



UNIVERSIDADE POLITÉCNICA
A POLITÉCNICA
INSTITUTO SUPERIOR DE GESTÃO, CIÊNCIAS E
TECNOLOGIAS - ISGCT

MONOGRAFIA

**TEMA: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO VARÃO DE AÇO
COMERCIALIZADO NAS CIDADES DE MAPUTO E MATOLA**

De

Arão João Mucavele

Estudante n^o: **325579**

LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

Tutor: Mestre Ângelo Sumana

Maputo, 2024

Arão João Mucavele

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO VARÃO DE AÇO COMERCIALIZADO
NAS CIDADES DE MAPUTO E MATOLA**

Trabalho final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior de Gestão, Ciências e Tecnologias da Universidade Politécnica A Politécnica como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Licenciado em Engenharia Civil.

Tutor: Mestre Ângelo Sumana.

Maputo, 2024

BANCADA EXAMINADORA

Mestre Ângelo Sumana

Tutor

Oponente

Presidente da Mesa do Júri

PARECER DO SUPERVISOR

Na qualidade de Supervisor do Estudante Arão João Mucavele, sou do parecer que a Monografia para obtenção do Grau de Licenciatura em Engenharia Civil agora apresentada sob o tema: “**Avaliação da Qualidade do Varão de Aço Comercializado Nas Cidades de Maputo e Matola**”, é um trabalho original e foi realizado expressamente para a finalidade em causa, segundo os requisitos fixados nos Regulamentos da Universidade Politécnica A Politécnica.

Assino em baixo, atendendo que o trabalho foi elaborado com necessário rigor teórico e metodológico instruído na Universidade e dando a entender que estão reunidas todas as condições exigidas para submeter à Provas Públicas.

Mestre Ângelo Sumana

Maputo, Dezembro de 2024

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, **Arão João Mucavele**, declaro que o presente trabalho de conclusão de curso é resultado da pesquisa realizada por mim, com especial acompanhamento do meu supervisor. As fontes da qual se extraiu informação necessária para a elaboração do trabalho estão devidamente mencionadas e indicadas nas referências bibliográficas. A presente monografia é agora submetida consoante os requisitos e exigências para obtenção de grau de licenciatura em Engenharia Civil na Universidade Politécnica A Politécnica, Maputo.

Assinatura: _____

Maputo, Dezembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero expressar a minha profunda gratidão a Deus, que me conhecia antes mesmo de eu ser formado no ventre da minha mãe (Jeremias 1:5). Toda a honra e glória a Ele. Nele encontrei forças nos momentos de fraqueza e é Nele que busco amparo quando me sinto desamparado, uma fonte inesgotável de esperança e orientação.

Gostaria de, de forma humilde, manifestar a minha sincera gratidão à minha amada família, pelo apoio constante desde o início deste ciclo estudantil. Eles sempre me incentivaram e acreditaram no meu potencial. Agradeço de coração aos meus queridos pais, João Mucavele e Odília Mugabe, que sempre estiveram do meu lado. Um agradecimento especial também às minhas irmãs, Aniela Mucavele e Raquel Mucavele, e ao meu primo, Amiltor Mucavele, cujo apoio incondicional foi uma verdadeira fonte de força.

Quero aproveitar esta oportunidade para expressar a minha gratidão ao meu tutor, Mestre Ângelo Sumana, que, desde o nosso primeiro contacto, se mostrou sempre disponível e comprometido em apoiar-me na realização deste trabalho, partilhando valiosos conhecimentos e experiências.

A minha sincera gratidão vai também para a direcção da Universidade Politécnica A Politécnica pela oportunidade por eles dispensada de realizar o curso de Engenharia Civil nesta prestigiada instituição, que tem sido um pilar na minha formação académica e pessoal.

Por fim, agradeço de coração às minhas colegas e verdadeiras amigas, Ancha Cossa e Grazia Giannetto, pelo companheirismo e apoio durante esta jornada. A nossa amizade tornou esta jornada ainda mais especial.

DEDICATÓRIA

É com imensa gratidão que dedico este trabalho aos meus pais, cuja dedicação incansável e amor incondicional tornaram possível a realização deste meu sonho. Eles sempre priorizaram a minha formação, adiando os seus próprios anseios, e por isso serei eternamente grato.

Dedico também esta conquista aos meus avós: Arão Mucavele, Raquel Chuaio, Francisco Mugabe, Palmira Balate e João Mucavele. Embora não estejam fisicamente presentes para testemunhar este momento, as suas lições e o seu amor permanecem comigo, guiando-me ao longo desta jornada, que é a vida e para sempre estarão no meu coração.

EPÍGRAFE

“Não há caminho fácil para a liberdade; é uma jornada que exige sacrifício e perseverança”

Samora Machel.

RESUMO

Este estudo aborda de forma exaustiva a avaliação da qualidade do varão de aço nervurado nacional e sul-africano comercializado nas cidades de Maputo e Matola em 2024, focando-se na sua aplicação na construção civil. A pesquisa parte da importância do varão de aço nervurado para garantir a resistência, segurança e durabilidade das estruturas de betão armado. Foram analisadas as propriedades físicas e mecânicas dos varões nervurados em diversos diâmetros (6 mm, 8 mm, 10 mm e 12 mm), com base em normas nacionais e internacionais, comparando a resistência à tracção, o limite de escoamento e a ductilidade entre os produtos nacionais e sul-africanos. Os varões sul-africanos demonstraram maior resistência à tracção e limite de escoamento, especialmente em diâmetros superiores, sugerindo sua adequação para construções de alta exigência. Em contrapartida, os varões nacionais apresentaram maior ductilidade, factor relevante para construções sujeitas a vibrações e movimentações estruturais. Além disso, o estudo incluiu percepções de engenheiros e trabalhadores da construção sobre o manuseio e a durabilidade dos materiais. Foi constatado que os varões sul-africanos são preferidos em ambientes agressivos devido à sua resistência, enquanto os nacionais são valorizados pela flexibilidade e facilidade de adaptação durante o uso. A pesquisa conclui que ambos os materiais atendem aos requisitos mínimos de qualidade, mas a escolha deve ser feita com base nas especificidades do projecto e do ambiente de aplicação. Este trabalho contribui para a melhoria das práticas construtivas, fornecendo subsídios para decisões mais informadas na selecção de materiais.

Palavras-chave: varões de aço, qualidade do material, resistência à tracção, durabilidade, construção civil.

ABSTRACT

This study comprehensively evaluates the quality of ribbed steel bars produced in Mozambique and South Africa, marketed in the cities of Maputo and Matola in 2024, focusing on their application in civil construction. Ribbed steel bars are crucial for ensuring the strength, safety, and durability of reinforced concrete structures. The research analyzed the physical and mechanical properties of ribbed bars in various diameters (6 mm, 8 mm, 10 mm, and 12 mm) based on national and international standards, comparing tensile strength, yield strength, and ductility between Mozambican and South African products. South African bars exhibited higher tensile and yield strength, particularly in larger diameters, suggesting suitability for high-demand construction projects. Conversely, Mozambican bars demonstrated greater ductility, an important factor for structures subject to vibrations and movements. Additionally, the study incorporated insights from engineers and construction workers regarding handling and material durability. It was found that South African bars are preferred in aggressive environments due to their strength, while Mozambican bars are valued for their flexibility and adaptability during use. The study concludes that both materials meet minimum quality standards, but selection should consider project and environmental specifics. This research contributes to improving construction practices by providing informed decision-making support in material selection.

