



**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**Avaliação da qualidade do ar no entorno da fábrica de  
produção de cimento “Moçambique Dugongo Cimentos, SA”  
em Matutuíne**

**Discente:**

Anilza Vasco Muriane

**Supervisor:**

Professor Bento Cambula, MSc

Maputo, Dezembro de 2023



**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**Avaliação da qualidade do ar no entorno da fábrica de  
produção de cimento “Moçambique Dugongo Cimentos, SA”  
em Matutuíne**

Relatório submetido ao Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane, como requisito parcial para a obtenção do grau de licenciado em Engenharia do Ambiente.

**Discente:**

Anilza Vasco Muriane

**Supervisor:**

Professor Bento Cambula, MSc

Maputo, Dezembro de 2023



**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA \_\_\_\_\_**

**TERMO DE ENTREGA DE RELATORIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA**

Declaro que a estudante \_\_\_\_\_

Entregou no dia \_\_/\_\_/ 20\_\_as\_\_ cópias do relatório do seu Trabalho de  
Licenciatura com referência: \_\_\_\_\_ intitulado:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Maputo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_

A Chefe da Secretaria

\_\_\_\_\_

### **Declaração de honra**

Declaro por minha honra que o trabalho apresentado em seguida foi elaborado por mim própria, realizado com base nos conhecimentos adquiridos ao longo do curso e nos documentos e referências citadas no mesmo.

Declaro ainda que este relatório não foi apresentado a qualquer outra entidade ou instituição, para além da directamente envolvida na sua elaboração, para efeitos de avaliação, apreciação ou recurso de suporte em outras pesquisas.

Maputo, Dezembro de 2023

A autora

---

Anilza Vasco Muriane

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho aos meus pais, Vasco Dalela Muriane e Angélica Ernesto Simango, por tudo o que representam em minha vida, pelos seus incansáveis sacrifícios para com os meus estudos, por mesmo distante sempre se fizerem presente em minha vida e para que eu pudesse me tornar a pessoa que hoje sou.

**“O importante não é a casa onde  
moramos. Mas, onde em nós,  
a casa mora”.** Mia Couto

A minha casa são vocês, sempre dentro do meu coração.

## Agradecimentos

A realização deste trabalho foi possível graças ao apoio e colaboração de indivíduos a quem eu expresseo o meu muito obrigado:

- Agradeço em primeiro lugar à Deus por ser o meu suporte e meu refúgio em dias nebulosos, por permitir que, ainda que a derrota fosse eminente eu pudesse levantar, lutar para alcançar a vitória, por dar-me forças para enfrentar todas adversidades com as quais me deparei durante a minha caminhada e assim poder trilhar o caminho rumo a Licenciatura.

- Agradeço a mim, por sempre ser dedicada, por sempre ser esforçada, por nunca desistir de tudo aquilo que eu acredito, por sempre pautar pelo certo, por lutar com muito sacrifício e por superar todo o sofrimento passado durante a minha caminhada, agradeço a mim pela minha força de vontade e resiliência pois nunca desisti dos meus sonhos.

- Agradeço aos meus pais que durante a minha caminhada sempre se fizeram presentes em minha vida e com muito sacrifício sempre me apoiaram, financiaram-me, encorajaram-me e influenciaram-me nos meus estudos. “*Ni Mboguile Ngovo Tatana na Mamana*” devo tudo a vocês.

- Agradeço a todos os meus irmãos, em especial a Sara, Helena e Palmira Muriane e Nelton Foquisso por sempre demonstrarem seu apoio incondicional, ajudando-me, apoiando-me, financiando-me e encorajando-me a enfrentar as dificuldades as quais me deparei ao longo da minha caminhada. Agradeço a vocês por serem o espelho da minha, pessoas as quais inspiram-me todos os dias e tenho tanto orgulho.

- Agradeço ao meu cunhado Samuel Ouana pelo seu apoio financeiro, encorajador e motivacional indiscritível para o alcance deste grau.

- Agradeço ao meu supervisor, Professor Bento Cambula pelo auxílio, acompanhamento, ajuda, colaboração e incentivo indescritíveis para elaboração deste trabalho.

- Agradeço a todos os meus colegas em geral e em especial aos meus grandes companheiros, a minha “*Team Work*”. Agradeço a vocês: Jéssica Langa, Jéssica Gemo, Elton Cote, Santos Ugembe, Nádia Arcanjo, Leonésia Pelembe e Salustiana Jasse por juntos lutarmos com tanto sacrifício e pelo vosso apoio indescritível nesta minha caminhada. A vocês o meu maior *Khanimambo*.

- Agradeço ao meu especial amigo e companheiro Elvis Lúcia Ubisse, por sempre estar presente em minha vida, por ajudar-me em tudo que contribui positivamente para o meu progresso, pelas noites perdidas ajudando-me com tarefas académicas, por sua amizade incondicional, por fazer parte de cada choro, cada felicidade e me mostrando que Muriane tu és capaz.

- Agradeço por fim, aos Professores Doutores Engenheiros Estevão Pondja e Jonas Matsinhe, e a Dra Nazira, pela sua ajuda na aquisição de equipamentos de medição, na ida ao campo e, pelo seu auxílio e explicação.

## **Resumo**

A instalação de uma grande indústria de produção de cimento, “Moçambique Dugongos Cimento, SA” na comunidade de Salamanga, no distrito de Matutuíne gera impactos ambientais visíveis no seu entorno. Após a identificação de um cenário de degradação ambiental no local, foi desenvolvido o presente trabalho de pesquisa para avaliar o cenário actual de qualidade do ar e analisar os impactos que as emissões atmosféricas relacionadas às actividades da fábrica têm no meio ambiente local. A metodologia aplicada baseou-se na revisão da literatura, trabalho de campo, análises laboratoriais e análise de dados com base em ferramentas estatísticas e de análise espacial com auxílio do QGis. Para a recolha de dados foram identificados quatro pontos de medição dos parâmetros de qualidade do ar na zona circunvizinha da fábrica (ponto 1, é o ponto a montante da planta de produção de cimento, pontos 2,3 e 4 são os pontos a jusantes da planta de produção de cimento). Os parâmetros analisados foram PTS, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e CO. Os resultados máximos das concentrações médias observadas foram 811.103 µg/m<sup>3</sup> para PTS, 1025.848 µg/m<sup>3</sup> para SO<sub>2</sub>, 0 µg/m<sup>3</sup> para CO e 92.67 µg/m<sup>3</sup> para NO<sub>2</sub>. Confrontando os resultados com a legislação específica, nacional e da OMS, verificou-se que o nível de concentração das PTS está acima dos limites nacionais de qualidade do ar e acima dos limites estabelecidos pela OMS em todos os três pontos a jusante da fábrica, a concentração de SO<sub>2</sub> também está acima do seu limite nacional de qualidade do ar no segundo ponto e acima do limite estabelecido pela OMS nos pontos 2 e 3 jusante da fábrica. Os restantes parâmetros investigados (NO<sub>2</sub> e CO) estão dentro dos limites padrão. Assim, conclui-se que o índice de qualidade do ar do entorno da fábrica é mau, em termo de impactos, significa que a população local está exposta a níveis elevados de poluição, colocando em riscos a sua saúde, podendo ela manifestar doenças respiratórias e cardiovasculares. Para melhoria da qualidade do ar recomenda-se o melhoramento (pavimentação e/ ou aumento da frequência de humedificação) da principal via de acesso que liga a fábrica à mina de calcário e a colocação de lonas de proteção nos camiões de transporte de matéria-prima.

**Palavras-chave:** Produção de cimento, qualidade do ar, emissões atmosféricas, impacto na saúde.

## Lista de siglas e abreviaturas

CESTEB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH <sub>4</sub>	Metano
CaSO <sub>4</sub>	Sulfato de Cálcio
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Gás Carbónico
GEE	Gases de Efeito Estufa
Hb	Hemoglobina
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Ácido Carbónico
H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
HNO <sub>3</sub>	Ácido Nítrico
IQAr	Índice de Qualidade do Ar
MP	Material Particulado
mg/m <sup>3</sup>	Miligrama por metro cúbico
µg/m <sup>3</sup>	Micrograma por metro cúbico
µm	Micrómetro
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrogénio
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrogénio
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	Potencial de Hidrogénio
PTS	Partículas Totais em Suspensão
QA	Qualidade do Ar
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
SO <sub>3</sub>	Trióxido de Enxofre
SO <sub>x</sub>	Óxidos de Enxofre

## Índice de Figuras

Figura 1: Localização geográfica do distrito de Matutuíne .....	19
Figura 2. Pontos de medição.....	21
Figura 3: Analisador de gases.....	23
Figura 4: Bomba de sucção conectada ao tubo cristal.....	23
Figura 5: Filtros de papel.....	24
Figura 6: a) Cassete porta filtros, b) Balança analítica para pesagem do filtro laboratorial.....	24
Figura 7: Pesagem do filtro contendo partículas sólidas .....	25
Figura 8: a) Vegetação local afectada pelas PTS; b) e c) Camiões de transporte de matéria-prima sem nenhuma proteção.....	30

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1. Padrões de Qualidade de Ar .....	13
Tabela 2. Valores-guia para dióxido de nitrogénio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono e partículas totais suspensas (períodos de referência curtos) .....	14
Tabela 3. Parâmetros de classificação do índice de qualidade de ar.....	15
Tabela 4. Índices de qualidade de ar e seus efeitos à saúde.....	17
Tabela 5. Condições meteorológicas e coordenadas geográficas dos pontos de medição.....	21
Tabela 6. Resultados e classificação do Índice de Qualidade do Ar da zona circunvizinha da fábrica .....	31
Tabela 7. Índice de Qualidade do Ar da zona circunvizinha da fábrica e sua significância.....	31

## **Índice de Gráficos**

Gráfico 1. Concentrações médias de SO <sub>2</sub> para os quatro pontos de medição. ....	28
Gráfico 2. Concentrações médias de PTS para os quatro pontos de medição	29

