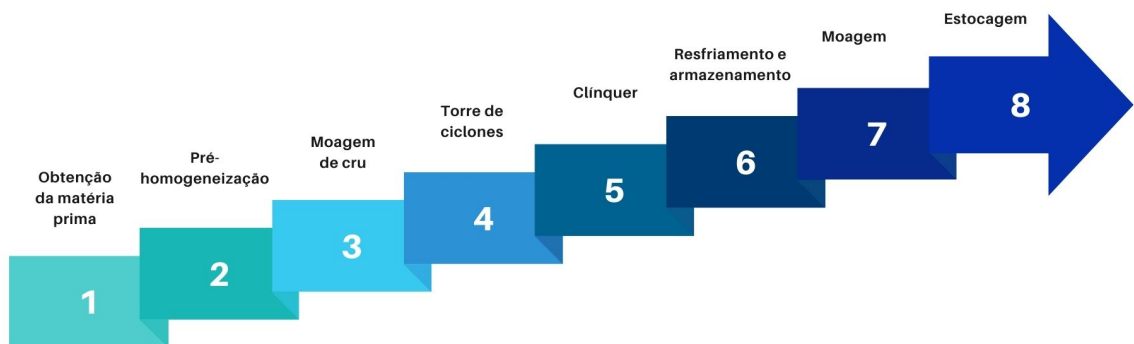
NOME DO COMPOSTO	FÓRMULA/ ABREVIATURA	% NO CI- MENTO	FUNCIONALIDADE
Silicato tricálcico	$(\text{CaO})_3\text{SiO}_2/\text{C}_2\text{S}$	45-75%	Elevada velocidade de hidratação; responsável pela resistência e pelo endurecimento do cimento.
Silicato dicálcico	$(\text{CaO})_2\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$	7-35%	Contribuição significativa nas resistências mecânicas do cimento a longo prazo.
Aluminato tricálcico	$(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3/\text{C}_3\text{A}$	0-13%	Ocorre normalmente em cimentos aluminosos tendo formação decorrente das condições de umidade no processo de resfriamento.
Ferroaluminato tetracálcico	$(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{C}_4\text{AF}$	0-18%	Supõe-se que seja a composição mais estável utilizada para representar a solução sólida como um todo; imprime resistência à corrosão química do cimento.

Fonte: (??)

2.2 Processo produtivo

Temos o processo de produção do cimento Portland como uma série de ações que necessitam de boa coordenação e qualidade para garantir um material de excelência nos aspectos de uso esperados. De forma macro, esse processo se divide nas seguintes etapas: obtenção da matéria prima; pré-homogeneização; moagem de cru; torre de ciclones; clínquer; resfriamento e armazenamento; moagem; e por fim, estocagem.

Figura 3 – Fluxograma do processo produtivo do cimento Portland.

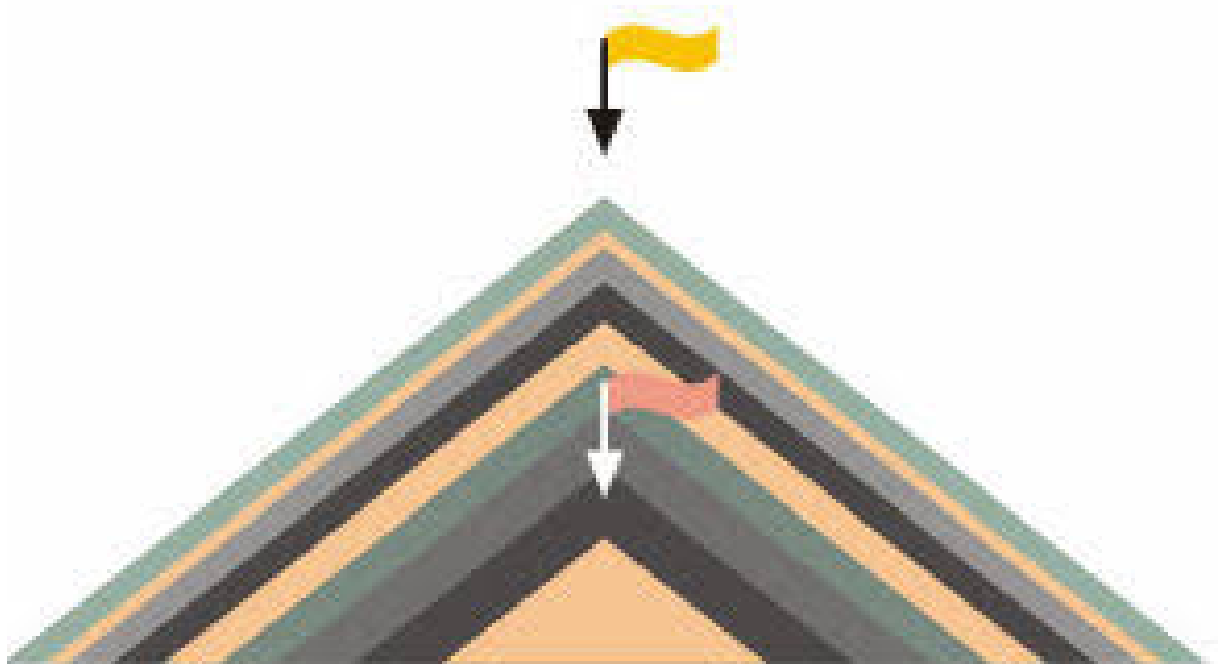


Fonte: (??).

2.2.1 Extração da matéria prima e pré-homogeneização

A etapa inicial na produção do cimento, consiste na extração de calcário e argila diretamente das minas. Em seguida, essas matérias-primas passam pela fase de pré-homogeneização, cujo propósito é o de reduzir os efeitos da composição irregular dos materiais extraídos (??). Para realizar o processo de homogeneização, geralmente é aplicado o método Chevron, no qual a matéria-prima é depositada pela empilhadeira formando uma pilha através de movimentos ida e volta, essa ação se repete com a formação de várias camadas com diferentes composições, todas devem possuir mesma espessura. Simultaneamente o material passa pela retomadora, onde a pilha formada será cortada transversalmente por um desagregador removendo as camadas formadas, a retomadora homogeneíza e transporta o material até o centro da pré-homo, onde será levado por uma correia subterrânea até os silos dosadores do calcário (??).

Figura 4 – Imagem representativa do método Chevron.



Fonte: ??).

O material proveniente da pré-homo é transportado até o silo dosador, equipamento que irá armazenar e dosar a matéria-prima, nele está inserido um dispositivo de dosagem que permite controlar a quantidade de material que deve seguir para o moinho de cru, esta etapa é importante para a formação de uma farinha de boa qualidade (??).

Figura 5 – Silo dosador.



Fonte: (??).