Keywords: ribbed steel bars, material quality, tensile strength, durability, civil construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Varão de superfície lisa.....	7
Figura 2: Varão de superfície nervurada.....	7
Figura 3: Esquema representativo do funcionamento do Alto-forno.....	11
Figura 4: Forno de arco eléctrico.....	13
Figura 5: Representação esquemática da posição dos rolos.....	15
Figura 6: Vazado de forma contínua.....	16
Figura 7: Varões laminados a quente: produto recto.....	17
Figura 8: Varões laminados a quente: produto em rolo.....	18
Figura 9: Redes eletrossoldadas.....	18
Figura 10: Máquina universal de ensaios.....	19
Figura 11: Esquema representativo do ensaio de dobragem.....	20
Figura 12: Esquema ilustrativo do ensaio de dobragem-desdobragem.....	21
Figura 13: Diagrama de Wöhler do aço para armaduras de betão armado.....	22
Figura 14: Representação dos ciclos de fadiga.....	22
Figura 15: Representação de um ciclo de histerese completo.....	23
Figura 16: Corte das amostras.....	32
Figura 17: Balança.....	32
Figura 18: Equipamento de marcação de provetes.....	33
Figura 19: Máquina universal de ensaio de tracção.....	34
Figura 20: Máquina de dobragem.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão sul-africano de 6 mm	35
Tabela 2: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão sul-africano de 8 mm	38
Tabela 3: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão sul-africano de 10 mm	43
Tabela 4: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão sul-africano de 12 mm	47
Tabela 5: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão nacional de 6 mm.....	51
Tabela 6: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão nacional de 8 mm.....	55
Tabela 7: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão nacional de 10 mm.....	59
Tabela 8: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão nacional de 12 mm.....	63
Tabela 9: Percepções sobre a Durabilidade dos Varões de Aço (Sul-Africano vs Nacional)	68
Tabela 10: Percepções sobre o Manuseio dos Varões de Aço (Sul-Africano vs Nacional)	69
Tabela 11: Análise comparativa dos varões de aço sul-africanos e nacionais	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tensão-deformação do varão sul-africano de 6 mm	37
Gráfico 2: Tensão-deformação do varão sul-africano de 8 mm	41
Gráfico 3: Tensão-deformação do varão sul-africano de 10 mm	45
Gráfico 4: Tensão-deformação do varão sul-africano de 12 mm	49
Gráfico 5: Tensão-deformação do varão nacional de 6 mm.....	53
Gráfico 6: Tensão-deformação do varão nacional de 8 mm.....	57
Gráfico 7: Tensão-deformação do varão nacional de 10 mm.....	61
Gráfico 8: Tensão-deformação do varão nacional de 12 mm.....	65

LISTA DE SÍMBOLOS

σ (sigma): Tensão normal, medida da força interna por unidade de área em um material.

ε (épsilon): Deformação, medida da mudança de forma de um corpo em relação às suas dimensões originais.

ν (ni): Coeficiente de Poisson, relação entre a deformação lateral e a deformação longitudinal.

τ (tau): Tensão de cisalhamento, medida da força interna tangencial por unidade de área.

E: Módulo de Young, uma medida da rigidez de um material elástico linear.

F: Força aplicada.

A: Área da seção transversal.

L: Comprimento.

L_0 : Comprimento inicial.

L: Comprimento final.

R_m : Resistência à tração máxima.

R_{eH} : Limite de escoamento superior.

R_{eL} : Limite de escoamento inferior.

A: Alongamento.

m: Máximo.

0: Inicial.

H: Superior.

L: Inferior.

kN: Quilonewton (unidade de força).

N/mm^2 : Newton por milímetro quadrado (unidade de tensão).

ÍNDICE

BANCADA EXAMINADORA	i
PARECER DO SUPERVISOR	ii
DECLARAÇÃO DE HONRA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
DEDICATÓRIA	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE GRÁFICOS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xii
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
1.1. Delimitação do tema.....	1
1.2. Problema de Investigação.....	2
1.2.1 Hipóteses	3
1.3. Objectivos.....	3
1.3.1. Objectivo Geral	3
1.3.2. Objectivos Específicos	3
1.4. Justificativa da escolha do tema	3
1.4.1. Importância do tema.....	4
1.5. Organização do trabalho.....	4
CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1. Aço	6
2.2. Varão de Aço.....	7
2.2.1. Características dos varões de aço	8
2.3. Processos de fabricação do varão de aço.....	10
2.3.1. Tratamentos mecânicos e termomecânicos	10
2.3.2. Ensaio de tracção.....	19
2.3.3. Ensaio de dobragem	20
2.3.4. Ensaio de Dobragem-Desdobragem	21
2.3.5. Ensaio de fadiga	21

2.3.6.	Ensaio de carga cíclica, resistência à fadiga oligocíclica	23
CAPÍTULO III: METODOLOGIA.....		24
3.1.	Tipo de estudo	24
3.2.	Técnicas e instrumentos de recolha de dados.....	25
CAPÍTULO IV: ESTUDO DE CASO		30
4.1.	Localização geográfica.....	30
4.2.	Ensaio de caracterização físico-mecânica de varões de aço.....	30
4.2.1.	Procedimentos dos testes dos varões.....	31
4.2.1.1.	Testes de tracção	31
4.2.1.2.	Preparação das Amostras.....	31
4.2.1.3.	Determinação da Massa.....	32
4.2.1.4.	Marcação dos Provetes.....	33
4.2.1.5.	Ensaio de Tracção	33
4.2.2.	Análise do Varão Sul-africano	34
4.2.2.1.	Análise do Varão Sul-africano de 6 mm	34
4.2.2.2.	Análise do Varão de 8 mm	38
4.2.2.3.	Análise do Varão de 10 mm	43
4.2.2.4.	Análise do Varão de 12 mm	46
4.2.3.	Análise do Varão nacional	50
4.2.3.1.	Análise do varão de 8 mm	54
4.2.3.2.	Análise do varão de 10 mm.....	58
4.2.3.3.	Análise do varão de 12 mm.....	62
4.2.3.4.	Ensaio de dobragem	66
4.2.4.	Percepções sobre a durabilidade e manuseio dos varões de aço sul-africanos e nacionais.....	67
4.2.4.1.	Percepção da Durabilidade.....	67
4.2.4.2.	Percepção do Manuseio.....	68
CAPÍTULO V: ANÁLISE DE DADOS.....		70
5.1.	Análise comparativa dos varões sul-africanos e nacionais	70
5.1.1.	Resistência à Tracção (Rm).....	70
5.1.2.	Limites de Escoamento (ReH e ReL).....	70
5.1.3.	Ductilidade (Alongamento).....	71
5.1.4.	Patamar de Escoamento e Comportamento de Escoamento.....	71
5.1.5.	Custo e Disponibilidade	71
5.1.6.	Implicações para o Dimensionamento e Projecto Estrutural.....	72

5.1.7. Elaborado pelo autor com base nos dados das entrevistas (2024).....	74
5.2. Discussão dos resultados	74
CAPÍTULO VI: CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	77
6.1. Conclusão	77
6.2. Recomendações	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

A construção civil é um sector profundamente ligado ao desenvolvimento urbano, desempenhando um papel fundamental na configuração das paisagens urbanas e na promoção do crescimento económico. Dentro desse cenário, o varão de aço emerge como um elemento estrutural vital, desempenhando um papel insubstituível na sustentação e durabilidade das estruturas de betão armado e metálicas. Nas cidades de Maputo e Matola, onde o panorama da construção civil é dinâmico e marcado por uma constante busca por inovação, a presença e qualidade do varão de aço tornam-se factores críticos.

O varão de aço, também conhecido como barra de aço ou vergalhão, é um dos principais materiais empregados na construção civil, utilizado na produção de estruturas de betão armado, como, lajes, pilares, vigas, sapatas e mais. A garantia da qualidade do varão de aço é de suma importância, uma vez que qualquer falha nesse material pode resultar em consequências desastrosas para a segurança das edificações.

A relevância do varão de aço na construção civil é indiscutível. Sua aplicação abrange desde as fundações até as estruturas mais complexas, conferindo resistência, flexibilidade e estabilidade às construções. A escolha adequada e a qualidade do varão de aço influenciam directamente a segurança e durabilidade das edificações, impactando a vida útil das estruturas e, conseqüentemente, a segurança dos ocupantes e a sustentabilidade do ambiente construído.