## ÍNDICE

Declaração de honra .....	i
Dedicatória .....	ii
Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	v
Lista de siglas e abreviaturas .....	vi
Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tabelas .....	viii
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objectivos .....	3
1.1.1. Objectivo geral.....	3
1.1.2. Objectivos específicos .....	3
1.2. Justificativa.....	4
<b>CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Poluição .....	5
2.1.1. Poluição Atmosférica .....	5
2.2. Cimento e sua origem .....	6
2.4. Principais poluentes emitidos pelo sector de cimento .....	8
2.4.1. Partículas Totais Suspensas (PTS).....	8
2.4.2. Óxidos de Enxofre (SO <sub>x</sub> ) .....	9
2.4.3. Óxidos de Nitrogénio (NO <sub>x</sub> ) .....	9
2.5. Sector de produção de cimento e sua interface com o meio ambiente e com a saúde humana.....	10
2.6. Regulamentação Moçambicana sobre a qualidade do ar .....	13
2.7. Regulamentação sobre a qualidade do ar estabelecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) .....	14
2.8. Índice de Qualidade de Ar.....	15
<b>CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>

3.1. Metodologia.....	18
3.2. Local de monitorização e recolha de amostras .....	19
3.3. Pontos de recolha de amostras.....	20
3.3. Parte experimental .....	23
3.3.1. Análises <i>in-situ</i> .....	23
3.3.2. Análises laboratoriais.....	24
3.3.3. Análises estatísticas .....	26
CAPÍTULO 4. RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO .....	27
4.1. Dióxido de Enxofre .....	28
4.2. Partículas Totais em Suspensão.....	29
4.3. Índice de qualidade do ar da zona circunvizinha da fábrica .....	31
CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....	32
5.1. Conclusões .....	32
5.2. Recomendações .....	33
CAPÍTULO 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34
6.1. Referências Bibliográficas .....	34
APÊNDICES.....	39

## **CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO**

O cimento, material de origem cerâmica que ao entrar em contacto com a água produz uma reacção exotérmica de cristalização de produtos hidratados e ganha resistência mecânica, o cimento é frequentemente utilizado como indicador económico e corresponde a uma das principais “*commodities*” mundiais e caracteriza-se pelo seu baixo grau de substituíbilidade, uma vez que está presente em praticamente todo o tipo de construção, desde as unidades habitacionais mais básicas até a mais complexa das obras de infraestrutura civis, em todas as etapas de construção (Pereira, et al., 2017).

Com a crescente evolução económica mundial, há necessidade de apostar em inovações tecnológicas que melhorem a qualidade de vida da população. Assim, o cimento tornou-se um grande aliado das construtoras e indústrias, como material base para essas inovações. No entanto, o tal aperfeiçoamento tem acarretado um grande problema associado aos principais impactos ambientais relacionados às emissões atmosféricas, em especial ao material particulado, gases de efeito estufa (GEE) e poluentes perigosos, como metais pesados (Schaffartzik, et al., 2014).

A poluição atmosférica é um problema ambiental mundial, que provoca efeitos nocivos, a curto ou a longo prazo, constituindo assim uma preocupação. O aumento do nível das emissões de poluentes atmosféricos numa região pode intensificar esses efeitos nocivos, nessa região como ao seu redor, ou até mesmo em regiões completamente distantes da origem da emissão (Guarrieiro, 2013).

A fábrica “Moçambique Cimentos Dugongo, SA” que entrou em funcionamento em 2021 sofreu renomeação e remodelação da sua infraestrutura. Foi inicialmente criada com o nome de CIF-MOZ pelo Fundo Internacional da China e pela Gestão de Investimentos de Moçambique no ano de 2008 (Chamusse, 2011). As obras de implantação da fábrica iniciaram em 2010 com a construção da CIF-MOZ (Manuela, et al., 2016).

Desde das obras de implantação da CIF-MOZ em 2010, as famílias que vivem ao redor da fábrica veem sofrendo impactos negativos gerados por aquele empreendimento, caracterizados por uma grande concentração de poeiras que

alteram a qualidade do ar aos ruídos constantes. Actualmente, com a remodelação da fábrica o cenário piorou, pelo que mais de 100 famílias vivem actualmente em condições deploráveis, desde a precária qualidade do ar a que estão susceptíveis devido a inalação constante de material particulado, até a expropriação das suas terras de cultivo como também do local da retirada de água (Luis, et al., 2021).

Visto que a poluição atmosférica está intimamente associada a saúde pública e conseqüentemente a qualidade de vida da população. Há necessidade de avaliar do impacto das emissões atmosféricas da fábrica “Moçambique Dugongo Cimentos, SA” na alteração da qualidade do ar ambiente nos arredores da fábrica, na comunidade de Salamanga no distrito de Matutuíne, não apenas em termos de quais os poluentes encontrados na atmosfera local resultante das suas actividades, mas, contemplando a quantificação e a magnitude da interferência das emissões desses poluentes na alteração da qualidade do ar.

## **1.1. Objectivos**

### **1.1.1. Objectivo geral**

O principal objectivo deste trabalho é analisar o impacto ambiental na zona circunvizinha da fábrica “Moçambique Dugongo Cimentos, SA”, derivado das emissões atmosféricas nas actividades associadas ao processo de produção de cimento.

### **1.1.2. Objectivos específicos**

- ❖ Medir os parâmetros de qualidade do ar no entorno da fábrica Moçambique Dugongo Cimentos;
- ❖ Avaliar a qualidade do ar local em relação a Legislação Nacional e Internacional (Directrizes Globais da OMS);
- ❖ Determinar o impacto ambiental resultante das emissões atmosféricas da fábrica Moçambique Dugongo Cimentos.

## **1.2. Justificativa**

Mais de 100 famílias residentes nos arredores da fábrica “Moçambique Dugongo Cimentos, SA”, na localidade de Salamanga, no distrito de Matutuíne, vivem actualmente em condições ambientais visivelmente deploráveis devido a baixa qualidade do ar a qual estão expostos devido a inalação constante de material particulado oriundo da mina de calcário e da própria planta de produção de cimento e, em condições sociais negativas associadas à expropriação dos seus campos agrícolas.

Uma avaliação da qualidade do ar permite a identificação do cenário de qualidade do ar. Devido ao cenário de degradação ambiental visivelmente existente no entorno da fábrica “Moçambique Dugongo Cimentos, SA”, surge a necessidade de fazer uma avaliação da qualidade do ar de modo a determinar do impacto ambiental resultante das emissões atmosféricas da fábrica como uma forma de identificar o cenário de actual de qualidade do ar existente nesta zona, possibilitando um melhor gerenciamento e aplicação de medidas correctas de mitigação.

## **CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo é apresentado o enquadramento teórico feito com base em pesquisas e sistematização de informações de livros, artigos científicos, jornais, revistas científicas que falam sobre poluição atmosférica causada pelo sector de cimento.

### **2.1. Poluição**

De acordo com CONAMA (2015) considera-se como poluição a presença, o lançamento ou a libertação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, em quantidade, de concentração ou com características em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência da Lei, ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou solo:

- I. Impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde;
- II. Inconvenientes ao bem-estar público;
- III. Danosos aos materiais, à fauna e à flora;
- IV. Prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às actividades normais da comunidade.

#### **2.1.1. Poluição Atmosférica**

Segundo Diploma Ministerial nº 18/2004, define-se poluição atmosférica como sendo a introdução pelo homem na atmosfera, directa ou indirectamente de poluentes atmosféricos.

Segundo CETESB (2011) considera o poluente atmosférico como qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem-estar público, danos aos materiais, à fauna à flora ou prejudicar à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às actividades normais da comunidade.

Segundo (Castanho, 2009) os poluentes atmosféricos podem ser classificados em primários e secundários, sendo que mais de 90 % dos problemas de contaminação do ar são causados pelos primários. Os poluentes ou contaminantes primários são aqueles emitidos directamente da fonte de emissão, enquanto que os secundários são formados na atmosfera através da reação química entre dois ou mais poluentes primários, ou pela reação dos componentes primários com constituintes normais presentes na atmosfera. As

fontes geradoras de poluentes podem ser classificadas em estacionárias e móveis. As estacionárias são definidas como qualquer instalação, equipamento ou processo natural ou artificial, em local fixo, que possa liberar ou emitir matéria ou energia para a atmosfera enquanto as fontes móveis são as que desempenham o mesmo papel, mas se encontram em movimento (Castanho, 2009).

Pode-se destacar como principais gases tóxicos emitidos directamente pelas fontes antrópicas para a atmosfera em centros urbanos e industriais: NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio), SO<sub>x</sub> (óxidos de enxofre), CO (monóxido de carbono), CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), Material Particulado (MP) (Belato, 2013).

## **2.2. Cimento e sua origem**

O cimento é um insumo utilizado pela humanidade desde os primórdios da civilização. A origem da palavra é derivada do latim “*Caementu*”, a qual era utilizada na Roma antiga para designar uma rocha de ocorrência natural (Moretti & Caro, 2017). Em 1830, o inglês Joseph Aspdin patenteou o processo de fabricação que resultava da mistura de calcário e argila, calcinada em proporções definidas, dando origem a um pó com cor e características semelhantes a uma pedra abundante na Ilha de Portland, sendo chamado de Cimento Portland. Actualmente, o cimento é o componente básico do concreto, que corresponde ao segundo material mais utilizado pelo homem, sendo a água o primeiro (Visedo & Pecchio, 2019).

Em Moçambique, a construção da primeira fábrica de cimento foi na cidade da Matola no ano de 1920 e quatro anos mais tarde, exactamente em Março de 1924, iniciou sua produção do cimento. Nessa altura a empresa era designada por “Empresa Portland Cimento de Moçambique, limitada”, equipada com uma linha de produção de clínquer por via húmida, com capacidade para produzir 45 000 toneladas por ano. Até 1952 foi o único centro de produção de cimento em Moçambique (Bernandes, 2010).