2.2.2 Moagem de cru

O argical (mistura de calcário/argila) é empilhado na pilha de estoque da pré homogeneização. Após a pré-homogeneização, segue para o britador secundário. Aquele material que ficou acima de 0,050m segue para o moinho (pode ser de bolas ou vertical) (??). O moinho de cru é um dos principais equipamentos da produção, este que é também chamado de moinho de rolos vertical, possui 4 rolos sobrepostos em uma mesa giratória que fazem compressão do material, recebe constantemente a alimentação proveniente dos silos dosadores no centro da mesa, promovendo atuação da força centrífuga que arrasta o material para as extremidades. No processo é injetado uma quantidade de água para que o material ao cair no prato não espalhe, retardando o processo e reduzindo a vibração do equipamento, também existe entrada de ar quente para reduzir a umidade da farinha, esse ar é proveniente dos gases quentes do forno que entram no moinho através de um exaustor. O material é então moído e homogeneizado dentro do moinho até obter uma granulometria menor e uma finura específica, esta farinha irá passar por um separador, os materiais finos serão separados dos grossos que retornarão ao sistema para serem moídos novamente (??).

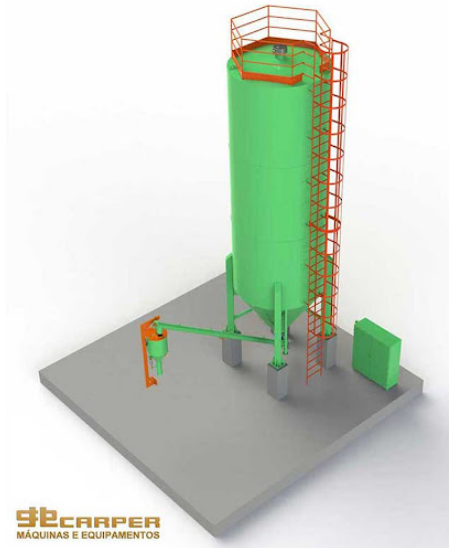
Figura 6 – Moinho Rolos Vertical.



Fonte: (??).

Depois o material se torna uma farinha fina (farinha de cru) e segue para o silo para ser armazenado (??). O silo de armazenamento tem como função garantir alimentação contínua do forno, homogeneizar toda farinha presente constantemente e armazenar esse material (??).

Figura 7 – Silo de armazenamento.



Fonte: (??).

2.2.3 Torre de ciclones

Quando a farinha entra na primeira etapa da torre do ciclone, a temperatura que é de 45°C a 70°C aumenta para 440°C, na segunda etapa da torre de ciclone, atinge de 650°C. Quando a farinha entra na terceira etapa a temperatura está a 770°C. Com 900°C na quarta etapa, o material está no ponto ideal para ser clínquerizado. A farinha aquecida entra no forno para ser cozida por uma chama que pode chegar a uma temperatura de 2000°C (??). A torre tem função de pré-aquecer, separar, secar e pré-calcinar a farinha alimentada, que nesta etapa é denominada de farinha produzida. Por meio da recirculação de gás quente advindo do forno, a torre de ciclones promove o transporte da farinha, devido a diferença de temperatura entre o gás e o sólido ocorre a troca de calor, o ciclone separa o gás do sólido, para que a farinha entre no forno e o gás aqueça os outros estágios, dessa forma é feita a retirada da umidade do material e o pré aquecimento. A farinha é alimentada através do duto de ascensão no segundo ciclone e é transportada até o primeiro ciclone, neste trecho os fluxos estão de forma concorrente, ao entrar no ciclone ocorre a separação do gás e da farinha, os gases sobem pelo duto de imersão e a farinha desce, encontrando no estágio inferior gases mais quentes em fluxo contracorrente (??).

2.2.4 Clínquer

O produto final, clínquer, sai do forno com uma temperatura em torno de 1450°C e é resfriado com recuperação do calor, é armazenado em um galpão, seguindo para a moagem. Quando o material está sendo moído adicionam-se escória, gesso e material pozolânico a fim de fabricar os diferentes tipos de cimento portland (??).

2.2.4.1 Compostos do Clínquer

Segundo (??), os constituintes do clínquer Portland podem ser subdivididos em três grupos:

- Os silicatos cálcicos, são cristais gerados nas últimas etapas do processo de clínquerização e que não sofrem fusão durante sua formação;
- A fase intersticial, que representa a fase fundida na temperatura de clínquerização correspondente a temperatura de cristalização dos silicatos, sendo constituída por aluminatos e ferro-aluminatos cálcicos
- O terceiro grupo se refere a alguns compostos menos frequentes como o periclásio (MgO),

cal livre (CaO), langbeinita $K_2Ca_2(SO_4)_3$, aphitalita $K_3Na(SO_4)_2$, arcanita K_2SO_4 , entre outros.

2.3 Principais fatores que influenciam a vibração

Segundo (??) e (??), os principais fatores que afetam a vibração em um moinho vertical, são os seguintes:

- Taxa de Alimentação (t/h): A quantidade de material alimentado no moinho deve ser controlada. Taxas de alimentação muito altas ou baixas podem desestabilizar a espessura da camada de moagem, causando vibrações. A alimentação inconsistente pode levar a flutuações na pressão e no fluxo de material.
- Propriedades do Material: Incluem tamanho das partículas, teor de umidade e dureza dos materiais. Materiais com propriedades variáveis podem alterar a resistência ao rolamento e a formação da camada de moagem, provocando variações na vibração.
- Espessura da Camada de Moagem: Manter uma espessura consistente da camada de moagem é crucial. Espessuras inconsistentes da camada podem resultar em vibrações. Fatores que afetam isso incluem a taxa de alimentação, o tamanho das partículas e a presença de objetos estranhos.
- Velocidade da Mesa: Variações podem afetar a eficiência e a estabilidade da moagem.
- Altura do Anel de Barragem: Configurações incorretas podem levar à formação inadequada da camada de moagem.
- Eficiência do Separador: Uma eficiência ruim pode levar a uma circulação interna excessiva de materiais finos, aumentando a vibração.
- Fluxo de Ar/Gás: Fluxo inadequado de ar através do anel de bicos pode causar flutuações na pressão e na estabilidade.
- Condição Mecânica: O desgaste dos componentes internos, como rolos e mesas de moagem, pode levar ao aumento da vibração. A manutenção regular desses componentes é essencial para minimizar vibrações.
- Controle de Temperatura: As temperaturas de entrada e saída do moinho devem ser controladas para evitar superaquecimento, o que pode desestabilizar o sistema e aumentar a vibração. A insuficiente injeção de água para resfriamento ou temperaturas de entrada muito altas podem contribuir para o problema.
- Sistema Hidráulico: A manutenção adequada do sistema hidráulico que controla a pressão

de moagem é essencial para evitar vibrações devido a forças de moagem flutuantes. Parâmetros como a força de moagem, pressão de nitrogênio e a condição dos cilindros hidráulicos são críticos.

2.4 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Este capítulo mostra o principal objetivo do trabalho e os objetivos específicos. Além disso, também descreve-se as justificativas para realização deste trabalho.

2.4.1 *Objetivo geral*

Contribuir para o controle de vibrações em moinhos de rolos verticais por meio do entendimento das principais variáveis que influenciam esse fenômeno para, posteriormente, aplicar um modelo preditivo utilizando técnicas de aprendizagem profunda, especificamente redes neurais, possibilitando intervenções mais precisas e eficientes para a mitigação das vibrações em um sistema de inteligência artificial.