1.1. Delimitação do tema

Este estudo concentra-se nas cidades de Maputo e Matola, em Moçambique. A avaliação da qualidade do varão de aço será realizada especificamente nos contextos urbanos dessas duas localidades, considerando as particularidades do mercado de construção civil nelas presentes. A escolha dessas cidades é motivada pela relevância do sector da construção civil e pelo crescimento significativo que essas áreas têm experimentado nas últimas décadas.

Este estudo focará na avaliação da qualidade do varão de aço nervurado comercializado nas cidades de Maputo e Matola em 2024. A pesquisa será conduzida com dados e amostras colectados no período compreendido entre Junho e Agosto de 2024. A escolha desse intervalo de tempo permite a análise das condições actuais do mercado de varão de

aço nessas cidades, bem como a possibilidade de detectar tendências ao longo desse período.

A pesquisa concentra-se nas propriedades físicas e mecânicas do varão de aço nervurado, avaliando a qualidade do material com base em normas e padrões reconhecidos também internacionalmente. A análise comparativa entre o varão de aço nacional e sul-africano fundamenta-se em teorias relacionadas à qualidade dos materiais de construção e às implicações práticas dessa escolha para a segurança e durabilidade das estruturas. As conclusões também podem ser influenciadas por teorias relacionadas à gestão da qualidade na construção civil.

1.2. Problema de Investigação

A problemática central que fundamenta esta pesquisa reside na incerteza quanto à qualidade do varão de aço disponível no mercado das cidades de Maputo e Matola. Diante da diversidade de origens dos materiais, notadamente entre o varão de aço nacional e o sul-africano, surge a preocupação sobre possíveis disparidades de qualidade que podem impactar directamente a integridade estrutural das construções.

A falta de uma avaliação sistemática e abrangente acerca das características físicas e químicas desses materiais de construção cria uma lacuna crítica no entendimento do mercado local de varão de aço. Esta ausência de informações consolidadas compromete a capacidade de profissionais da construção civil, engenheiros e consumidores em tomar decisões informadas sobre a escolha do material estrutural mais adequado para suas necessidades.

A incerteza quanto à qualidade do varão de aço disponível nas cidades de Maputo e Matola não apenas coloca em risco a segurança das estruturas construídas, mas também impacta a confiança do público nas práticas construtivas e na durabilidade das edificações. Portanto, a problemática central desta pesquisa é a necessidade urgente de avaliar e comparar a qualidade do varão de aço nervurado nacional e sul-africano, visando preencher essa lacuna de conhecimento e contribuir para o avanço seguro e sustentável do sector da construção nessas localidades.

Portanto, a questão-chave que surge é: Qual é a qualidade do varão de aço nervurado comercializado nas cidades de Maputo e Matola, considerando as possíveis disparidades entre o varão nacional e o sul-africano?

1.2.1 Hipóteses

- H1: O varão de aço nervurado nacional apresenta características superiores em resistência, durabilidade e conformidade técnica em comparação ao varão de aço sul-africano nas cidades de Maputo e Matola;
- H2: O varão de aço nervurado sul-africano apresenta características superiores em resistência, durabilidade e conformidade técnica em comparação ao varão de aço nacional nas cidades de Maputo e Matola.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo Geral

- Avaliar a qualidade do varão de aço nervurado comercializado nas cidades de Maputo e Matola.

1.3.2. Objectivos Específicos

- Analisar as características físicas e mecânicas do varão de aço nervurado;
- Comparar o varão de aço nervurado nacional com o sul-africano;
- Avaliar as percepções sobre a durabilidade e manuseio dos varões de aço nervurado sul-africanos e nacionais.

1.4. Justificativa da escolha do tema

Esta pesquisa sobre a qualidade do varão de aço nervurado comercializado nas cidades de Maputo e Matola se justifica pela sua relevância directa para a segurança pública, o desenvolvimento sustentável, a conformidade com normas e regulamentos, a tomada de decisão informada e a contribuição para a indústria da construção civil regional.

A realização desta pesquisa se fundamenta na necessidade premente de avaliar a qualidade do varão de aço comercializado nas cidades de Maputo e Matola. A justificativa para este estudo reside em diversos aspectos cruciais para o sector da construção civil e para o bem-estar da população envolvida.

Primeiramente, a qualidade dos materiais de construção, especialmente do varão de aço, é um factor determinante para a segurança estrutural das edificações. A incerteza quanto à conformidade desses materiais com padrões de qualidade nacional ou internacionalmente reconhecidos pode comprometer a integridade das construções, expondo a população a riscos desnecessários.

Outrossim, a escolha entre o varão de aço nacional e sul-africano impacta directamente na eficiência e durabilidade das estruturas. Uma escolha equivocada pode resultar em custos adicionais de manutenção e reparo, bem como em potenciais ameaças à segurança dos ocupantes.

A contribuição deste estudo reside, portanto, em fornecer informações fundamentadas sobre a qualidade do varão de aço nervurado disponível no mercado local, permitindo que profissionais da construção civil, engenheiros, arquitectos e consumidores façam escolhas mais informadas.

Portanto, a pesquisa visa subsidiar a implementação de práticas construtivas seguras e sustentáveis, promovendo o desenvolvimento urbano e o progresso das cidades de Maputo e Matola. Ao preencher essa lacuna de conhecimento, o estudo pretende ser um catalisador para a melhoria contínua da qualidade das construções e, por conseguinte, para o bem-estar da sociedade.

1.4.1. Importância do tema

Este estudo é crucial para o sector da construção civil, pois promove a segurança estrutural ao avaliar a qualidade dos varões de aço nervurado, reduzindo riscos de falhas em estruturas de betão armado e protegendo vidas e patrimónios. Além disso, fornece uma base de dados que auxilia na normatização e regulamentação do mercado, aumentando a confiança nos materiais disponíveis. A comparação entre varões nacionais e sul-africanos incentiva a competitividade e a melhoria da qualidade local, enquanto o alinhamento com padrões internacionais facilita exportações e fortalece a posição de Moçambique no mercado global. Por fim, o estudo apoia decisões técnicas mais informadas, promove eficiência económica, capacita profissionais do sector e contribui para o desenvolvimento seguro e sustentável da construção nas cidades de Maputo e Matola.

1.5. Organização do trabalho

O trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos, discriminados a seguir:

- Capítulo I – Introdução: o primeiro capítulo, apresenta o enquadramento da monografia, os problemas de investigação, as hipóteses, os objectivos, a justificativa da escolha do tema e organização do trabalho.

- Capítulo II – Revisão Bibliográfica: Este capítulo, explora os marcos teóricos e conceptuais, definindo os principais conceitos e as relações entre eles que fundamentam a pesquisa;
- Capítulo III – Metodologia: Detalha os métodos e abordagens adoptadas, descrevendo o tipo de pesquisa e o processo realizado desde o início até a conclusão do trabalho;
- Capítulo IV – Estudo de caso: Aborda a análise prática do tema proposto;
- Capítulo V – Apresentação e Análise de dados: Neste capítulo tem a caracterização e a comparação entre o verão nacional e o verão sul-africano;
- Capítulo VI – Conclusão, neste ponto, foi em linhas gerais apresentado as principais constatações de forma objectiva e sumária.

CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Aço

Todos os tipos de ferro e aço são, essencialmente, formas de ferro metálico, diferenciando-se pelo método de fabrico e pelos níveis de carbono e outros elementos presentes em sua composição. O carbono é o elemento mais significativo na formação dessas ligas metálicas, sendo o principal responsável por muitas das propriedades da liga, como a resistência (Lourenço, 2012).