Actualmente, Moçambique dispõe de 14 indústrias de produção de cimento. Segundo Santos (2021), em 2020 as 14 indústrias instaladas no país produziram 2.9 mil toneladas de cimento contra as 2.8 mil toneladas do ano

anterior considerando assim um acréscimo de 1.8%. A quantidade de cimento produzida fica aquém da capacidade total de produção instalada nas indústrias que é de 5.9 mil toneladas por ano e aquém da quantidade necessária para suprir a demanda do mercado Moçambicano.

### **2.3. Processo de produção de cimento**

O processo de produção de cimento tem início com a extração das matérias-primas (calcário e argila) cuja extração é geralmente efectuada em pedreiras localizadas no perímetro fabril, após a extração a matéria-prima (calcário) apresenta-se em formas de blocos de dimensões consideráveis, tornando-se necessária a redução do seu tamanho a uma granulometria compatível ao transporte e a armazenagem, operação esta que ocorre num britador (Palermo, 2021).

Após a britagem, o calcário passa para o processo de homogeneização onde é misturado a argila. A mistura homogeneizada passa por um processo de moagem onde se é obtido um pó fino designado por cru. A mistura de cru obtida é admitida em um forno com uma temperatura em torno de 1450 °C onde tem por resultado a produção do clínquer (Araújo, 2008).

Depois da retirada do clínquer do forno, ele passa por um resfriador para a diminuição da temperatura para aproximadamente 200 °C e é a posterior armazenado em silos de clínquer (Belato, 2013).

Para a obtenção do cimento, se procede com a moagem do clínquer com a adição do gesso, calcário, argila em um moinho giratório, tendo com resultado um produto fino e homogéneo. O cimento moído é deslocado para silos de armazenamento para posterior ensacamento e expedição do produto final (Araújo, 2008).

## **2.4. Principais poluentes emitidos pelo sector de cimento**

A indústria de cimento é caracterizada pelo seu elevado potencial poluidor. Durante o processo de produção de cimento há uma alta emissão de poluentes gasosos, bem como de partículas totais suspensas. Os tipos de poluentes emitidos e a taxa de emissão vão variar, dependendo das características operacionais do sistema e da composição química das matérias-primas e dos combustíveis utilizados (Castanho, 2009).

Os principais poluentes regulados emitidos para o meio ambiente durante a fabricação do cimento são: partículas totais suspensas (PTS), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e o monóxido de carbono (CO) (Belato, 2013).

### **2.4.1. Partículas Totais Suspensas (PTS)**

O sector do cimento é conhecido como um grande emissor de PTS, as principais fontes PTS são o manuseio, o transporte das matérias-primas, bem como o armazenamento, a moagem do clínquer e a moagem do cimento, além do empacotamento do produto final (Gupta, et al., 2012).

As PTS são formadas por um conjunto de poluentes formados por poeira, fuligem, fumaça e qualquer material sólido e líquido que possua tamanho pequeno o suficiente para se manter em suspensão na atmosfera (CETESB, 2019).

- ❖ Partículas totais em suspensão (PTS): apresentam diâmetro igual ou inferior a 50  $\mu\text{m}$ , contendo parcela potencialmente inalável e outra parcela que pode afectar a qualidade de vida da população;
- ❖ Partículas inaláveis (MP10): apresentam diâmetro igual ou inferior a 10  $\mu\text{m}$ , contendo parcela que pode ficar retida no sistema respiratório superior e outra parcela com capacidade de penetração mais profunda, podendo alcançar os alvéolos pulmonares;
- ❖ Partículas inaláveis finas (MP2,5): apresentam diâmetro igual ou inferior a 2,5  $\mu\text{m}$ , podendo penetrar profundamente no sistema respiratório e alcançar os alvéolos pulmonares.

#### **2.4.2. Óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>)**

Os óxidos de enxofre, SO<sub>2</sub> e o SO<sub>3</sub> são gerados a partir da queima do enxofre contido nos combustíveis utilizados, em sua maior parte os combustíveis utilizados na produção de cimento são os fósseis, o carvão mineral e o óleo combustível que durante a sua combustão libertam os óxidos de enxofre, também são libertados óxidos de enxofre durante as reações químicas do enxofre contido nas matérias-primas (gesso - CaSO<sub>4</sub>) alimentadas nos fornos de cimento que durante a sua combustão, ocorre a libertação dos óxidos de enxofre (Belato, 2013). Entre os compostos de enxofre emitidos, o SO<sub>2</sub> é o predominante (99%), sendo considerado o mais importante e utilizado como referência, uma vez que o SO<sub>3</sub> é usualmente emitido em quantidades muito pequenas (Belato, 2013).

#### **2.4.3. Óxidos de Nitrogénio (NO<sub>x</sub>)**

Os óxidos de nitrogénio englobam uma grande variedade de compostos, NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, mas aqueles usualmente considerados para fins de poluição e controle de emissões são o NO e o NO<sub>2</sub>. Estes óxidos são gerados a partir da oxidação do nitrogénio nas altas temperaturas dos fornos de clínquer (Signoretti, 2008). Também são gerados óxidos de nitrogénio a partir da oxidação dos compostos nitrogenados presentes nos combustíveis fósseis utilizados, o carvão mineral e o óleo combustível que durante a sua combustão libertam os óxidos de nitrogénio (Belato, 2013).

#### **2.4.4. Monóxido de Carbono (CO)**

As fontes de emissão de monóxido de carbono no processo de produção do cimento são a oxidação parcial do carbono orgânico presente nas matérias-primas (como a argila) e, principalmente, a queima incompleta de combustíveis nos fornos de clínquer, representando uma perda de energia. (Belato, 2013).

## **2.5. Sector de produção de cimento e sua interface com o meio ambiente e com a saúde humana**

O processo produtivo do cimento tem sido apontado como gerador de impactos tanto ambientais, como sociais. Impactos relacionados com as comunidades circunvizinhas das fábricas são corriqueiros e alguns deles causavam conflitos com seus habitantes, por gerarem problemas relacionados à saúde humana, tais como: contaminações do ar, da água ou do solo (Carvalho, 2008).

### **❖ Partículas em suspensão**

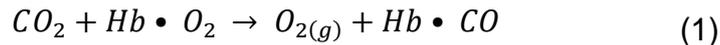
Quando há degradação ou alteração da qualidade do ar pelo aumento da concentração das partículas suspensas, pode se comprometer a saúde da população, como também a integridade da fauna e flora e dos materiais expostos a este poluente (Lisboa, 2008).

A alta concentração de partículas suspensas no ar pode gerar a dispersão da luz solar, o que acaba diminuindo a visibilidade. O efeito mais importante sobre a visibilidade é causado por partículas de uma gama de tamanho compreendida entre 0,1 e 1 $\mu$ m de diâmetro (Hoinaski, 2010).

Nos seres humanos, as partículas suspensas com uma gama de tamanho igual ou inferior a 50  $\mu$ m podem causar enfraquecimento do sistema respiratório; danos aos olhos, aumento da suscetibilidade a doenças respiratórias. Sobre a vegetação, as partículas totais suspensas podem causar a diminuição das fontes de alimento e a redução da capacidade de reprodução agrícola pois, o contacto das partículas suspensas com a vegetação ocasionam desde a necrose do tecido das folhas, caule e frutos até a redução da taxa de crescimento ou até a mesmo a interrupção total do processo reprodutivo da planta (Carneiro, 2004).

### ❖ **Monóxido de Carbono (CO)**

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro e tóxico. CO é um gás inerte, não constitui grande ameaça à vegetação ou aos materiais expostos à atmosfera, no entanto, se aspirado em determinadas quantidades pode causar a morte. No sangue ele forma um complexo estável com hemoglobina (Hb) (Carvalho, 2008).



Se aproximadamente 2% da Hb estiver ligada ao CO, a actividade normal da pessoa fica debilitada, se essa percentagem estiver entre 10 e 20% pode causar a morte do indivíduo. O complexo formado impede o transporte de oxigénio pelo corpo, levando, inicialmente, à inconsciência e depois à morte (Carvalho, 2008).

### ❖ **Óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>)**

O SO<sub>2</sub> resulta portado da reacção do enxofre com o oxigénio, durante o processo de combustão, conforme se descreve na reacção seguinte (Vallero, 2008):



Este poluente é um precursor das chuvas ácidas pois, na atmosfera, o SO<sub>2</sub> reage novamente com oxigénio para formar Sulfito (SO<sub>3</sub>) que, por sua vez, reage com a água para formar ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (Vallero, 2008):

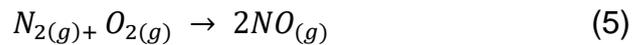


O SO<sub>2</sub> é um gás incolor e altamente tóxico, possuindo odor asfixiante em concentrações acima de 3-5 ppm, A exposição humana a este poluente pode causar irritação no canal respiratório, agravar doenças pré-existentes como a asma (Souza, 2012). O principal efeito sobre a saúde é no aparelho respiratório, o SO<sub>2</sub> causa irritação do canal respiratório, principalmente em pessoas asmáticas e com deficiência respiratória, além de secreções da mucosa nasal (Belato, 2013).

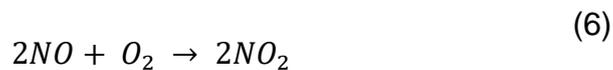
### ❖ Óxidos de nitrogénio (NO<sub>x</sub>)

O NO é um gás sem cor, sem cheiro e praticamente insolúvel em água. Já o NO<sub>2</sub> é um gás castanho avermelhado, não inflamável, possui um forte odor ácido e é mais facilmente solúvel em água.