2.4.2 *Objetivos específicos*

- Coletar e tratar dados da operação.
- Entender a importância das variáveis na vibração e como se correlacionam.
- Desenvolver e aplicar um modelo de redes neurais, visando aumento da previsibilidade do comportamento dos moinhos em relação à vibração.

Alguns autores preferem fazer uma “fundamentação teórica” no segundo capítulo, outros, preferem fazer uma “revisão da literatura”. Entretanto, isto é particular de cada trabalho e o autor deve escolher o título mais adequado para o capítulo. Consultar o orientador é importante para determinar o título apropriado (??).

Evite começar da seção secundária, ou seja, não passe direto do título do capítulo para o título da seção secundária. Escreva um texto para introduzir as seções subsequentes. Lembre-se de utilizar primeira letra maiúscula quando estiver se referindo a um objeto com numeração específica como capítulo, seção, subseção, figura, tabela, quadro, equação, normalmente, se escreve a primeira letra maiúscula da palavra do objeto seguido do *label*. Por exemplo, a Seção ?? explica como fazer citações bibliográficas. Observe no código fonte deste texto como foi

Tabela 2 – Um Exemplo de tabela alinhada que pode ser longa ou curta

Nome	Nascimento	Documento
Maria da Silva	11/11/1111	111.111.111-11
Maria da Silva	11/11/1111	111.111.111-11
Maria da Silva	11/11/1111	111.111.111-11

Fonte: o autor.

Nota: esta é uma nota, que diz que os dados são baseados na regressão linear.

Anotações: uma anotação adicional, seguida de várias outras.

texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto.

- Integer non lacinia magna. Aenean tempor lorem tellus, non sodales nisl commodo ut
- Proin mattis placerat risus sit amet laoreet. Praesent sapien arcu, maximus ac fringilla efficitur, vulputate faucibus sem. Donec aliquet velit eros, sit amet elementum dolor pharetra eget
- Integer eget mattis libero. Praesent ex velit, pulvinar at massa vel, fermentum dictum mauris. Ut feugiat accumsan augue, et ultrices ipsum euismod vitae
 - Integer non lacinia magna. Aenean tempor lorem tellus, non sodales nisl commodo ut
 - Proin mattis placerat risus sit amet laoreet.

2.7.2 *Uso de siglas*

Para utilizar siglas, primeiro defina a sigla no arquivo "lista-de-abreviaturas-e-siglas" dentro da pasta "1-pre-textuais" com o comando

```
\newacronym{ABNT}{ABNT}{Associação Brasileira de Normas Técnicas}
```

Depois chame a sigla com o comando:

```
\gls{ABNT}
```

Fica assim: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A primeira vez que o comando é usado para uma determinada sigla, aparece o significado por extenso da sigla com a sua abreviação em seguida. A partir da segunda vez que o comando para uma determinada sigla é usado, aparece apenas a sigla. Por exemplo: ABNT.

Veja o código fonte de outros exemplos: Teste de siglas Tem que Escrever a Sigla no Texto (TEST), outros exemplos de siglas: descargas atmosféricas (DAs), modelo do circuito elétrico global (MCEG). Repare que sempre as siglas estão sendo definidas primeiramente no arquivo “lista-de-abreviaturas-e-siglas”.

3 METODOLOGIA

O primeiro passo, que possibilitou o desenvolvimento do trabalho como um todo, foi o recebimento dos dados do processamento de cimento, na fábrica Apodi. (... **falar sobre os dados. Estrutura, colunas, etc...**) (**Falar sobre possíveis tratativas que foram necessárias ser feitas**). Após a realização da curagem dos dados, pudemos partir para uma análise mais aprofundada, a fim de entender com o que estávamos trabalhando, através de uma análise exploratória dos dados. (**Falar sobre técnicas utilizadas na EDA... Mediana, média, boxplot, correlação, desvio padrão, etc...**)

Com o entendimento solidificado acerca do conjunto de dados, o próximo passo foi a aplicação dos modelos empregados que serão responsáveis pela predição do comportamento vibratório dos moinhos de rolos verticais.

3.1 Inteligência artificial

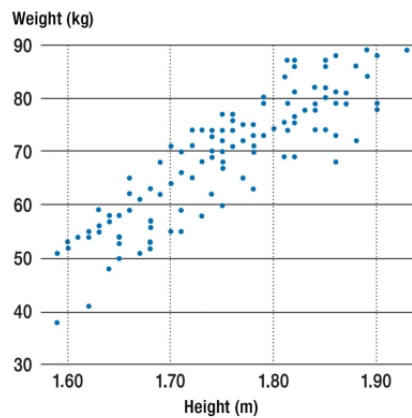
A inteligência artificial (IA) trata-se do campo que se concentra na pesquisa e no avanço de algoritmos que podem compreender e exibir comportamento inteligente, sem a intervenção humana no entendimento ou sem explicitamente dizer como responder a determinados estímulos (??). Os modelos de IA podem ser vistos nos smartphones, nos carros, nos bancos, nos hospitais, na aplicação da lei, nas organizações de seguros e em muitas outras aplicações (??).

3.2 Regressão linear

Nesse trabalho, a base geral de método preditivo aplicado foi a regressão linear. A qual, de acordo com (??), ajuda a identificar e quantificar as relações entre as variáveis, permitindo previsões e compreensão do impacto das variáveis independentes na variável dependente.

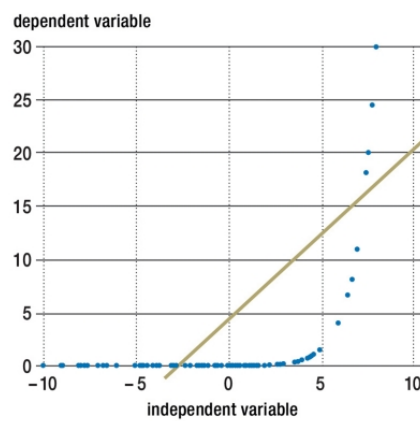
Segundo (??), a regressão linear é utilizada para estudar a relação linear entre uma variável dependente Y e uma ou mais variáveis independentes X. A variável dependente Y deve ser contínua, enquanto as variáveis independentes podem ser contínuas, binárias ou categóricas. O julgamento inicial de uma possível relação entre duas variáveis contínuas deve sempre ser feito com base em um gráfico de dispersão. Este tipo de gráfico mostrará se a relação é linear (figura ??) ou não linear (figura ??).

Figura 10 – Gráfico de dispersão com relação linear.



Fonte: (??).

Figura 11 – Gráfico de dispersão com relação exponencial.