Aço define-se como uma liga Ferro-Carbónica que contém Si, Mn, S e P, cujo teor em carbono pode variar entre 0,03% e 2,1%, sendo que para valores superiores obtêm-se ferro fundido (Bento, 2014). Sendo ainda constituído por diversos outros elementos que são utilizados em menor quantidade, tal como o crómio, o manganês e o vanádio. Quando é ultrapassado o valor de 2,1% obtêm-se ferro fundido (Lourenço, 2012).

As propriedades de uma liga Ferro-Carbónica são função da sua composição química e do processo a que a mesma foi sujeita, ou seja, da sua história térmica e mecânica. As principais propriedades mecânicas dos metais e ligas são (Bento, 2014):

- Módulo de elasticidade;
- Tensão de cedência ou tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2%;
- Tensão de rotura;
- Alongamento percentual até à rotura;
- Dureza.

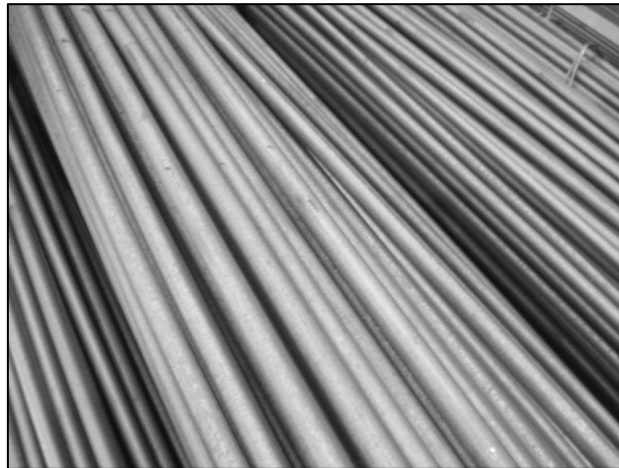
Na formação das ligas Ferro-Carbónicas, o carbono desempenha um papel crucial, sendo o principal responsável pelas diferenças de propriedades entre as diversas ligas. Os tratamentos realizados após o processo siderúrgico pretendem melhorar as propriedades do aço, aumentando a resistência à corrosão e evitando deslocamentos na estrutura cristalina. Dada a sua importância, o teor de carbono é normalmente medido em percentagem em relação à massa total da amostra.

Uma temperatura de fusão crucial para o comportamento dos aços é a temperatura crítica, também conhecida como temperatura de austenização, que varia consoante as propriedades químicas do aço. Essa temperatura marca a fase em que o aço em estado sólido tem maior capacidade de dissolver carbono, permitindo que ele se distribua uniformemente antes de iniciar qualquer processo de resfriamento (Lourenço, 2012).

2.2. Varão de Aço

O vergalhão de aço, segundo Santos, Almeida e Cruz (2022), também denominado de ferro de construção ou varão, é uma barra de aço em que podemos encontrar sua superfície lisa ou nervurada, como consta, respectivamente, nas Figuras 1 e 2:

Figura 1: Varão de superfície lisa



Fonte: Santos, *et al.* (2022)

Figura 2: Varão de superfície nervurada



Fonte: Santos, *et al.* (2022)

A diferença entre esses dois tipos se dá durante a sua aplicação, no qual o de superfície nervurada é utilizado nas obras da construção civil, devido a sua aderência junto ao betão, enquanto o de superfície lisa é voltado para as indústrias de pré-moldados.

2.2.1. Características dos varões de aço

a) Características físicas

Segundo *American Institute of Steel Construction* (2016), os varões de aço são geralmente fabricados em aço laminado, que é um tipo produzido por meio de um processo de laminação a quente. O aço laminado é um material de alta resistência e durabilidade, o que o torna adequado para aplicações estruturais.

As características físicas dos varões de aço incluem:

- Resistência à tracção: a resistência à tracção é a propriedade do material que mede sua capacidade de resistir à tensão de tracção. Os varões de aço são geralmente fabricados com um limite de escoamento de 500 MPa, o que significa que podem suportar uma tensão de tracção de 500 MPa antes de se deformarem plasticamente;
- Resistência à compressão: a resistência à compressão é a propriedade do material que mede sua capacidade de resistir à tensão de compressão. Os varões de aço também têm uma boa resistência à compressão, mas não tão alta quanto sua resistência à tracção;
- Dureza: a dureza é uma medida da resistência do material ao desgaste. Os varões de aço são geralmente duros, o que os torna resistentes à corrosão e ao desgaste;
- Massa específica: a massa específica é a razão entre a massa e o volume de um material. Os varões de aço têm uma massa específica de aproximadamente 7,85 g/cm³, o que os torna relativamente pesados.

b) Características geométricas

Os varões de aço segundo *American Institute of Steel Construction* (2016), são geralmente disponíveis em uma variedade de diâmetros e comprimentos. O diâmetro do varão é medido em milímetros ou polegadas, e o comprimento é medido em metros ou pés:

- Diâmetro: O diâmetro do varão é medido em milímetros ou polegadas. O diâmetro do varão é importante para determinar a sua resistência à tracção. Um varão com um diâmetro maior terá uma maior resistência à tracção do que um varão com um diâmetro menor. Isso ocorre porque um varão com um diâmetro maior tem uma seção transversal maior. A seção transversal é a área da superfície transversal do

varão. Quanto maior a seção transversal, maior a área disponível para resistir aos esforços de tracção;

- Comprimento: O comprimento do varão é medido em metros ou pés. O comprimento do varão é importante para determinar a sua capacidade de suportar cargas. Um varão mais longo poderá suportar cargas maiores do que um varão mais curto. Isso ocorre porque um varão mais longo tem uma área de alavanca maior. A área de alavanca é a distância entre o ponto de aplicação da carga e o centro de gravidade do varão. Quanto maior a área de alavanca, maior o momento-flector que o varão pode resistir.

Além do diâmetro e do comprimento, outros factores geométricos podem afectar as características dos varões de aço. Esses factores incluem:

- Forma da seção transversal: os varões de aço podem ter uma variedade de formas de seção transversal, incluindo redonda, quadrada, hexagonal e ovais. A forma da seção transversal afecta a resistência do varão à tracção, com as formas redondas e quadradas geralmente sendo as mais fortes;
- Superfície: a superfície do varão pode ser lisa ou nervurada. Os varões com superfície nervurada geralmente têm uma maior aderência, o que os torna mais resistentes à corrosão e ao desgaste;
- Resistência ao impacto: a resistência ao impacto do varão é a sua capacidade de resistir a cargas repentinas. Os varões de aço geralmente têm uma boa resistência ao impacto.

c) Características químicas

Os varões de aço, segundo *American Institute of Steel Construction* (2016), são geralmente fabricados com uma liga de ferro e carbono. A quantidade de carbono na liga determina a resistência do aço. Um aço com um teor de carbono mais alto terá uma maior resistência do que um aço com um teor de carbono mais baixo.

As características químicas dos varões de aço são importantes para determinar a sua resistência, ductilidade e durabilidade. A principal característica química dos varões de aço é o teor de carbono.

O teor de carbono é a quantidade de carbono presente na liga de aço. O carbono é um elemento que aumenta a resistência do aço, mas também diminui sua ductilidade.

Os varões de aço são geralmente classificados consoante o seu teor de carbono. Os varões de aço com baixo teor de carbono (<0,25%) são os mais dúcteis, mas têm a menor resistência. Os varões de aço com alto teor de carbono (>0,60%) são os mais resistentes, mas têm a menor ductilidade.

Além do carbono, outros elementos químicos também podem ser presentes na liga de aço. Esses elementos podem afectar as características do aço de várias maneiras.

- Manganês: o manganês é um elemento que aumenta a resistência do aço e melhora sua resistência à corrosão;
- Silício: o silício é um elemento que aumenta a resistência do aço e melhora sua resistência ao desgaste;
- Nitrogénio: o nitrogénio é um elemento que aumenta a resistência do aço e melhora sua resistência ao desgaste;
- Cromo: o cromo é um elemento que aumenta a resistência do aço e melhora sua resistência à corrosão;
- Molibdénio: o molibdénio é um elemento que aumenta a resistência do aço e melhora sua resistência à corrosão e ao desgaste.