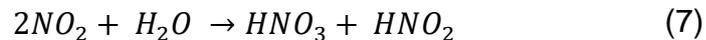
Dos óxidos de nitrogénio, NO e NO<sub>2</sub> são poluentes provenientes de processos industriais, o ar utilizado na combustão favorece a formação do NO representado nas equações a seguir (Vallero, 2008):



O NO é oxidado formando NO<sub>2</sub> (Vallero, 2008):



NO<sub>2</sub> é um precursor das chuvas ácidas pois, na atmosfera, este poluente reage com moléculas de água para formar ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), um poluente secundário que é produzido pela seguinte reacção (Vallero, 2008):



## 2.6. Regulamentação Moçambicana sobre a qualidade do ar

**Tabela 1.** Padrões de Qualidade de Ar

Parâmetros ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tempo de Amostragem							
	1 hora		8 horas		24 horas		Media Aritmética Anual	
	Primário	Secundário	Primário	Secundário	Primário	Secundário	Primário	Secundário
Dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ )	800	-	-	-	100	-	40	-
Dióxido de nitrogénio ( $\text{NO}_2$ )	190	-	-	-	-	-	10	-
Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ )	30.000	-	10.000	-	-	-	-	-
Partículas Suspensas Totais (PST)	-	-	-	-	150	-	60	-

**Fonte:** Decreto 67/2010 – Regulamento Sobre Qualidade Ambiental e Emissão de Efluentes

## 2.7. Regulamentação sobre a qualidade do ar estabelecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS)

Desde 1987, a OMS vem publicando periodicamente diretrizes de qualidade do ar baseadas na saúde para assessorar os governos e a sociedade civil a reduzirem a exposição humana à poluição atmosférica e seus efeitos adversos.

De várias maneiras, essas diretrizes estimularam as autoridades e a sociedade civil a aumentarem os esforços para controlar e estudar as exposições nocivas à poluição do ar. Tendo em vista os muitos avanços científicos e o papel global desempenhado pelas diretrizes de qualidade do ar da OMS, a presente actualização foi iniciada em 2016 (OMS, 2021). Nesta actualização das diretrizes, são formuladas recomendações sobre valores-guia para os seguintes poluentes: dióxido de nitrogénio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono e partículas totais suspensas descritas na tabela 2.

**Tabela 2.** Valores-guia para dióxido de nitrogénio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono e partículas totais suspensas (períodos de referência curtos)

Poluente	Tempo medio de referência	Valores-guia válidos
NO <sub>2</sub> , µg/m <sup>3</sup>	1 hora	200
SO <sub>2</sub> , µg/m <sup>3</sup>	10 minutos	500
PTS, µg/m <sup>3</sup>	24 horas	45
CO, mg/m <sup>3</sup>	8 horas	10
	1 hora	35
	15 minutos	100

**Fonte:** Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS (2021)

## 2.8. Índice de Qualidade de Ar

O índice de qualidade do ar (IQA) é uma ferramenta utilizada para dar significância e simplificar os dados relativos à monitorização da qualidade do ar. Foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos da América. Consiste em transformar as concentrações de poluentes atmosféricos em um único valor adimensional que possibilita a comparação com os valores definidos na legislação aplicável e facilita a compreensão do público em relação aos níveis de poluição atmosférica (Lisboa & Kawano, 2010).

**Tabela 3.** Parâmetros de classificação do índice de qualidade de ar

Índice/ Classificação	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h	CO (ppm) 8h	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 1h	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h
<b>0 – 40</b> <b>(Muito Bom)</b>	0 – 50	0 – 9	0 – 200	0 – 20
<b>41 – 80 (Bom)</b>	> 50 – 100	> 9 – 11	> 200 – 240	> 20 – 40
<b>81 –120</b> <b>(Moderado)</b>	> 100 – 150	> 11 – 13	> 240 – 320	> 40 – 365
<b>121 – 200</b> <b>(Fraco)</b>	> 150 – 250	> 13 – 15	> 320 – 1130	> 365 – 800
<b>&gt; 200 (Mau)</b>	> 250	> 15	> 1130	> 800

**Fonte:** Adaptado das diretrizes globais de qualidade do ar da OMS (2015)

Baseado nas concentrações dos poluentes monitorados e nas faixas de concentração definidas para cada poluente de acordo com a tabela 3, o cálculo do IQAr é dado pela seguinte equação (Lisboa & Kawano, 2010):

$$IQAr = \frac{I_f - I_i}{C_f - C_i}(C - C_i) + I_i \quad (9)$$

Onde:

- ❖  $I_f$  = valor do IQA máximo da faixa onde o poluente se encontra ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- ❖  $I_i$  = valor do IQA mínimo da faixa onde o poluente se encontra ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- ❖  $C_f$  = valor máximo da faixa de concentração onde o poluente se encontra ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- ❖  $C_i$  = valor mínimo da faixa de concentração onde o poluente se encontra ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- ❖  $C$  = concentração média do poluente ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Tabela 4.** Índices de qualidade de ar e seus efeitos à saúde

<b>Índice/ Classificação</b>	<b>Significância</b>
<b>0 – 40 (Muito bom)</b>	Atende as recomendações da OMS para que a saúde da população seja preservada ao máximo, em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.
<b>41 – 80 (Bom)</b>	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
<b>81-120 (Moderado)</b>	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sério na saúde.
<b>121 – 200 (Fraco)</b>	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idoso e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas)
<b>&gt; 200 (Mau)</b>	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestação de doenças respiratório e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

**Fonte:** Adaptado das diretrizes globais de qualidade do ar da OMS (2015).

## **CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1. Metodologia**

Para a realização do presente trabalho seguiu-se a seguinte metodologia de trabalho:

#### **I. Revisão da Literatura**

A revisão da literatura compreendeu a pesquisa e sistematização de informações de vários recursos, tais como, livros, artigos científicos, jornais, revistas científicas que falam sobre poluição atmosférica causada pelo sector de cimento.

#### **II. Visitas de Campo**

Foram efectuadas duas visitas de campo, onde (Janeiro e Fevereiro), foi feito o reconhecimento do campo de estudo e também foi conduzido inquérito a população residente na área de estudo. Foram medidos os parâmetros de qualidade do ar (Março e Setembro) e recolheu-se amostras de PTS para efectuar as análises laboratoriais.

#### **III. Tratamento de dados, análises e discussão de resultados**

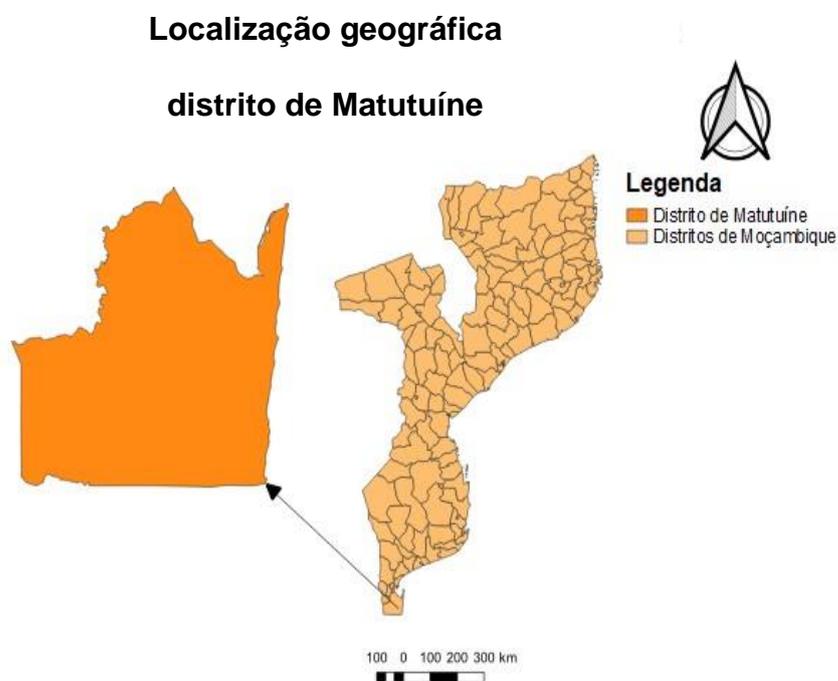
Para analisar, descrever e organizar os dados obtidos, recorreu-se a utilização de técnicas da estatística descritiva para o cálculo de valores médios dos parâmetros, cálculos do índice de qualidade do ar ambiente. Foram elaborados gráficos para análise dos parâmetros mensurados e comparar os parâmetros com o padrão estabelecido pelas Legislações Moçambicana e Directrizes Globais da OMS.

#### **IV. Limitações**

Não foi possível efectuar medições dos parâmetros de qualidade do ar por mais de uma vez na época húmida devido a indisponibilidade dos equipamentos de medição de gases e poeiras da Faculdade de Engenharia da UEM e não foi possível ainda medir os parâmetros dentro da fábrica Moçambique Dugongos Cimentos devido a impossibilidade de entrada na mesma.

### 3.2. Local de monitorização e recolha de amostras

O presente estudo foi realizado nos bairros circunvizinhos da fábrica Moçambique Dugongo Cimentos, na comunidade de Salamanga, no distrito de Matutuíne. O distrito de Matutuíne localiza-se no extremo Sul da Província de Maputo e do País. A Norte é limitado pela baía e a Cidade de Maputo, a Sul pela República da África do Sul, com a Província de Kuazalo-Natal, a Este é banhada pelo Oceano Índico e a Oeste confina com os distritos de Namaacha, Boane e com o Reino da Suazilândia (MICOA, 2012).



**Figura 1:** Localização geográfica do distrito de Matutuíne

### **3.3. Pontos de recolha de amostras**

As medições foram feitas nas duas épocas do ano (época húmida e seca), nos arredores da fábrica Moçambique Dugongo Cimentos, nos bairros habitados, onde, nos mesmos foram determinados 4 pontos de medição. Os pontos de medição foram determinados a montante e a jusante da fábrica de produção de cimento. Os pontos de medição a jusante foram determinados com base na direcção do vento local e na densidade populacional.

- ❖ Os pontos a jusante da fábrica foram todos localizados nos bairros habitados;
- ❖ Os pontos de medição a jusante da fábrica foram localizados entre Oeste e Noroeste da planta de produção de cimento pois, estas são as zonas que tem influência directa das emissões atmosféricas da fábrica devido a direcção do vento local;
- ❖ Os pontos de medição a jusante, foram localizados próximos as três principais fontes de emissão de poluentes que são: a planta de produção de cimento, a via de acesso de transporte de matéria-prima da mina de calcário à fábrica e a mina de calcário, onde:
  1. Ponto de medição 2, é o ponto de medição mais próximo da planta de produção de cimento onde se encontram pequenos aglomerados populacionais.
  2. Ponto de medição 3, é ponto intermediário entre o maior aglomerado populacional e a mina de calcário.
  3. Ponto de medição 4, é ponto localizado no maior aglomerado populacional (bairro residencial).
- ❖ Foi determinado um ponto de medição a montante da fábrica de cimento afim de aferir a credibilidade da participação das emissões atmosféricas da fábrica na qualidade do ar das zonas habitadas a jusante e de influência directa das emissões atmosféricas.