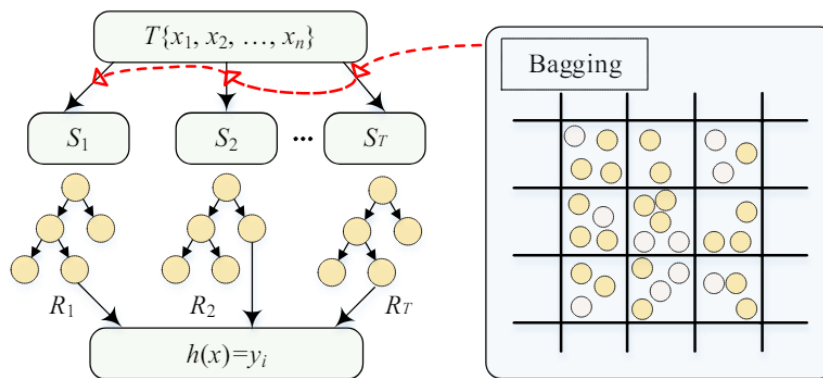
Fonte: (??).

Quando temos uma relação linear, podemos dizer que as variáveis são correlacionadas em determinados graus. Porém, correlação não implica causalidade, e deve-se tomar cuidado para não tomar esse único indício como definitivo.

3.3 Floresta aleatória

Falando de modelos de aprendizado de máquina, o primeiro utilizado baseia-se no princípio da floresta aleatória, a qual, de acordo com (??), é um método de aprendizado em conjunto que combina múltiplas árvores de decisão, usando *bagging* (amostragem *Bootstrap*) para reamostrar os dados originais e construir novos conjuntos de treinamento. Cada conjunto é usado para construir uma árvore de decisão, e a previsão final é feita pela média das saídas dessas árvores. Floresta aleatória é conhecida por sua escalabilidade e capacidade de lidar com dados de alta dimensão com menos parâmetros de otimização em comparação com outros métodos como Redes Neurais de Retropropagação (BPNN) e Regressão de Vetores de Suporte (SVR). Um esquema representativo de uma floresta aleatória é mostrado na figura ??.

Figura 12 – Esquema representativo de uma floresta aleatória.



Fonte: (??).

3.3.1 Etapas de Implementação de uma floresta aleatória

Primeiramente, a amostragem *Bootstrap* é utilizada para reamostrar os dados originais, criando T conjuntos de treinamento rotulados S_1, S_2, \dots, S_T . Esses conjuntos de treinamento são então utilizados para construir árvores de regressão correspondentes R_1, R_2, \dots, R_T . A cada nó, são amostrados aleatoriamente T atributos de M , e o método de divisão ótima é aplicado utilizando o algoritmo CART, construindo o modelo $y = h(x)$. Para amostras de teste desconhecidas, calculam-se os valores previstos $R_1(X), R_2(X), \dots, R_T(X)$ de cada árvore, e a média desses valores é usada como previsão final (??).

Devido à amostragem *Bootstrap*, nem todos os dados originais são incluídos nos novos conjuntos de treinamento. Os dados excluídos formam a amostra *Out-of-Bag (OOB)*, que

é utilizada para validação cruzada embutida, avaliando o desempenho das árvores e estimando erros de generalização não tendenciosos (??).

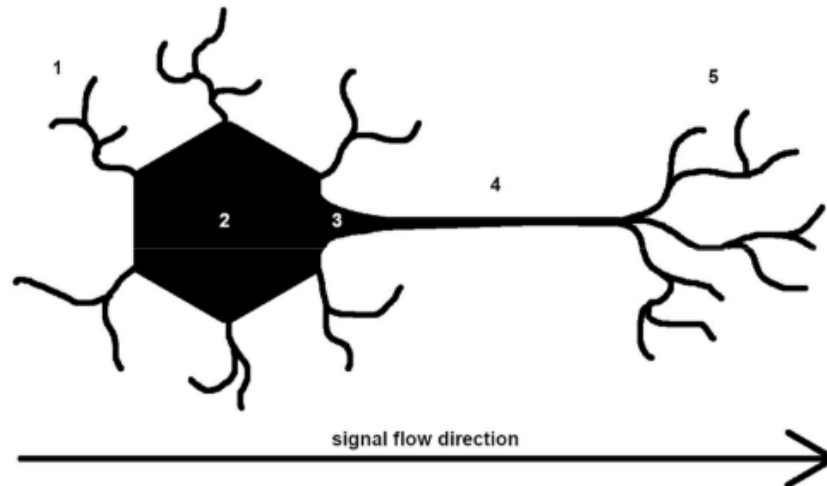
3.3.2 *Hiperparâmetros*

Os principais hiperparâmetros a serem ajustados são a profundidade das árvores e o número de preditores amostrados em cada nó. Árvores profundas tendem a *overfitting*, enquanto árvores rasas podem sofrer de *underfitting*. O número de preditores amostrados em cada nó afeta a precisão da previsão e precisa ser ajustado cuidadosamente para alcançar o melhor modelo (??).

3.4 Redes neurais

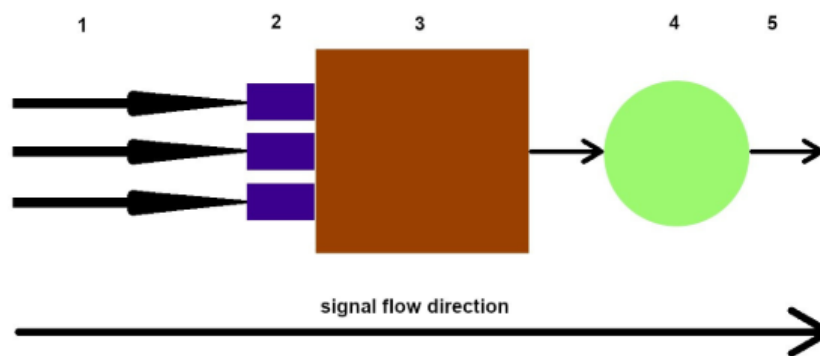
Segundo (??), redes neurais artificiais se assemelham ao cérebro humano (Figura ??) e são compostas por múltiplos perceptrons ou ‘neurônios’ que processam e transmitem informações. Para entender seu funcionamento (Figura ??), começamos com a entrada de dados, como imagens, textos ou sons. Esses dados percorrem a rede, sendo processados por camadas sucessivas de neurônios até chegar à saída. Cada camada contém múltiplos neurônios que processam os dados de entrada.

Figura 13 – Diagrama simplificado de um neurônio humano. 1—dendritos, local de entrada de sinal, 2—núcleo do neurônio, 3—zona de iniciação (onde o potencial de ação do neurônio é formado), 4—axônio, e 5—terminações axonais (que formam conexões com outras células e são os locais de saída de sinal), respectivamente.



Fonte: (??).