2.3. Processos de fabricação do varão de aço

A produção de varões de aço é um domínio de considerável relevância na indústria metalúrgica, influenciando de modo directo as propriedades mecânicas e a qualidade do resultado final.

2.3.1. Tratamentos mecânicos e termomecânicos

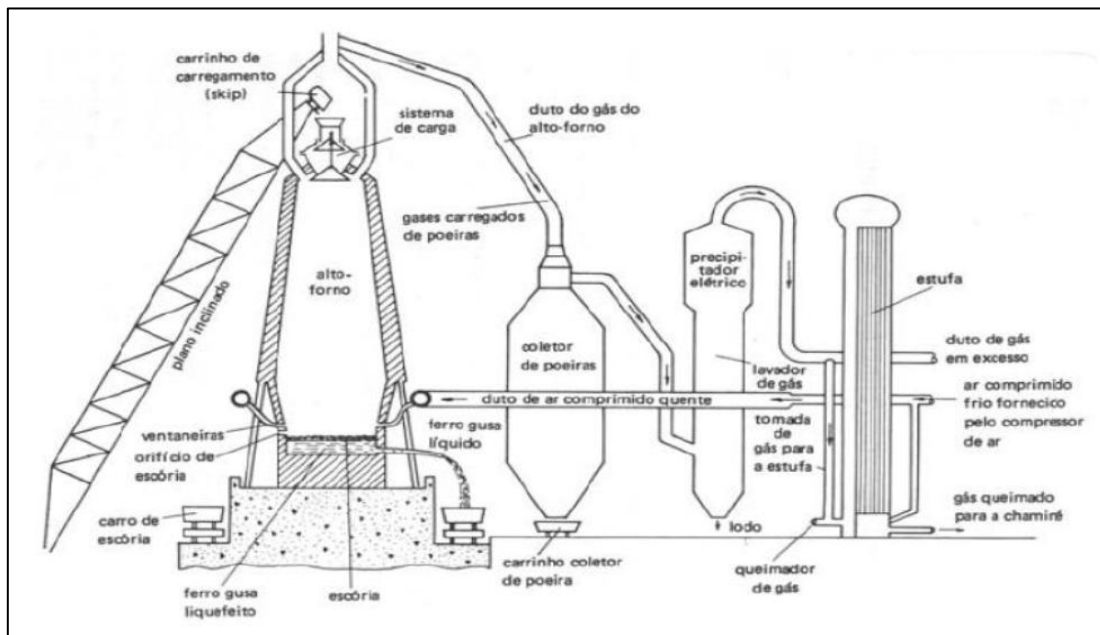
Relativamente aos tratamentos mecânicos, estes são processos de deformação, a quente ou a frio, que apresentam como finalidade a melhoria das propriedades mecânicas do aço (Rocha, 2009).

2.3.1.1. Altos-fornos (BF) com Convertedores (BOF)

Através deste método, busca-se diminuir quimicamente e transformar fisicamente os óxidos de ferro em ferro líquido, utilizando minério de ferro (Hematite ou Magnetite com teor de ferro entre 50 a 70%), coque e cal, que são inseridos no alto-forno. Simultaneamente, é introduzido ar pré-aquecido na câmara revestida com cerâmica do alto-forno (Figura 3) (Mendes, 2016).

O coque desempenha o papel de combustível e agente redutor, reagindo com o oxigênio do minério para formar monóxido e dióxido de carbono, que são liberados na forma gasosa, resultando no ferro metálico. Com 90 a 93% de carbono, o coque é tipicamente produzido na própria usina siderúrgica, por meio da queima parcial do carvão mineral. Esse processo é essencial para eliminar os componentes voláteis do carvão e, assim, aumentar sua resistência mecânica, permitindo suportar a carga de minério e calcário.

Figura 3: Esquema representativo do funcionamento do Alto-forno



Fonte: Rocha (2009)

A cal é empregada para purificar o minério, reagindo com seus principais componentes, como sílica e alumina, para formar a escória.

O ferro produzido no alto-forno é conhecido como gusa, e este material não é adequado para uso na construção, devido ao teor de carbono que pode chegar a 4 a 4,5%. Esse alto teor de carbono torna a gusa frágil e difícil de ser trabalhado. Outro subproduto obtido é a escória de alto-forno.

Para utilizar a gusa na construção, é necessário submetê-lo a processos de tratamento, a fim de produzir ferro e ligas de ferro-carbono com propriedades adequadas. Um método utilizado para produzir aço a partir dos produtos do alto-forno é o uso de convertedores. A gusa, combinado com sucata, é transformada em aço pela introdução de oxigênio puro em alta velocidade, reduzindo assim o teor de carbono e impurezas da gusa.

Em países onde há fácil acesso ao minério, os altos-fornos com convertedores são amplamente utilizados para produzir os aços empregados na construção. Em nações onde isso não é possível, recorre-se aos fornos de arco eléctrico.

2.3.1.2. Fornos de arco eléctrico (EAF)

Outro método para transformar a gusa em uma liga ferro-carbono envolve o uso de fornos de arco eléctrico, nos quais a electricidade substitui o coque como fonte de calor para derreter a gusa ou o aço (Mendes, 2016).

No entanto, devido às crescentes preocupações ambientais relacionadas ao tratamento de efluentes, resíduos líquidos e sólidos do processo de fabricação do aço, bem como à redução das emissões de gases poluentes que contribuem para o efeito estufa e para aumentar a eficiência energética, o alto-forno deixou de ser utilizado.

Graças ao desenvolvimento tecnológico actual, tornou-se viável o uso de um novo processo de fabricação que aproveita de forma rentável pequenas unidades de produção, conhecidas como mini-aciarias eléctricas, que usam sucata como matéria-prima. Essa mudança no processo produtivo resultou em vários ganhos de competitividade, já que o forno eléctrico reduz significativamente a emissão de poluentes, evitando o alto investimento financeiro em dispositivos para mitigar os impactos ambientais. Além disso, o uso de sucata como matéria-prima nesse novo processo resultou em uma redução substancial nos custos associados à produção de aço (Coutinho, 2004).

O processo de fabricação do aço por esse novo método é semelhante ao realizado com alto-forno, mas, nesse caso, é utilizado um forno eléctrico de arco voltaico. O forno é carregado com sucata electrocondutora, que é fundida pelos eléctrodos de grafite. O arco eléctrico auxilia na fusão da sucata.

Esse é o método mais eficaz para produzir aços de alta qualidade. Os processos de refinamento são realizados em uma câmara onde as condições de temperatura são controladas automaticamente por computador.

Actualmente, o material mais comumente utilizado como carga é a sucata, combinada com cal e minério de ferro (Mendes, 2016).

Na etapa inicial do processo, é inserido oxigénio puro para elevar a temperatura e acelerar a purificação da sucata. Em seguida, os eléctrodos de grafite são posicionados e a corrente

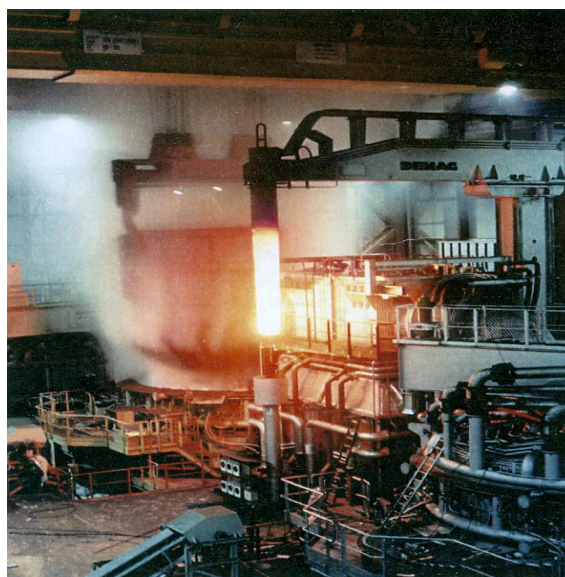
eléctrica é aplicada a um dos eléctrodos. A corrente percorre a carga de metal e passa por um arco eléctrico para os outros eléctrodos. Esse processo permite atingir rapidamente altas temperaturas, facilitando a fusão do metal.