**Figura 2.** Pontos de medição

**Tabela 5.** Condições meteorológicas e coordenadas geográficas dos pontos de medição

Pontos de medição	Direcção do vento local	Data da medição	Condições meteorológicas			Coordenadas geográficas	
			Velocidade do vento (Km/h)	Humidade relativa média (%)	Temperatura média (°C)	Longitude	Latitude
1	Segundo	22/03/23	23	54	30	-26,395460	32,665132
2	INAM (2010)	25/08/23	19.6	48	26	-26,3896059	32,6491564
3	os ventos do	29/08/23	21.13	43	29	-26,393395	32,649448
4	distrito são ventos de Sul à Norte.	30/08/23	22	49	26	-26,3843757	32,6410376

Foi conduzido ainda um inquérito à população com vista a percepção do impacto ambiental causado a vida da mesma advindo das emissões atmosféricas da fábrica. Nas entrevistas realizadas, foram abrangidas um total de 20 habitantes, distribuídos em 20 residências, sendo um habitante por residência entrevistado. Os itens abordados foram, a alteração na qualidade do ar ambiente desde da operacionalização da fábrica de cimentos relativamente a existência de PTS, registo de doenças respiratórias, ocorrência de PTS nas residências da comunidade emitido a quando da operacionalização da fábrica, presença de odor/cheiro característico indesejável que a fábrica de cimento emite e que chega na zona residencial. O inquérito consta no apêndice 3 presente trabalho.

### 3.3. Parte experimental

#### 3.3.1. Análises *in-situ*

As análises *in-situ* foram feitas com base no equipamento analisador de gases ilustrado na figura 3, a medição foi feita através da exposição do equipamento nos pontos e a medição de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e CO. As medições dos gases foram feitas a uma altura de aproximadamente 1 metro.



**Figura 3:** Analisador de gases

Foi também utilizada a bomba de sucção ilustrada na figura 4, para succionar as partículas sólidas em suspensão. No campo, a bomba de sucção foi conectada a cassete com o filtro mensurado a prior no laboratório através de um tubo cristal, a bomba foi exposta nos pontos de medição num período de 3 horas em cada ponto afim de succionar para o filtro as partículas sólidas suspensas na atmosfera local. A succussão das partículas sólidas em suspensão foi feita a uma altura de aproximadamente 1 metro.



**Figura 4:** Bomba de sucção conectada ao tubo cristal

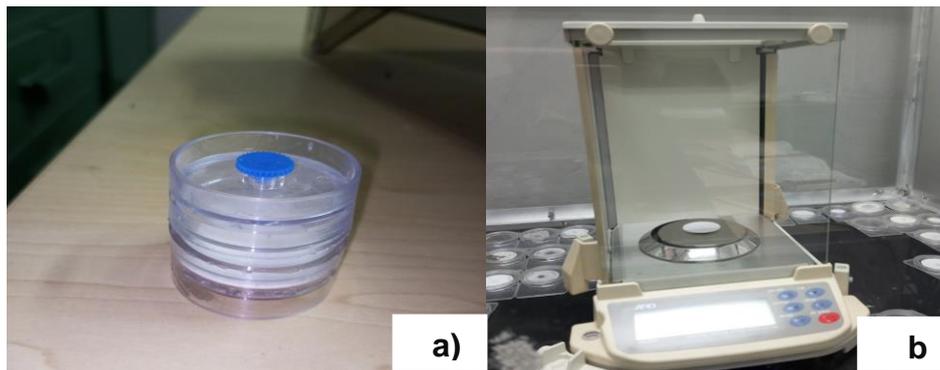
### 3.3.2. Análises laboratoriais

No laboratório foram efectuadas as análises das partículas sólidas em suspensão, sendo os procedimentos descritos a seguir:

1. Os filtros foram mensurados na balança analítica, colocados de seguida na cassete porta filtro e levados ao campo afim de reterem as partículas sólidas em suspensão num período de exposição de 3 horas;

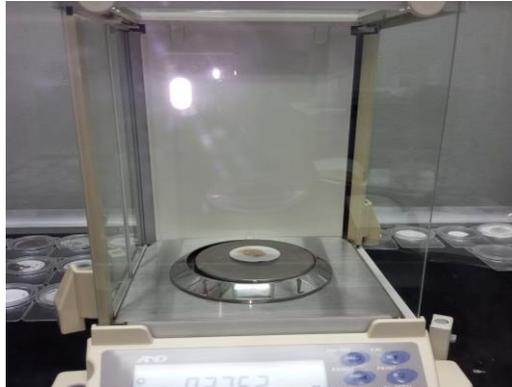


**Figura 5:** Filtros de papel



**Figura 6:** a) Cassete porta filtros, b) Balança analítica para pesagem do filtro laboratorial

2. Após a retenção das partículas, já no laboratório, os filtros foram retirados das cassetes e pesados novamente na balança analítica afim de se aferir a massa do filtro com as partículas sólidas retidas;



**Figura 7:** Pesagem do filtro contendo partículas sólidas

3. Após a pesagem dos filtros fez-se a diferença das massas dos filtros com vista a determinar a massa das partículas e por último, a determinação da concentração das partículas solidas.

### 3.3.3. Análises estatísticas

Para a determinação do resultado do índice de qualidade do ar da zona circunvizinha da fábrica foram usados métodos de estatísticos e matemáticos:

1. As médias aritméticas dos valores de concentração de cada poluente mensurado foram determinadas através da equação 10. Os valores das médias estão apresentados no apêndice 1 presente trabalho.

$$\text{Média } x = \frac{\sum x}{n}$$

10

Onde:

$\sum x$  - Somatório das concentrações de cada poluente em todos os pontos de medição em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;

n - Número de medições feitas.

1. Após a determinação dos valores médios das concentrações dos poluentes, determinou-se o índice de qualidade do ar para cada poluente com o auxílio da equação 9 e os valores estão apresentados no apêndice 1 do presente trabalho.

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO**

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados referentes as análises de qualidade do ar nos meses de Março e Setembro do ano em curso. No mês de Março as medições foram realizadas no dia 22/03/23 e no mês de Setembro foram realizadas nos dias 25/08/23, 29/08/23 e 30/08/23 nos bairros arredores da fábrica Moçambique Dugongo Cimentos.

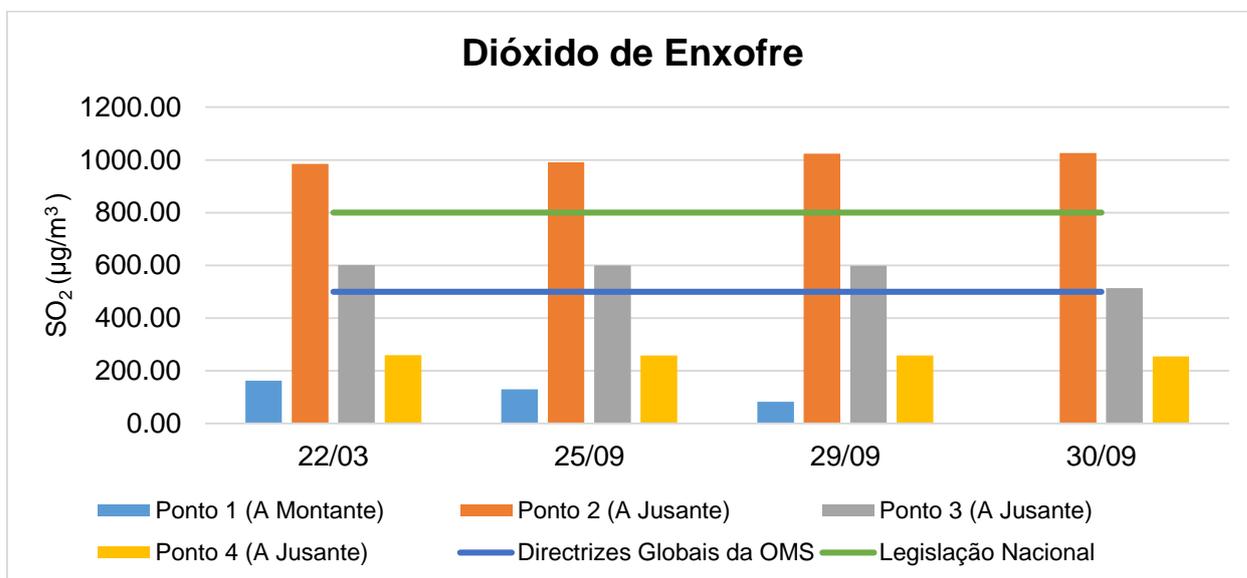
Os resultados foram divididos por cada parâmetro mensurado e comparados aos limites estabelecidos pelo diploma ministerial n° 67/2010 de 31 de Dezembro (Regulamento Sobre Qualidade Ambiental e Emissão de Efluentes) e pelas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde para o ano de 2021.

A partir das análises efectuadas observa-se que os resultados dos parâmetros NO<sub>2</sub>, CO estão dentro dos limites admissíveis e os gráficos podem ser observados no apêndice 4 do presente trabalho, entretanto os resultados de SO<sub>2</sub> e PTS apresentam valores altos ao limite admissível em todos pontos para as PTS e em alguns pontos para o SO<sub>2</sub>.

Os gráficos que se seguem, estão representados os valores das concentrações médias dos parâmetros SO<sub>2</sub> e PTS nos quatro pontos de medição.

#### 4.1. Dióxido de Enxofre

No gráfico que se segue, estão apresentados os resultados das concentrações médias do SO<sub>2</sub> para os quatro pontos de medição, sendo os valores médios máximos registados de 1023,398 µg/m<sup>3</sup> na época seca e de 985.177 µg/m<sup>3</sup> registado na época húmida.