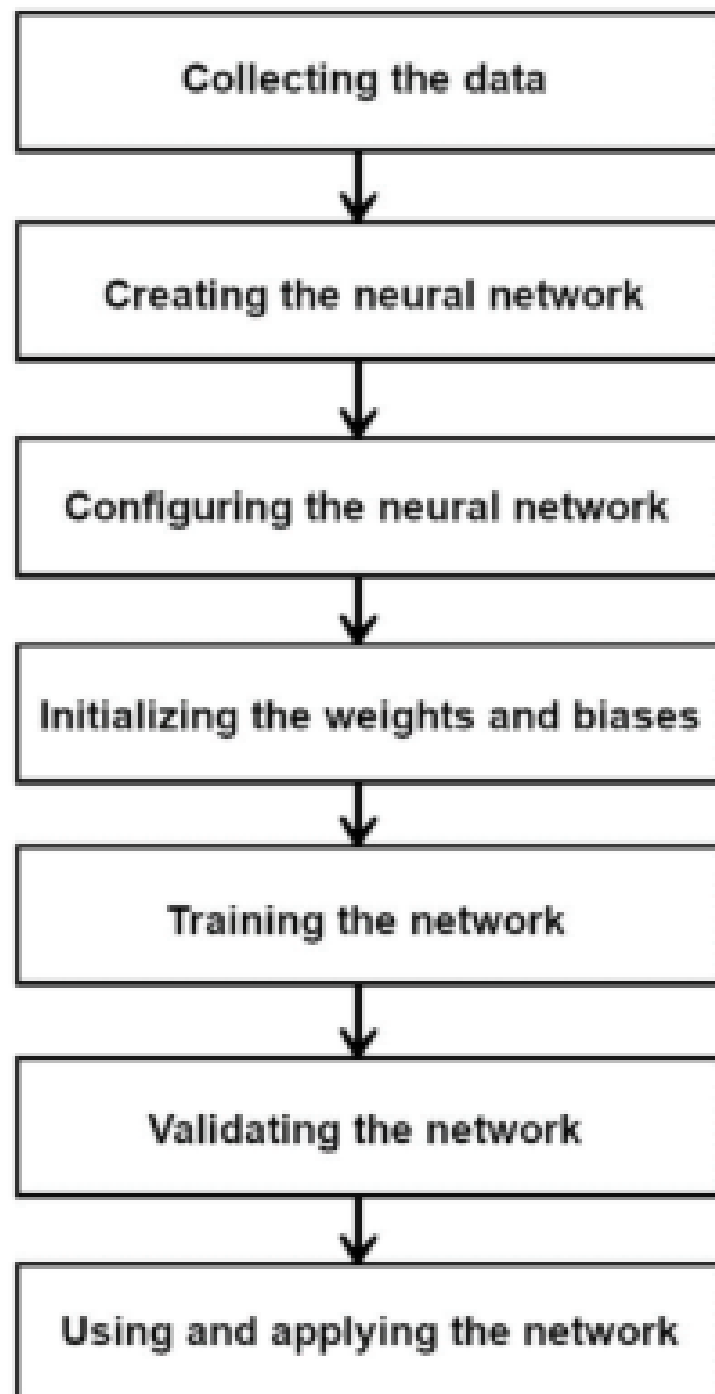
Figura 14 – Diagrama simplificado de um neurônio matemático. 1—entradas de sinal, 2—pesos, 3—somador, 4—ativador (função de ativação), e 5—saída de sinal, respectivamente.



Fonte: (??).

Para treinar os perceptrons, os pesos são ajustados para minimizar a diferença entre a saída e o sinal esperado. A rede também aprende através do método da maior queda do gradiente, ajustando os comprimentos dos passos na direção oposta. Se o valor alvo em um novo ponto superar o ponto de partida, os passos são reduzidos até que o valor desejado seja alcançado (Figura ??).

Figura 15 – Diagrama simplificado da operação de uma rede neural.



Fonte: (??).

Teorema 3.9.2 (Fermat) *Não existem inteiros $n > 2$, e x, y, z tais que $x^n + y^n = z$*

Texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto.

Proposição 3.9.3 *Para demonstrar o Teorema de Pitágoras...*

Texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto.

Exemplo 1 *Este é um exemplo do uso do ambiente `exem` definido acima.*

Texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto.

Definição 3.9.1 *Definimos o produto de ...*

Texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto.

3.10 Usando Questões

Um exemplo de questionário encontra-se no Apêndice ??.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Parte final do texto na qual se apresentam as conclusões apoiadas no desenvolvimento do assunto. É a recapitulação sintética dos resultados obtidos. Pode apresentar recomendações e sugestões para pesquisas futuras.

6 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo serão apresentados trabalhos que estão conectados a essa pesquisa.

6.1 Vibration Energy Coupling Behavior of Rolling Mills under Double Disturbance Conditions (??)

O artigo explora as variáveis que influenciam o processo de vibração em laminadores, destacando a complexidade do comportamento dinâmico sob condições de distúrbio. Os autores identificam variáveis críticas que afetam a energia de vibração e a estabilidade do sistema.

Uma das principais variáveis discutidas é a flutuação da força de laminação. O estudo aponta que as flutuações nas forças aplicadas durante o processo de laminação têm um impacto significativo no fluxo de energia de vibração. Aumentos nas flutuações de força resultam em um aumento correspondente na energia de vibração, indicando que a estabilidade do laminador pode ser comprometida por variações inesperadas nas forças de laminação.

Outra variável importante é o torque de pré-carga. Embora as mudanças no torque de pré-carga não afetem diretamente a amplitude do fluxo de energia de vibração, a interação entre o torque e as flutuações de força pode influenciar a dinâmica do sistema. O estudo sugere que a otimização do torque de pré-carga pode ajudar a controlar as vibrações.

Além disso, o damping (ou amortecimento) do sistema é uma variável crucial. O artigo mostra que, com um coeficiente de amortecimento entre 0,001 e 0,01, a energia de vibração diminui significativamente sob certas frequências de excitação. Quando o coeficiente de amortecimento é aumentado para entre 0,01 e 0,1, a redução da energia de vibração se torna ainda mais pronunciada, indicando que um bom controle do amortecimento pode ser uma estratégia eficaz para mitigar vibrações.

A largura da tira e o módulo da tira também são destacados como variáveis que afetam o comportamento de vibração. O aumento do módulo da tira está associado a um aumento no fluxo de energia de vibração no sistema de acionamento principal, enquanto a variação na largura da tira tem um impacto mais significativo no sistema vertical.

Por fim, o ângulo de fase entre o torque de laminação e as flutuações de torque é identificado como uma variável que apresenta um padrão de "V" no fluxo de energia de vibração, com um mínimo de energia em ângulos de fase específicos. Essa relação complexa entre as variáveis destaca a necessidade de um controle cuidadoso para otimizar o desempenho do

laminador e reduzir as vibrações indesejadas.

6.2 Multi-scale reconstruction of rolling mill vibration signal based on fuzzy entropy clustering (??)

O artigo aborda a complexidade das vibrações em moinhos de laminação, enfatizando como diversas variáveis afetam esses sinais. Durante a operação dos moinhos, as vibrações são influenciadas por fatores como condições de trabalho, variações na carga, e a interação entre os componentes mecânicos do equipamento. Essas influências resultam em sinais de vibração que apresentam características não estacionárias, tornando a análise e a previsão desafiadoras.

Os autores destacam que as vibrações verticais são particularmente pronunciadas durante o processo de laminação a frio, o que justifica a coleta de dados focada nesse sentido. O uso do sensor de vibração AC104-1A permite a captura precisa dessas vibrações, mas os sinais coletados ainda são afetados por ruídos e interferências, que podem prejudicar a qualidade das informações obtidas.