Ao final do processo de purificação do aço, é possível ajustar a composição da liga adicionando elementos como silício, manganês, vanádio, molibdénio e crómio.

Nas unidades industriais modernas que produzem varões, o aço fundido é despejado continuamente em um molde refrigerado. Em seguida, o aço solidificado é cortado em biletas que são resfriados, permitindo a laminação e a solidificação simultaneamente. Por fim, o bilite é endireitado e cortado nas dimensões desejadas. O produto semiacabado é então transportado para o forno de laminação para a produção dos produtos finais. Esse processo, conhecido como vazamento contínuo, é mais eficaz do que o método anterior, que envolvia a produção de lingotes de aço que eram posteriormente laminados.

Para os aços de baixa liga e os aços ligados (aços-carbono), são geralmente utilizadas as seguintes etapas de processamento: decapagem química; laminação para redução da espessura; recozimento ou tratamento térmico para regenerar a estrutura cristalina; laminação para endurecimento superficial (passe de têmpera) ou laminação superficial a frio das bandas recozidas para conferir propriedades mecânicas, forma, rugosidade superficial desejada e acabamento final.

Figura 4: Forno de arco eléctrico



Fonte: Relatório 331 - DE/NCE (2009)

O produto resultante deste procedimento é então encaminhado para o forno panela, onde passará por um processo de refinamento (Rocha, 2009). Em seguida, ocorre o vazamento contínuo, no qual o aço líquido é despejado por meio de um conjunto de cilindros e elementos de refrigeração, passando por um processo de laminação que molda o aço sucessivamente até alcançar a forma desejada. Após esta etapa, o aço é geralmente submetido a uma série de tratamentos, incluindo tratamentos mecânicos, térmicos, termomecânicos, termo-químicos e superficiais, com o objectivo de melhorar suas propriedades.

No que diz respeito aos tratamentos mecânicos, estes consistem em processos de deformação, realizados a quente ou a frio, com o objectivo de melhorar as propriedades mecânicas do aço (Rocha, 2009).

Os tratamentos mais importantes incluem a laminação, mencionada anteriormente, que pode ser realizada a quente, quando a temperatura é superior à temperatura de recristalização, mas inferior à temperatura de fusão, ou a frio, quando a temperatura é inferior à temperatura de recristalização. Outro tratamento é a estiragem, que envolve a aplicação de tracção em barras ou fios, embora possa resultar em materiais não homogéneos em termos de dimensões e alongamento.

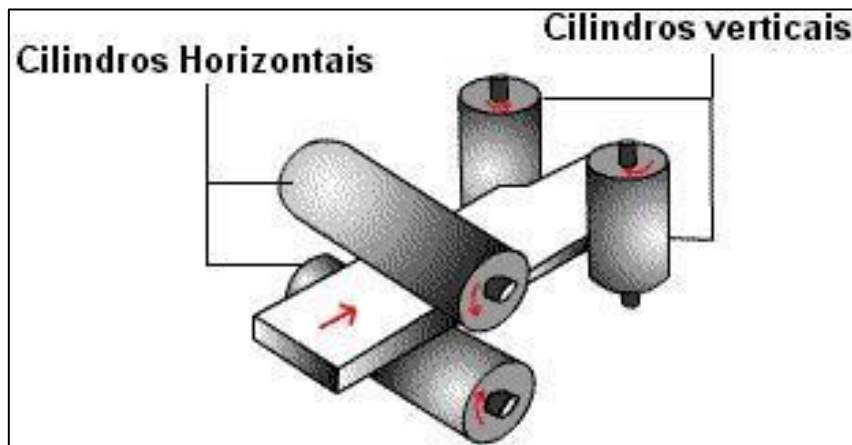
Um processo adicional é a trefilação, que consiste em estirar o aço através de feiras, orifícios de moldagem sucessivamente menores, reduzindo o diâmetro até atingir a dimensão desejada, enquanto é traccionado. Este método é amplamente utilizado na fabricação de armaduras de pré-esforço e, em relação à estiragem, tem a vantagem de produzir fios bem calibrados e com propriedades mais homogéneas.

2.3.1.3. Laminagem

A laminação envolve a alteração da forma de um metal em barra, lingote, placa ou fio, ao passar entre dois rolos. Conforme descrito por Bento (2014), durante o processo, as peças são conduzidas por uma máquina que aplica uma força transversal, comprimindo a peça (Figura 5).

Esse processo pode ser contínuo ou em etapas, e pode envolver um ou vários cilindros de laminação, permitindo a obtenção das dimensões dos produtos semiacabados ou da peça final.

Figura 5: Representação esquemática da posição dos rolos



Fonte: Bento (2014)

Com cada passagem pelas estações de laminagem, o diâmetro do elemento é reduzido enquanto seu comprimento aumenta. Esse aumento de comprimento resulta em uma maior velocidade com que o aço passa pelas estações de laminagem. Uma velocidade excessiva dificulta o controle do processo, pois torna mais difícil a monitorização adequada e a realização de correções em tempo hábil.

O processo de laminagem pode ser realizado a frio ou com aquecimento prévio. No caso do aquecimento prévio, é possível aplicar forças menores, uma vez que a peça está plástica (ao rubro), o que torna o processo mais eficiente e contribui para a redução das tensões internas na peça final em comparação com o processo realizado à temperatura ambiente. A temperatura ao longo da linha de produção é controlada pelo aquecimento durante a redução da secção do aço e pode ser ajustada em determinados pontos da linha, aquecendo ou resfriando conforme necessário, para garantir que o aço chegue ao final com a temperatura ideal (Filho, 2004).

Características da laminagem a quente (Bento, 2014):

- Utilizada para materiais que tenham baixa plasticidade a frio;
- Permite grandes reduções de espessura;
- Forças de laminagem menores que as de laminagem a frio;
- O acabamento superficial é pobre;
- Resulta em tolerâncias dimensionais largas.

Características da laminagem a frio (Bento, 2014):

- Utilizada para materiais com boa plasticidade;
- As reduções de espessura são limitadas pelo encruamento;
- Forças de laminagem muito maiores que as de laminagem a quente;
- O acabamento superficial é muito bom;
- Resulta em tolerâncias dimensionais mais estreitas que a laminagem a quente.

Nos dias de hoje, nas unidades industriais que fabricam varões de aço, o material é continuamente despejado (figura 6) em um molde refrigerado, onde é transformado em biletas que, posteriormente, são resfriados, permitindo ao mesmo tempo a sua laminação e solidificação. Após o processo, o bilete é endireitado e cortado nas dimensões desejadas. O produto semiacabado é então transportado para o forno de laminação, onde é mantido a uma temperatura de aproximadamente 1150 °C, para a produção dos produtos finais (Relatório 331 - DE/NCE, 2009).

Figura 6: Vazado de forma contínua



Fonte: Relatório 331 - DE/NCE (2009)

No forno de laminação, a fabricação de varões de aço passa por várias etapas de processamento: decapagem química, laminação para redução da espessura (o bilete passa por rolos que moldam a forma da seção até alcançar as dimensões desejadas), recozimento

ou tratamento térmico para regenerar a estrutura cristalina, laminação de encruamento superficial ou laminação superficial a frio das tiras recozidas e, por último, o acabamento.