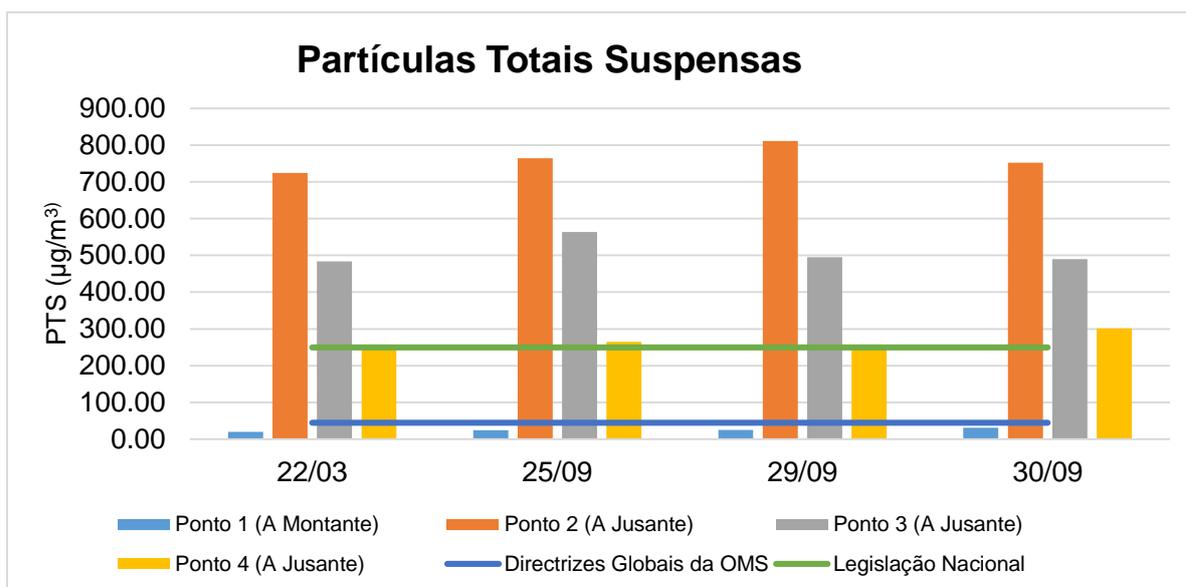
**Gráfico 1.** Concentrações médias de SO<sub>2</sub> para os quatro pontos de medição.

O motivo da existência de concentrações de SO<sub>2</sub> na zona circunvizinha da fábrica pode ser devido a queima do enxofre contido nos combustíveis fósseis utilizados para a produção do clínquer (carvão mineral e o óleo combustível) que durante a combustão libertam SO<sub>2</sub> e de reações químicas do enxofre contido nas matérias-primas (gesso) que durante a combustão libertam SO<sub>2</sub>.

As concentrações do SO<sub>2</sub> encontra-se acima dos limites admissíveis pela Legislação Nacional para o segundo ponto e pelas Directrizes Globais da OMS para o segundo e o terceiro ponto de medição o que, por estar acima dos limites admissíveis o SO<sub>2</sub> confere perigo a saúde da população local e também ao meio ambiente.

## 4.2. Partículas Totais em Suspensão

No gráfico 2 estão apresentados os resultados das concentrações médias das partículas totais em suspensão, para os quatro pontos de medição. Para os quatro pontos de medição analisados todos apresentam concentrações PTS, sendo os valores máximos analisados na época seca de 724,64  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e de 801.103  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  registado na época húmida.



**Gráfico 2.** Concentrações médias de PTS para os quatro pontos de medição

As concentrações de PTS encontram-se fora do limite admissível pela Legislação Nacional e pelas Directrizes Globais da OMS em todos os pontos de medição localizados a jusante da fábrica de produção de cimento, o que confere para a atmosfera local um perigo à saúde da população local e ao meio ambiente.

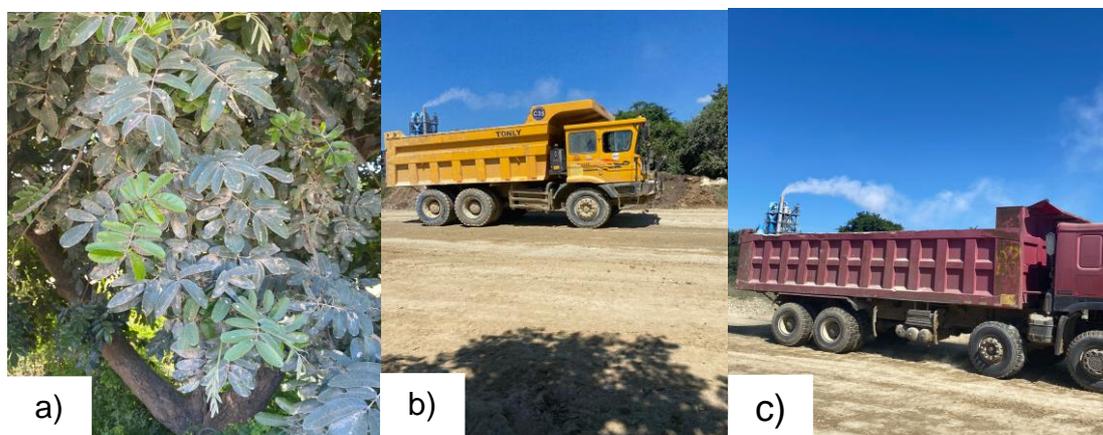
O motivo da existência de elevadas concentrações de PTS a jusante da fábrica de produção de cimento é a não asfaltagem da via de acesso que liga a fábrica à mina de calcário para além do transporte da matéria-prima sem protecção alguma pelos camiões transportadores e do sistema deficiente de humificação da via.

A via de acesso que liga a fábrica à mina de calcário não se encontra asfaltada, pelo que a quando da passagem dos camiões contendo matéria prima ocorre a ascensão de partículas do solo ricas em calcário.

Os camiões de transporte de matéria-prima, transportam a matéria-prima sem nenhum tipo de proteção e em contacto com atmosfera o que causa a ascensão e dispersão das partículas mais finas de calcário.

Na época húmida verificou-se que o sistema de humedificação da via de acesso que liga a fábrica à mina de calcário era ineficaz e moroso pois, o único camião existente para humedificação da via não cobria toda a largura da via de acesso e registava-se uma demora excessiva no retorno do mesmo para a humedificação da parte remanescente sendo assim, uma parte da via era humedificada e a outra permanecia seca e os camiões de transporte de matéria-prima utilizavam ambas faixas.

Na época seca (no mês de Setembro) verificou-se a inexistência de qualquer tipo de sistema de humedificação da vida de acesso, o que pode ter contribuído para o aumento significativo das concentrações das PTS registadas.



**Figura 8:** a) Vegetação local afectada pelas PTS; b) e c) Camiões de transporte de matéria-prima sem nenhuma proteção.

### 4.3. Índice de qualidade do ar da zona circunvizinha da fábrica

O resultado do índice de qualidade do ar foi obtido pela pior classificação obtida de todas classificações individuais dos poluentes atmosféricos mensurados na zona circunvizinha da fábrica.

**Tabela 6.** Resultados e classificação do Índice de Qualidade do Ar da zona circunvizinha da fábrica

Poluentes atmosféricos	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PTS	CO
Resultado do IQAr	142.62	1.542	312.24	0
Classificação do IQAr	121 – 200 Fraco	0 - 40 Muito bom	> 200 Mau	0 – 40 Muito bom

Devido as altas concentrações das PTS na zona circunvizinha da fábrica, o índice de qualidade do ar da atmosfera da zona local foi classificado como mau, onde a significância está descrita na tabela 7.

**Tabela 7.** Índice de Qualidade do Ar da zona circunvizinha da fábrica e sua significância

IQAr	Significância
> 200 (Mau)	Toda população pode apresentar sérios riscos de manifestação de doenças respiratórias e cardiovasculares, como também pode ocorrer o aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1. Conclusões**

A população residente no entorno da fábrica “Moçambique Dugongo Cimento, SA” está perante uma atmosfera local constituída por poluentes primários oriundos em sua maior parte do processo de produção de cimento. Os parâmetros de qualidade do ar mensurados no entorno da fábrica foram NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PTS e CO.

A monitorização da qualidade do ar nos quatro pontos de medição determinou que, o CO e o NO<sub>2</sub> estão dentro do padrão legislativo nacional e dentro do padrão estabelecido pelas directrizes globais da OMS. Em confrontação com a legislação nacional, os resultados das PTS apresentaram valores altos ao padrão legislativo nacional em todos os pontos a jusante da fábrica e os resultados do SO<sub>2</sub> apresentam valores altos padrão legislativo nacional no segundo ponto a jusante. Em confrontação com as directrizes globais da OMS, os valores das PTS apresentam valores altos ao padrão estabelecido em todos os pontos de medição a jusante da fábrica e o SO<sub>2</sub> apresenta valores altos ao padrão estabelecido para o segundo e terceiro ponto de medição a jusante.

A fábrica “Moçambique Dugongo Cimento, SA” tem um impacto ambiental significativo na qualidade do ar, em resultado das actividades de produção de cimento a qualidade do ar no entorno da fábrica de cimento é péssima, a população local está exposta a elevados níveis de poluição e o índice de qualidade do ar local determinado é mau o que que significa que toda população pode apresentar sérios riscos de manifestação de doenças respiratórias e cardiovasculares, podendo haver aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas que já possuem problemas respiratórios e cardiovasculares).

## 5.2. Recomendações

Recomenda-se:

- ❖ A pavimentação ou asfaltagem da via de acesso que liga a fábrica à mina de calcário com vista a diminuição da quantidade de partículas sólidas que entram em ascensão a quando da passagem dos camiões contento a matéria-prima extraída da mina.
- ❖ A colocação de uma lona de proteção nos camiões de transporte de matéria-prima com vista a não dispersão de partículas de calcário para atmosfera.
- ❖ O aumento da frota de camiões de humedificação da via que liga a fábrica à mina de calcário, de 1 actualmente existente para 2 com vista a dinamização do processo de humedificação.
- ❖ Realização de um estudo similar dentro da fábrica Moçambique Dugongo Cimentos para Complementar este estudo.