Para lidar com esses desafios, o estudo propõe um método de reconstrução de sinais em múltiplas escalas, que combina a entropia fuzzy com o algoritmo de clustering Gath-Geva. Este método visa decompor os sinais de vibração em componentes intrínsecos (IMFs), permitindo uma análise mais detalhada das características de cada componente. A decomposição modal ajuda a isolar as influências específicas que afetam as vibrações, como flutuações na tensão do material, variações na velocidade de operação e desbalanceamentos mecânicos.

Os resultados mostram que a abordagem proposta não apenas melhora a qualidade dos sinais reconstruídos, mas também facilita a identificação das variáveis que impactam as vibrações. A pesquisa conclui que a análise das vibrações em moinhos de laminação, considerando suas características não estacionárias e as variáveis que as afetam, é crucial para o desenvolvimento de modelos preditivos mais precisos, contribuindo para a manutenção eficiente e a operação segura dos equipamentos. Essa metodologia pode ser aplicada para otimizar processos e reduzir falhas, melhorando a confiabilidade dos moinhos.

REFERÊNCIAS

- ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DO ESPAÇO E AERONÁUTICA. **Gráfico da Atmosfera Superior**. 2016. Disponível em: http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/science/upper-atmosphere-graphic.html. Acesso em: 28 jul. 2016.
- ALI, S.; ABUHMED, T.; EL-SAPPAGH, S.; MUHAMMAD, K.; ALONSO-MORAL, J. M.; CONFALONIERI, R.; GUIDOTTI, R.; Del Ser, J.; DÍAZ-RODRÍGUEZ, N.; HERRERA, F. Explainable artificial intelligence (xai): What we know and what is left to attain trustworthy artificial intelligence. **Information Fusion**, v. 99, p. 101805, 2023. ISSN 1566-2535. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253523001148>.
- ALMEIDA, M. M. R. **Avaliação de métodos de estimativa da capacidade de carga de fundações diretas em solos não saturados**. 2018. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Geotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.
- BATTAGIN, A. F. **UMA BREVE HISTÓRIA DO CIMENTO PORTLAND**. 2002. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/#:~:text=As%20grandes%20obras%20gregas%20e,sob%20a%20a%C3%A7%C3%A3o%20da%20%C3%A1gua>. Acesso em: 01 mai. 2024.
- CARPER. **Silos de cimento**.
- CARVALHO, E. M. **Análise do processo produtivo do cimento Portland da fábrica Mizu Cimentos - POLIMIX**. 2018. 144 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Química) – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA, UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, Mossoró, 2023.
- CATÁLOGO.
- CESAR, P. Autoria própria. Universidade Federal do Ceará, 2024.
- DINESH, V. R. K. Artificial intelligence; mutating dentistry of the modern era. *Metascience*, 2024.
- DURCZAK, K.; PYZALSKI, M.; PILARSKI, K.; BRYLEWSKI, T.; SUJAK, A. The effect of liquid slurry-enhanced corrosion on the phase composition of selected portland cement pastes. **Materials**, v. 14, p. 1707, 03 2021.
- FEITOSA, L. Complexas mediações: transdisciplinaridade e incertezas nas recepções informacionais. **Informação em Pauta**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 98–117, 2016.
- GOBBO, L. de A. **Os compostos do clínquer Portland: sua caracterização por difração de raios-X e quantificação por refinamento de Rietveld**. 2018. 144 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências: Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- GONDIM, D. R. **Seleção de materiais com potencial aplicação na purificação de IgG humana**. 2017. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Geotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

GOOSSENS, M.; MITTELBAACH, F.; SAMARIN, A.; SOUIDI, E. M. **The LATEX companion**. Massachusetts: Addison-Wesley Reading, 1994. v. 2.

GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA. **Densidade de descargas atmosféricas para a terra (Ng)**. Rio de Janeiro, RJ: [S. n.], 2015. Dados publicados na ABNT NBR 5419-2:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 2: Gerenciamento de risco. Disponível em: http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/. Acesso em: 28 jun. 2016.

HESAMIAN, G.; TORKIAN, F.; JOHANNSEN, A.; CHUKHROVA, N. A learning system-based soft multiple linear regression model. **Intelligent Systems with Applications**, v. 22, p. 200378, 2024. ISSN 2667-3053. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266730532400053X>.

HOU, D. Vertical vibration characteristics of strip rolling mill under compound roll bearing failure. J-Stage, 2022.

KUFEL, J.; BARGIEŁ-ŁĄCZEK, K.; KOCOT, S.; KOŹLIK, M.; BARTNIKOWSKA, W.; JANIK, M.; CZOGALIK, ; DUDEK, P.; MAGIERA, M.; LIS, A.; PASZKIEWICZ, I.; NAWRAT, Z.; CEBULA, M.; GRUSZCZYŃSKA, K. What is machine learning, artificial neural networks and deep learning?—examples of practical applications in medicine. **Diagnostics**, v. 13, n. 15, 2023. ISSN 2075-4418. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4418/13/15/2582>.

LAMPORT, L. **Latex: User's guide & reference manual**. Addison-Wesley, 1986.

LANGTANGEN, H. P.; LOGG, A. **Solving PDEs in Python**. [S. l.]: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-52461-0.

LIMA, A. O processo produtivo do cimento portland. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

MOINHO de Rolos Vertical.

PINHEIRO. **COMO O CIMENTO É PRODUZIDO**. 2010. Disponível em: <http://campusvirtual.ufsj.edu.br/mooc/ciencianacomunidade/como-o-cimento-e-produzido/>. Acesso em: 17 mai. 2024.

RAKOV, V. A.; UMAN, M. A. **Lightning: physics and effects**. [S. l.]: Cambridge University Press, 2003.

SCHNEIDER, A. e. a. Linear regression analysis: part 14 of a series on evaluation of scientific publications. *Deutsches Arzteblatt international*, 2010.

SILO dosador.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Secretaria do Meio Ambiente. **Tratados e organizações ambientais em matéria de meio ambiente**. In: _____, 1999. Disponível em: <http://www.bdt.org.br/sma/entendendo/atual.htm>. Acesso em: 8 mar. 1999.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Estudo de impacto ambiental – EIA, Relatório de impacto ambiental – RIMA: manual de orientação**. São Paulo, 1989. 48 p. (Séries manuais).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Reitoria da Universidade Federal do Ceará**. 2012. Disponível em: <http://www.ufc.br/contatos/2-a-universidade>. Acesso em: 28 jul. 2016.

WANG, G.; LYU, Z.; LI, X. An optimized random forest regression model for li-ion battery prognostics and health management. **Batteries**, v. 9, n. 6, 2023. ISSN 2313-0105. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-0105/9/6/332>.

WANG, L.; WANG, S.; JIA, X.; WANG, X.; YAN, X. Vibration energy coupling behavior of rolling mills under double disturbance conditions. **Electronics**, v. 12, n. 4, 2023. ISSN 2079-9292. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/4/1061>.

WANG, Y.; SUN, J.; CHEN, S.; PENG, W.; ZHANG, D. Multi-scale reconstruction of rolling mill vibration signal based on fuzzy entropy clustering. **Vibroengineering Procedia**, JVE International Ltd., v. 54, p. 22–27, abr. 2024. ISSN 2538-8479. Disponível em: <https://doi.org/10.21595/vp.2024.24026>.