Contudo, o processo de tratamento térmico que oferece a melhor relação qualidade/preço é o processo *Tempcore*, pois possibilita a produção de aços soldáveis altamente dúcteis, sem a necessidade de adição dispendiosa de elementos de liga.

Se um produto com nervuras for necessário, as nervuras nos varões de aço para betão armado são introduzidas pelo último rolo de laminação, usando moldes com o perfil predefinido. Posteriormente, o material produzido é cortado para obter o comprimento desejado (figura 7), agrupado por vazamento e etiquetado para distribuição. Em algumas unidades fabris, para facilitar a automatização do processo de produção, o produto pode ser fornecido em rolos, até 20 mm de diâmetro.

Figura 7: Varões laminados a quente: produto recto



Fonte: Mendes (2016)

O material (figura 8) em rolo precisa ser endireitado antes de ser utilizado na indústria da construção. O processo de endireitamento envolve aplicar uma curvatura com sinal contrário à existente devido à formação do rolo, utilizando vários métodos. É importante notar que, independentemente do método utilizado, o processo de endireitamento altera as características mecânicas dos produtos (Relatório 331 - DE/NCE, 2009).

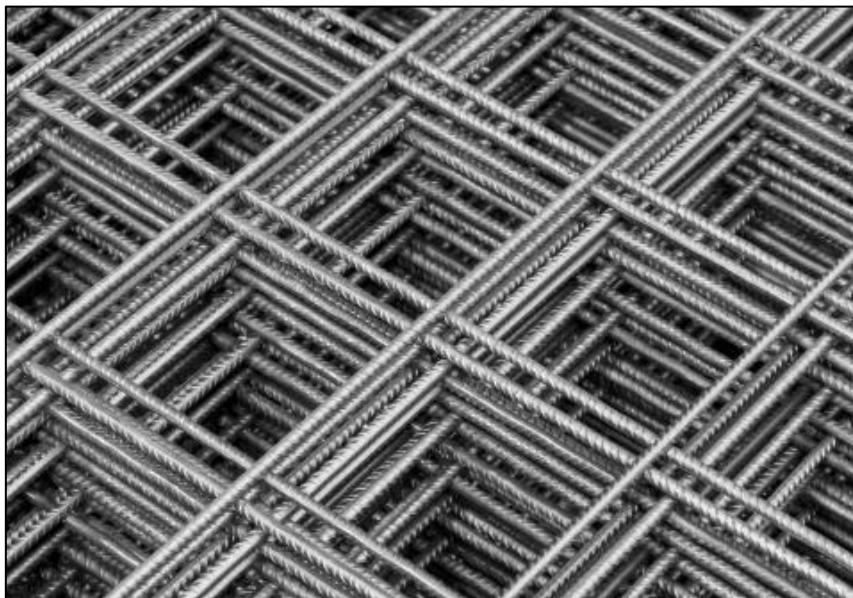
Figura 8: Varões laminados a quente: produto em rolo



Fonte: Mendes (2016)

Os produtos resultantes da laminação a quente ou do recozimento a frio podem ser cortados e unidos através de soldagem para formar painéis ou rolos de malha ou rede eletrossoldada. Essas redes (figura 9) são compostas por varões ou fios de aço, podendo ser lisos ou nervurados. Os varões ou fios são organizados em uma malha ortogonal, com as conexões sendo feitas em todos os pontos de cruzamento através de soldagem por resistência eléctrica automática.

Figura 9: Redes eletrossoldadas

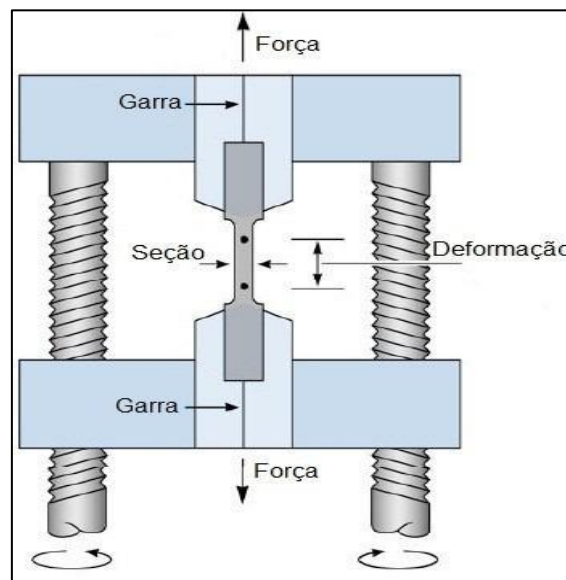


Fonte: Mendes (2016)

2.3.2. Ensaio de tracção

Este é um dos testes mais comuns e possivelmente o mais importante, visto que, em estruturas de betão armado típicas, o aço está sujeito principalmente a forças de tracção e fornece uma quantidade significativa de dados para caracterizar o material. O teste é realizado em um corpo de prova de aço, que é traccionado com forças ou deslocamentos progressivamente crescentes até a sua ruptura, com o objectivo de estabelecer a relação entre a tensão e a deformação (Rocha, 2009). Normalmente, utiliza-se uma máquina chamada máquina de tracção, que mede directamente a força aplicada ao corpo de prova. Para medir os alongamentos, que são muito pequenos, são usados extensômetros. Com as forças e os alongamentos conhecidos, é fácil obter um gráfico que relaciona as tensões com as deformações.

Figura 10: Máquina universal de ensaios



Fonte: Biopdi (2023)

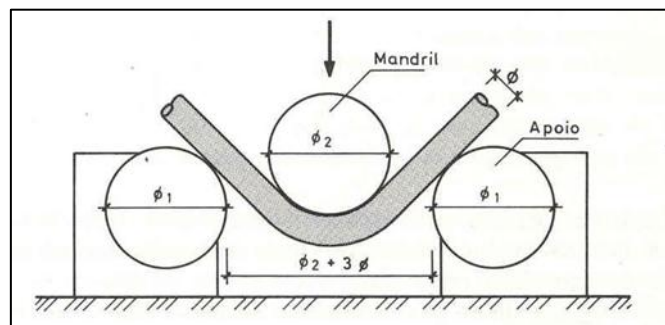
Através deste gráfico podem determinar-se diversas características do aço, tais como a tensão de cedência (f_y), tensão de rotura (f_s) e extensão total sob carga máxima ($\epsilon_{máx}$). Da leitura do gráfico pode também obter-se com facilidade a energia elástica e a energia plástica do aço, valores utilizados na determinação da tenacidade. Da análise do provete ensaiado pode ainda ser determinada a extensão após rotura bem como o coeficiente de estrição, dois indicadores da ductilidade do aço (Coutinho, 2004).

2.3.3. Ensaio de dobragem

Este ensaio interessa, sobretudo, pelo facto dos varões de aço a utilizar na realização de armaduras para betão armado serem sujeitos a dobragens e, eventualmente, desdobragens. A técnica do ensaio vem estabelecida nas normas portuguesas (Rocha, 2009) e realiza-se numa máquina que disponha de 3 rolos de aço, em que dois servem como apoio e o terceiro funciona como mandril.

Os diâmetros dos rolos são função do diâmetro do provete a ensaiar, devendo ter 50 mm para $\phi \leq 12\text{mm}$ e 70 mm para os restantes casos. O diâmetro do mandril é também função do diâmetro do provete a ensaiar e do tipo de aço. O espaçamento entre os apoios deve ser igual à soma do diâmetro do mandril com três vezes o diâmetro do provete. Na figura 11 pode observar-se um esquema representativo deste ensaio.

Figura 11: Esquema representativo do ensaio de dobragem



Fonte: Coutinho (2004)

Após a fixação dos apoios e a colocação do corpo de prova, posiciona-se o mandril no centro do vão entre os apoios e aplica-se uma força por meio de uma máquina de teste para dobrar o corpo de prova em torno do mandril. O ensaio consiste em submeter o corpo de prova a uma flexão por dobragem até que um determinado ângulo de dobragem seja alcançado.