## CAPÍTULO 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 6.1. Referências Bibliográficas

1. ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). 2018 - Fluxograma de Fabricação de Cimento. Brasil.
2. Araújo, R. P. 2008 - Monitorização da Qualidade do ar na Envolvente de Industrias Cimenteiras. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. pp. 10-25.
3. Belato, M. 2013 - Analise da Geração de Poluentes na Produção de Cimento Portland com o Coprocessamento de Resíduos Industriais. Universidade Federal de Itajuba. Itajuba. pp. 9-25.
4. Bernandes, J. 2010 - Controlo De Gestão Na Cimentos De Moçambique. Universidade de Coimbra. pp. 2-12.
5. Carneiro, B. 2004 - Estudo de Impacte Ambiental da Unidade de Recepção e Moagem de Clínquer do Porto de Setúbal e Respectivo Cais de apoio - Cimentos e Produtos Associados, SA. Lisboa. pp. 70-98.
6. Carvalho, M. (2008). Impactos e Conflitos da Produção de Cimento no Distrito Federal. Brasília-DF.
7. CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). (2011). Qualidade do Ar-Poluentes. Brasil.
8. CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). (2019). Qualidade do Ar – Poluentes. Brasil.
9. Chamusse, J. (2011). Holding da Frelimo Embrulhada no barulho em Salamanga- Expropriação de Terras. *Zambeze Nacional*, p. 15.
10. Chaves, W., Morais, V., Oliveira, P., & Envagelista, W. 2014 - Análise de indústrias cimenteiras e seus impactos socio ambientais. Minas Gerais. pp. 2-4.
11. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2015. Conselho Nacional do Meio Ambiente. CONAMA. Brasil.

12. Diploma Ministerial nº 18/2004 de 2 de Junho, Regulamento sobre Padrões de Qualidade Ambiental e de Emissões de Efluentes.
13. Dorileo, L., Bajay, V., & Gorla, D. 2010 - Oportunidades de eficiência energética para indústria - Relatório sectorial: sector cimenteiro. Brasília. p. 64.
14. Garcia-Gusamo, D., Garrain, D., Herrera, I., & Lechon, Y. 2015 - Life cycle assessment of the Spanish cement industry: implementation of environmental-friendly solutions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, Volume 17, pp. 59-73.
15. Gupta, A., Majumbar, D., Trivedi, V., & Bhanarkar, D. 2012 - Particulate matter and elemental emissions from a cement kiln. *Fuel Processing Technology*, Volume 104, pp 343-351.
16. Jordal, K., Voldsund, M., Storset, S., Fleiger, K., Sporl, R., Hornberger, M., & Cinti, G. 2017 - Making CO<sub>2</sub> capture retrofittable to cement plants. *Energy Procedia*, Volume 114, pp. 175-180.
17. Jungbluth, N., Chudacoff, M., Dauriat, A., Dinkel, F., Doka, G., Gnansounou, E., Sutter, J. 2007 - Life Cycle Inventories of Bioenergy. Ecoinvent report No. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Volume 17, pp 7-27.
18. Kuenen, J. 2016 - Cement production. In: European Monitoring and Evaluation Programme/European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016: Technical guidance to prepare national emission inventories. Dinamarca, Volume 2, pp. 126-133.
19. Lúcia. J. 2022 - Dugongo Cimentos piorou as condições de vida e deixa mais de 100 famílias em condições deploráveis em Matutuíne. *Centro para Democracia e Desenvolvimento*, pp. 1-10.
20. MAE (Ministério da Administração Estatal). 2005 - Perfil do Distrito de Matutuíne Província de Maputo. Ministério da Administração Estatal, versão de 2005, pp. 2-4.

21. Manuela, W., Lino, M., Ildetrudes, N., Raquel, F., Cristina, L., Carlos, L., Dinis, M. 2016 - Projecto da Fabrica de Cimento em Matutuíne Viola Direitos das Comunidades. *Centro Terra Viva*, pp. 1-7.
22. Maury, B., & Blumenschein, N. 2012 - Produção de Cimento: Impactos à Saúde e ao Meio Ambiente. *Sustentabilidade em Debate*, Volume 3, pp. 75-93.
23. MICOA (Ministério Para a Coordenação da Acção Ambiental). 2012 - Perfil Ambiental E Mapeamento Do Uso Actual Da Terra Nos Distritos Da Zona Costeira De Moçambique. Maputo. Versão Preliminar, p. 3.
24. Moretti, L., & Caro, S. 2017 - Critical analysis of the Life Cycle Assessment of the Italian cement industry. *Journal of Cycle Production*, Volume 152, pp. 198-210.
25. Oliveira, F. 2012 - “Uma Revisão dos Princípios de Funcionamento e Métodos de Dimencionamento de Moinhos de Bolas. Universidade Federal de Itajubá Itajubá.
26. OMS (Organização Mundial da Saúde). 2021 - Directrizes globais de qualidade do ar da OMS: Partículas inaláveis (MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub>), ozônio dióxido de nitrogénio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Resumo executivo. *Organizacao Pan-Americana de Saude*, Washington.
27. Palermo, G. C. (2021). Avaliação De Ciclo De Vida De Cenários Para 2030 Da Indústria Brasileira De Cimento. Instituto Alberto Luiz Coimbra. Rio de Janeiro, pp 26-36.
28. Pereira, A., Delpupo, C., Quintella, V., Gonsalves, F., Ferreira, S., Palauro, G., Kimura, W. (2017). Documento-Base para Subsidiar os Diálogos Estruturados sobre a Elaboração de uma Estratégia de Implementação e Financiamento de Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris. Brasília, Volume 2, pp. 24-30.

29. Santi, M. (2004). Coincineração e coprocessamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer: investigação no maior polo produtor de cimento do País, Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, sobre os riscos ambientais, e propostas para a Segurança Química. Campinas. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
30. Santos, S. (2021). Crescimento do Sector de Produção de Cimento em Moçambique em 2020. Ministério da Indústria e Comércio. Maputo.
31. Schaffartzik, A., Mayer, A., Gingrich, S., Eisenmenger, N., & Krausmann, F. (2014). The global metabolic transition: Regional patterns and trends of global material flows. *Global Environmental Change*, Volume 26, pp. 87-97.
32. Schorcht, F., Kourti, I., Scalet, B., Rouder, S., & Sancho, L. (2013). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Luxemburg: European Commission, Joint Research Centre, *JRC Reference Reports*, p. 480
33. Shell, R. (2016). A Better Life with a Healthy Planet – Pathways to Net-Zero Emissions.
34. SIGNORETTI, V. (2008). Controle das Emissões de NOx, SOx e Metais Pesados Quando se Utilizam Combustíveis Alternativos e de Alto Teor de Enxofre na Indústria de Cimento. Universidade Federal de Itajubá. Minas Gerais.
35. Stafford, N., Raupp-Pereira, F., Lanbricha, A., & Hotza, D. (2016). Life cycle assessment of the production of cement: A Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production*, Volume 137, pp. 399 - 493.
36. Stocker, T., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., Boshchung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Migdgley, P. 2013 - Alterações Climáticas. Quinto relatório.

37. Vallero, D. (2008). *Fundamentals of Air Pollution – Fourth Edition*. Durham. North Carolina p. 360.
38. Visedo, G., & Pecchio, M. (2019). *Roadmap Tecnológico do Cimento: Potencial de Redução das emissões de Carbono da Indústria do Cimento Brasileira ate 2050*. Rio de Janeiro: SNIC, pp. 66-81.
39. WBCSD (World Business Council for Sustainable Development), (2009). *Low Carbon Technology Partnerships Initiative (LCTPi) 2016: From Ambition to Implementation*.

# APÊNDICES

**Apêndice 1. Médias aritméticas e valores do índice de qualidade do ar determinados.**

**Tabela 1. Médias aritméticas**

<b>Parâmetros</b>	<b>Média Aritmética (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
SO <sub>2</sub>	484.096
PTS	390.30
NO <sub>2</sub>	7.71
CO	0

**Tabela 2. Valores do IQAr determinados**

<b>Parâmetros</b>	<b>IQAr</b>
SO <sub>2</sub>	142.62
PTS	312.24
NO <sub>2</sub>	1.542
CO	0

**Apêndice 2. Resultados de medições da qualidade do ar nos três pontos de medição da zona circunvizinha da fábrica Moçambique Cimentos Dugongo.**

**Tabela 3.** Resultados das medições de CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>

Descrição dos pontos de medição	Data da medição	Coordenadas geográficas		Hora de medição (h)	Temperatura média (°C)	Concentração dos gases medidos em unidades do SI (µg/m <sup>3</sup> )		
		Longitude	Latitude			CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Ponto de medição 1	22/03/2023	-26,395460	32,665132	10:23	30	0	0	241.235
				10:33		0	0	251.149
				10:43		0	0	244.426
				10:53		0	184.204	239.031
				11:03		0	0	0
				11:13		0	0	0
Ponto de medição 2		-26,3896059	32,6491564	8:11		0	185.753	1033.758
				8:21		0	0	772.76
				8:31		0	185.753	1033.75
				8:41		0	184.531	1026.957
				8:51		0	0	1023.59

				9:01		0	0	1020.245
Ponto de medição 3		-26,393395	32,649448	10:42		0	0	777.89
				10:52		0	0	777.89
				11:02		0	0	510.122
				11:12		0	0	511.795
				11:22		0	0	511.795
				11:32		0	0	513.478
Ponto de medição 4		-26,3843757	32,6410376	13:52		0	0	258.439
				14:02		0	0	258.439
				14:12		0	0	260.162
				14:22		0	0	259.298
				14:32		0	0	259.298
				14:42		0	0	259.298
Ponto de medição 1	25/09/2023	-26,395460	32,665132		26	0	0	260.356
						0	0	0
						0	0	0
						0	0	259.128
						0	0	259.214
						0	0	0
		-26,3896059	32,6491564			0	0	1045.788