YAN, S. **Understanding LSTM and its diagrams**. 2016. Disponível em: <https://blog.mlreview.com/understanding-lstm-and-its-diagrams-37e2f46f1714>. Acesso em: 24 jun. 2024.

ZHU, Y. Bifurcation characteristic research on the load vertical vibration of a hydraulic automatic gauge control system. MDPI, 2019.

APÊNDICE A – EXEMPLO DE APÊNDICE

Um apêndice é um documento elaborado pelo autor, diferentemente do anexo. Geralmente, se coloca como apêndice, questionários, códigos de programação, tabelas que tomariam muito espaço no meio do trabalho. Artigos, resumos ou qualquer publicação relacionada ao trabalho podem ser utilizados como apêndice.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA...

Questão 1. Esta é a primeira questão com alguns itens:

- (a) Este é o primeiro item
- (b) Segundo item

Questão 2. Esta é a segunda questão:

- (a) Este é o primeiro item
- (b) Segundo item

Questão 3. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc dictum sed tortor nec viverra. consectetur adipiscing elit. Nunc dictum sed tortor nec viverra.

- (a) consectetur
- (b) adipiscing
- (c) Nunc
- (d) dictum

APÊNDICE C – CÓDIGOS-FONTES UTILIZADOS PARA...

Código-fonte 1 – Hello World em C++

```
1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3 int main() {
4     cout<<"Hello World!"<<endl;
5     system("pause");
6 }
```

Código-fonte 2 – Hello World em Java

```
1 public class HelloWorld {
2     public static void main(String[] args) {
3         System.out.println("Hello World!");
4     }
5 }
```

APÊNDICE D – IEEE CEFC 2016

Digest submetido ao The 17th Biennial Conference on Eletromagnetic Field Computation, Miami FL - NOV 13-16, 2016, USA.

Lightning Incidence Model Based on the Electric Field Gradient: 3D Electrostatic Analyses

Ednardo M. Rodrigues, Ricardo S. T. Pontes and Tobias R. Fernandes Neto

Federal University of Ceará, Department of Electrical Engineering, Fortaleza CE, BRAZIL
ednardorodrigues@dee.ufc.br

Abstract— The paper deals with the 3D electrostatic analysis of a lightning strike in a hangar and a power transmission line. The lightning incidence model is based on the electric field gradient. Finally, the simulation results are described and discussed.

Index Terms—Lightning, Electrostatic, Finite element.

I. INTRODUCTION

In [1], a 2D electrostatic analysis of a new lightning incidence model based on the electric field gradient (EFG) was presented. Moreover, the simulations results were carried out for a building and a power transmission line and they were compared with the classical electrogeometrical model (EGM), the rolling-sphere technique (RST) and the leader progression model (LPM) [2]. The present paper estimates the trajectory of lightning strikes from the thundercloud to a grounded metal roof of a hangar. Furthermore, the same procedure will be carried out for 500kV power transmission lines.

II. ELECTROSTATIC ANALYSES

A lightning occurs when the electric field is higher than the breakeven field (400kV/m —3MV/m) [2]. This model is based on the electric field gradient described by

$$\vec{E}_L(\vec{r}) \approx \vec{E}_b(\vec{r}) + \lambda_t \nabla E_b(\vec{r}), \quad (1)$$

$\vec{E}_b(\vec{r})$ is the background electric field, which is function of the position \vec{r} and it is generated by the electric potential difference (EPD) between the cloud and the ground. λ_t is the lightning step length (~50m) [3], and $\vec{E}_L(\vec{r})$ is the lightning electric field. More details about Eq. (1) can be found in [1].

A 3D finite element method (FEM) model of a hangar and a power transmission line (TL) were designed by using the electrostatic module. All simulations were carried out within a cubic domain of 250m x 250m x 250m. The upper level of each domain is defined with -12.5MV, while the lower level is the ground. This is equivalent to a real thundercloud with a potential of (-100MV) at 2km of altitude [4].

The dimensions of the hangar are: 8.60m height, 77.37m width and 229.00m length. The aluminum metal roof has 0.7mm thickness and it is grounded. The second simulation is for a TL composed by three phase conductors, equally spaced by 11.5m and positioned at 40.5m above the reference plane. The TLs are protected by two earth wires spaced by 19m over 54.47m of the reference plane.

III. RESULTS

In order to evaluate the 3D model, the software COMSOL Multiphysics® was used in a computer with quad-core processor of 2.6GHz. For the hangar, the simulation time was around 4s. The necessary physical memory for the simulation

was 1.34GB and 5.6GB of virtual memory. The electric field is very intense at the roof (about 80MV/m) and the lightning (cyan lines) strikes the building roof, as shown in Fig. 1a. In summary, it is not necessary to add air terminals, as long the roof is grounded. The simulation time for the TL was around 6 min, using 15GB of physical memory and 32GB of virtual memory. As shown in Fig 1b, the cyan lines strike the earth wires.

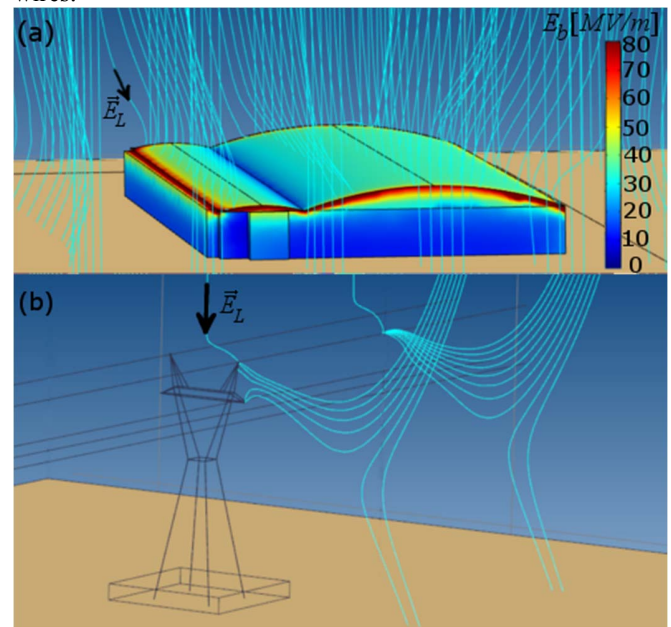


Fig. 1. Case of studies: (a) hangar and (b) power transmission line.

IV. CONCLUSIONS

The EFG simulations predicted that the aluminum metal roof is able to protect the hangar against lightning strikes. In the TL simulation, the earth wires have fulfilled the protection for the phase conductors. Finally, the protection zone and the design of lightning protection system can be evaluated by 3D electrostatic analyses, which are closer to the reality than the 2D analyses. However, 3D models are often more complex and require more simulation time.

REFERENCES

- [1] E. M. Rodrigues, *Novel Lightning Incidence Model Based on the Electric Field Gradient: 2D Electrostatic Analyses*. GROUND'2016 & 7th LPE, 2016.
- [2] V. Cooray, *Lightning protection*, The Institution of Engineering and Technology, 2009.
- [3] V.A. Rakov and M. A. Uman, *Lightning: physics and effects*. Cambridge University Press, 2007.
- [4] S. Visacro, *Descargas atmosféricas: Uma Abordagem de Engenharia (Lightning strike: An Engineering approach)*, Artliber, 2005.

ANEXO A – EXEMPLO DE UM ANEXO

Um anexo é um documento que não foi elaborado pelo autor, ou seja, o autor apenas anexa. Anexos podem ser tabelas, mapas, diagramas, *datasheets*, manuais e etc.

ANEXO B – EXEMPLO DE UM ANEXO EM PDF

O autor pode anexar um *Portable Document Format* (PDF), traduzido como formato portátil de documento. Veja o código fonte utilizado para anexar o arquivo “Sikasil.pdf” que foi colocado dentro da pasta “anexos” que por sua vez está dentro da pasta “elementos-pos-textuais”. Tenha muita atenção na hora de especificar o local do arquivo. Recomenda-se não utilizar caracteres especiais para nomear pastas e, principalmente, arquivos.

Pode-se fazer uma descrição sucinta do arquivo anexado.

Sikasil® GS-630

Glazing sealant for structural & non-structural use

Technical Product Data

Chemical base	1-C silicone
Color (CQP ¹ 001-1)	See Product Overview
Cure mechanism	Moisture-curing
Cure type	Neutral
Density (uncured) (CQP 006-4)	1.4 kg/l approx.
Non-sag properties (CQP 061-4 / ISO 7390)	< 2 mm approx.
Application temperature	5 - 40°C (41 - 104°F)
Skin time ² (CQP 019-2)	10 min approx.
Tack-free time ² (CQP 019-1)	60 min approx.
Curing speed (CQP 049-1)	See diagram 1
Shore A-hardness (CQP 023-1 / ISO 868)	32 approx.
Tensile strength (CQP 036-1 / ISO 37)	1.2 N/mm ² approx.
Elongation at break (CQP 036-1 / ISO 37)	480% approx.
Tear propagation resistance (CQP 045-1 / ISO 34)	6 N/mm approx.
100% modulus (CQP 036-1 / ISO 37)	0.6 N/mm ² approx.
Movement accommodation capability (ASTM C 719)	±50%
Thermal resistance (CQP 513-1)	long term
Short term	4 h
	1 h
	180°C (356°F) approx. 200°C (392°F) approx. 220°C (428°F) approx.
Service temperature	-40 - 150°C approx. (-40 - 302°F)
Shelf life (storage below 25°C) (CQP 016-1)	15 months

¹⁾ CQP = Corporate Quality Procedure²⁾ 23°C (73°F) / 50% r.h.**Description**

Sikasil® GS-630 is a durable, neutral-curing silicone sealant and adhesive which combines mechanical strength with high elongation. It adheres excellent to a wide range of substrates.

Sikasil® GS-630 is manufactured in accordance with ISO 9001 quality assurance system and the responsible care program.

Product Benefits

- Outstanding UV and weathering resistance
- Excellent adhesion to glass, coated glass, metals and plastics
- Fast curing
- Long-term durability
- High movement capability

Areas of Application

Sikasil® GS-630 is a silicone sealant and adhesive designed for sealing, bonding and mending tasks in a wide variety of industrial applications, e. g. structural and nonstructural applications in facades.

This product is suitable for professional experienced users only. Tests with actual substrates and conditions have to be performed to ensure adhesion and material compatibility.



Cure Mechanism

Sikasil® GS-630 cures by reaction with atmospheric moisture. The reaction thus starts at the surface and proceeds to the core of the joint. The curing speed depends on the relative humidity and the temperature (see diagram 1 below). Heating above 50°C to speed-up the vulcanization is not advisable as it may lead to bubble formation. At low temperatures the water content of the air is lower and the curing reaction proceeds more slowly.

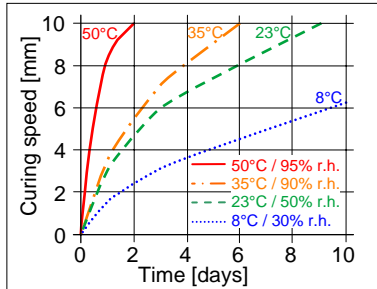


Diagram 1: Curing speed 1C-Sikasil®

Application Limits

All Sikasil® WS, FS, SG, IG, WT and other engineering silicone sealants and adhesives are compatible with each other. Sikasil® WS and FS sealants as well as other Sika engineering silicone sealants are compatible with SikaGlaze® IG sealants. All other sealants have to be approved by Sika before using them in combination with Sikasil® GS-630. Where two or more different reactive sealants are used, allow the first to cure completely before applying the next.

Do not use Sikasil® GS-630 on pre-stressed polyacrylate and polycarbonate elements as it may cause environmental stress cracking (crazing).

The compatibility of gaskets, backer rods and other accessory materials with Sikasil® GS-630 must be tested in advance. Joints deeper than 15 mm should be avoided.

The above information is offered for general guidance only. Advice on specific applications will be given on request.

Method of Application

Surface preparation

Surfaces must be clean, dry and free from oil, grease and dust.

Advice on specific applications and surface pretreatment methods is available from the Technical Service Department of Sika Industry.

Application

After suitable joint and substrate preparation, Sikasil® GS-630 is gunned into place. Joints must be properly dimensioned as changes are no longer possible after construction. For optimum performance the joint width should be designed according to the movement capability of the sealant based on the actual expected movement. The minimum joint depth is 6 mm and a width / depth ratio of 2:1 must be respected if used for weatherproofing. For backfilling it is recommended to use closed cell, sealant compatible foam backer rods e.g. high resilience polyethylene foam rod. If joints are too shallow for backing material to be employed, we recommend using a polyethylene tape. This acts as a release film (bond breaker), allowing the joint to move and the silicone to stretch freely.

For more information please contact the Technical Service Department of Sika Industry.

Tooling and finishing

Tooling and finishing must be carried out within the skin time of the adhesive.

When tooling freshly applied Sikasil® GS-630 press the adhesive to the joint flanks to get a good wetting of the bonding surface.

Removal

Uncured Sikasil® GS-630 may be removed from tools and equipment with Sika® Remover-208 or another suitable solvent. Once cured, the material can only be removed mechanically.

Hands and exposed skin should be washed immediately using Sika® Handclean Towel or a suitable industrial hand cleaner and water. Do not use solvents!

Overpainting

Sikasil® GS-630 cannot be over-painted.

Further Information

Copies of the following publications are available on request:

- Material Safety Data Sheet

Packaging Information

Unipack	600 ml
Cartridge	300 ml
Pail	26 kg
Drum	280 kg

Value Bases

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Health and Safety Information

For information and advice regarding transportation, handling, storage and disposal of chemical products, users should refer to the actual Material Safety Data Sheets containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

Legal Notes

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

Further information available at:

www.sika.ch

www.sika.com

Sika Schweiz AG

Industry

Tüffenwies 16

CH-8048 Zurich

Switzerland

Tel. +41 44 436 40 40

Fax +41 44 436 45 30