Ponto de medição 2						0	0	1031.412
						0	0	782.17
						0	0	1033.75
						0	0	1026.957
						0	0	1023.59
Ponto de medição 3		-26,393395	32,649448			0	0	503.245
						0	0	782.19
						0	0	777.89
						0	0	511.152
						0	0	511.967
Ponto de medição 4		-26,3843757	32,6410376			0	0	511.795
						0	0	255.275
						0	0	258.924
						0	0	258.381
						0	0	261.405
Ponto de medição 1	29/09/2023	-26,395460	32,665132		29	0	0	258.197
						0	0	258.90
						0	0	0
						0	0	0
						0	0	0

					0	0	0
					0	0	255.201
					0	0	243.505
Ponto de medição 2		-26,3896059	32,6491564		0	0	1014.875
					0	0	1025.678
					0	0	1025.678
					0	0	1033.361
					0	0	1020.401
					0	0	1020.395
Ponto de medição 3		-26,393395	32,649448		0	0	518.345
					0	0	768.403
					0	0	514.195
					0	0	511.795
					0	0	511.795
					0	0	768.403
Ponto de medição 4		-26,3843757	32,6410376		0	0	258.439
					0	0	258.162
					0	0	260.162
					0	0	258.292
					0	0	259.298

						0	0	259.298
Ponto de medição 1	30/09/2023	-26,395460	32,665132		26	0	0	0
						0	0	0
						0	0	0
						0	0	0
						0	0	0
						0	0	0
Ponto de medição 2		-26,3896059	32,6491564			0	0	1026.957
						0	0	1033.75
						0	0	1026.957
						0	0	1023.59
						0	0	1020.245
						0	0	1023.59
Ponto de medição 3		-26,393395	32,649448			0	0	519.890
						0	0	513.478
						0	0	510.518
						0	0	510.518
						0	0	513.478
						0	0	518.203
		-26,3843757	32,6410376			0	0	262.120

Ponto de medição 4						0	0	260.162
						0	0	259.475
						0	0	259.475
						0	0	260.150
						0	0	258.518

**Tabela 4.** Resultados das medições das PTS

	Pontos de medição	Coordenadas geográficas		Período de medição (h)	Concentração PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
		Longitude	Latitude		
Época húmida 22/03/2023	1	-26,395460	32,665132	11:00 – 14:00	18.201
	2	-26,3896059	32,6491564	8:11 – 10:11	724.637
	3	-26,393395	32,649448	10:41 – 13:41	483.912
	4	-26,3843757	32,6410376	13:50 – 16:50	241.546
Época seca 25/08/2023	1	-26,395460	32,665132	11:30 – 14:30	24.635
	2	-26,3896059	32,6491564	8:14 – 11:14	764.523
	3	-26,393395	32,649448	11:17 – 14:17	563.924
	4	-26,3843757	32,6410376	14:20 – 17:20	264.631
Época seca 29/08/2023	1	-26,395460	32,665132	8:07 – 11:07	25.045
	2	-26,3896059	32,6491564	11:10 – 14:10	801.103
	3	-26,393395	32,649448	9:16 – 12:16	495.104
	4	-26,3843757	32,6410376	14:14 – 17:14	252.927

Época seca 30/08/2023	1	-26,395460	32,665132	8:30 –11:30	31.129
	2	-26,3896059	32,6491564	11:32 –14:32	752.537
	3	-26,393395	32,649448	14:33 –17:33	489.914
	4	-26,3843757	32,6410376	10:21 –13:21	301.217

### **Apêndice 3. Inquérito conduzido a comunidade circunvizinha da fábrica Moçambique Cimentos Dugongo.**

#### **PARTE I: IDENTIFICAÇÃO DOS RESIDENTES DA COMUNIDADE**

1. É residente da comunidade?
  - 1.1. Se sim, há quanto tempo reside?

#### **PARTE II: SENSIBILIDADE E SAÚDE PÚBLICA**

1. É perceptível a presença de material particulado na comunidade circunvizinha oriundo da fábrica ou da via de acesso que liga a fábrica a mina de calcário?
  - 1.1. Se sim, até que ponto isto prejudica a visibilidade e o desenvolvimento das actividades normais da comunidade?
2. É perceptível a presença de material particulado nos corpos de água?
  - 2.1. Se sim, a água apresenta um sabor, cor ou odor indesejável?
3. Nota-se a presença de material particulado e na cobertura das hortícolas nos campos agrícolas?
  - 3.1. Se sim, até que ponto isto prejudica o desenvolvimento das culturas?
4. Nota-se algum odor/cheiro característico indesejável que a fábrica de cimento produz e que chega na zona residencial?
  - 4.1. Se sim, em que período?
5. Existem registos de doenças respiratórias?
  - 5.1. Se sim, quais as doenças respiratórias mais recorrentes?
  - 5.2. Se sim, qual é a faixa etária acometida com mais frequência?
  - 5.3. Se sim, os registos das doenças respiratórias intensificaram/ existiram antes ou depois da operacionalização da fábrica de cimentos?

#### **PARTE IV: PERCEPÇÃO**

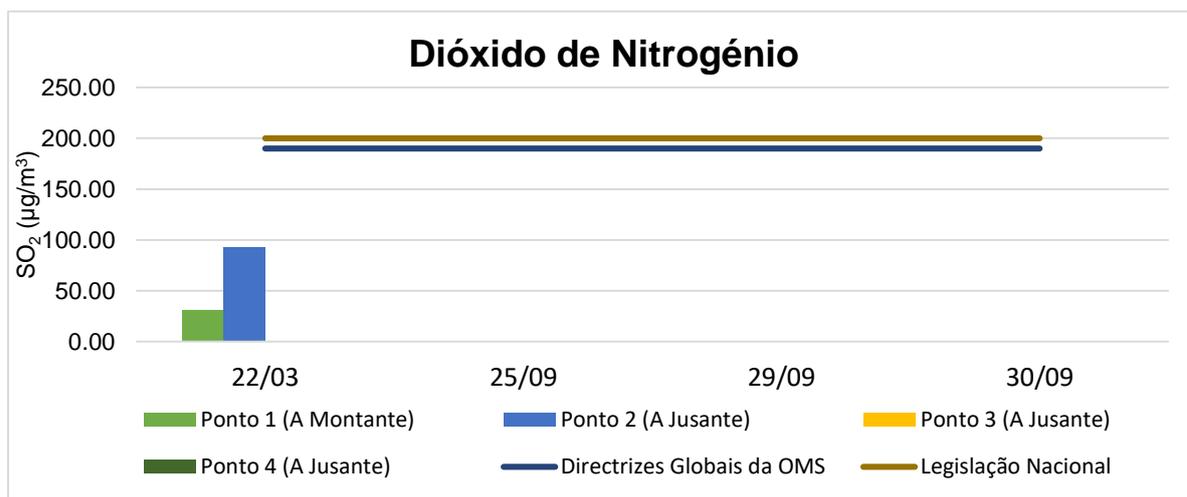
1. Existe alterações na qualidade do ar ambiente desde a operacionalização da fábrica de cimentos?
  - 1.1. Se sim, quais?

#### Apêndice 4. Resultados dos parâmetros CO e NO<sub>2</sub> registados nas duas épocas de medição.

Estes parâmetros encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo pelo diploma ministerial n°67/2010 de 31 de Dezembro e pelas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde para o ano de 2021.

##### 1. Dióxido de Nitrogénio

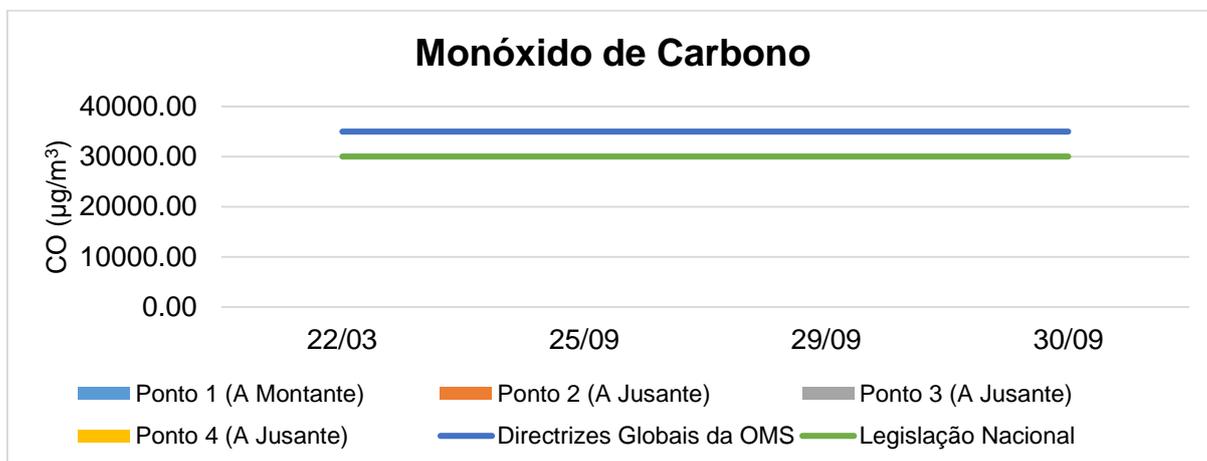
No gráfico 1 estão apresentados os resultados das concentrações médias do dióxido de nitrogénio, para os quatro pontos de medição. Para os quatro pontos de medição analisados, os pontos 1 e 2 apresentam concentrações de NO<sub>2</sub>, sendo os valores médios analisados 30.7 µg/m<sup>3</sup> registados no ponto 1 e 92.67 de µg/m<sup>3</sup> registados no ponto 2 de medição.



**Gráfico 1.** Concentrações médias de NO<sub>2</sub> para os quatro pontos de medição.

## 2. Monóxido de Carbono

Para os 4 pontos de medição nenhum deles apresentou concentrações de CO, sendo as concentrações registadas de 0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  em todos pontos de medição e em ambas épocas.



**Gráfico 2.** Concentrações medias de CO para os quatro pontos de medição.