As normas permitem que o ensaio seja realizado utilizando outro tipo de máquina que não aquela mencionada anteriormente. Pode-se utilizar um dispositivo de dobragem com apoio de aço com cava e um mandril, ou ainda um dispositivo de dobragem em torno de uma bancada.

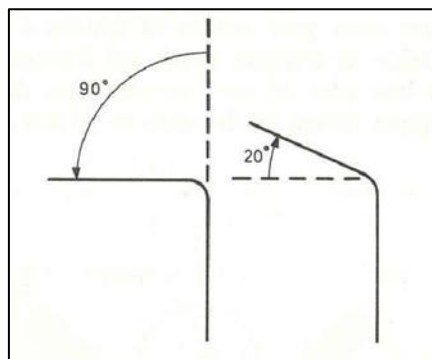
O ensaio é considerado satisfatório se não houver qualquer fissuração visível a olho nu na parte convexa do corpo de prova.

2.3.4. Ensaio de Dobragem-Desdobragem

Devido ao facto de actualmente a grande maioria dos varões utilizados serem nervurados, os varões a utilizar são usualmente de gamas de diâmetros superiores a 12 mm, tendo este ensaio um maior interesse do que o anterior.

Neste ensaio o provete é dobrado a 90° seguindo a técnica descrita atrás para o ensaio de dobragem, sendo em seguida submetido a um envelhecimento artificial, que consiste em manter o provete a 100°C durante 30 minutos, arrefecendo em seguida à temperatura ambiente. Após o arrefecimento o provete é submetido a uma desdobragem de 20°. Na figura seguinte pode observar-se um esquema ilustrativo do procedimento deste ensaio.

Figura 12: Esquema ilustrativo do ensaio de dobragem-desdobragem



Fonte: Coutinho (2004)

Os ensaios de Dobragem e de Dobragem-Desdobragem servem para avaliar a ductilidade do aço e evitar a ocorrência de roturas frágeis (Coutinho, 2004).

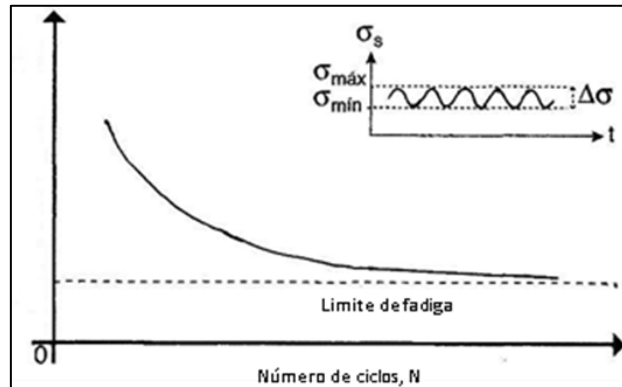
2.3.5. Ensaio de fadiga

A fadiga é um tipo de ruptura frágil que ocorre em materiais quando estão sujeitos a tensões variáveis, cíclicas e repetidas ao longo de um período prolongado (Rocha, 2009). Nessas situações (acções dinâmicas), a resistência do aço à fadiga pode ser significativamente menor do que a resistência à tracção obtida em ensaios estáticos. Isso ocorre porque não ocorrem grandes deformações plásticas antes da ruptura, o que é especialmente perigoso, pois pode levar a uma ruptura súbita e sem aviso prévio.

Cada metal possui um limite de fadiga específico, que corresponde a uma tensão (variação-flutuação) abaixo da qual pode suportar um número infinito de ciclos sem se romper (Coutinho, 2005).

O número de ciclos até a ruptura depende do valor máximo da tensão e da amplitude das cargas. No caso das armaduras de betão armado, a amplitude da carga é mais importante que o valor máximo da tensão. O diagrama de Wöhler é a curva que relaciona a amplitude com o número de ciclos até a ruptura (Rocha, 2009).

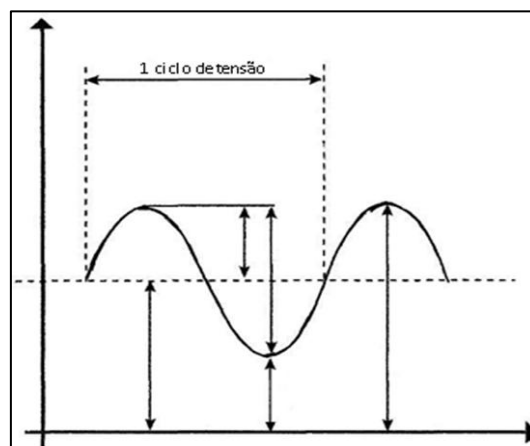
Figura 13: Diagrama de Wöhler do aço para armaduras de betão armado



Fonte: Rocha (2009)

O ensaio consiste em submeter o aço a um esforço axial cíclico e controlado entre um dado valor máximo e mínimo, ambos positivos, até se atingir a rotura do provete ou até serem alcançados 2×10^6 ciclos, condição de aceitação do ensaio. Os valores das tensões máxima e mínima são função do tipo de aço a ensaiar. Relativamente ao valor da frequência a utilizar no ensaio, esta deve ser sempre menor ou igual a 200 Hz. Na figura seguinte podem observar-se os ciclos de fadiga a que o aço é submetido no decorrer do ensaio.

Figura 14: Representação dos ciclos de fadiga



Fonte: Rocha (2009)

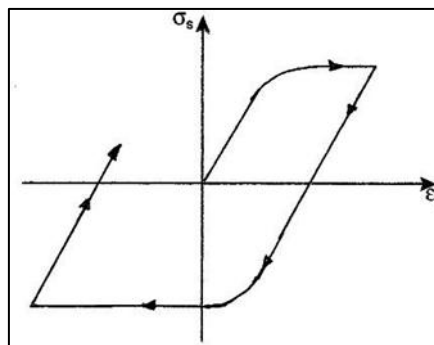
2.3.6. Ensaio de carga cíclica, resistência à fadiga oligocíclica

Este tipo de teste procura simular as condições de solicitação enfrentadas por estruturas localizadas em áreas com alta actividade sísmica, com o objectivo de avaliar o comportamento do aço sob grandes acções dinâmicas.

Ao contrário do teste de fadiga mencionado anteriormente, no qual o aço é submetido apenas a esforços de tracção, neste teste o corpo de prova é submetido a ciclos de tensão, tanto de tracção quanto de compressão, dentro da região de deformação plástica, resultando nos chamados ciclos de histerese, nome pelo qual esse teste também é conhecido. Devido à grande amplitude das cargas aplicadas, o número de ciclos neste teste é muito menor do que no teste de fadiga mencionado anteriormente.

O teste consiste em submeter o corpo de prova de aço a uma tracção até atingir uma certa deformação plástica, em seguida descarregá-lo e submetê-lo a uma compressão para atingir uma deformação de magnitude igual à anterior, apenas mudando o sinal, e então descarregá-lo novamente, completando assim um ciclo de histerese. A figura seguinte ilustra, em um diagrama tensão-deformação, um ciclo completo de histerese.

Figura 15: Representação de um ciclo de histerese completo



Fonte: Rocha (2009)

Este processo é repetido até se obterem dez ciclos completos, considerando-se satisfatório caso não ocorra a rotura do provete (Rocha, 2009).

CAPÍTULO III: METODOLOGIA

3.1. Tipo de estudo

O tipo de estudo escolhido para esta pesquisa sobre a avaliação da qualidade do varão de aço nervurado sul-africano e nacional comercializado nas cidades de Maputo e Matola é de carácter descritivo e comparativo, com abordagem predominantemente quantitativa, complementada por elementos qualitativos. O estudo é conduzido de forma empírica, baseado na recolha e análise de dados primários obtidos através de ensaios laboratoriais, observações directas e entrevistas com profissionais do sector da construção civil, bem como na análise documental de normas e regulamentos pertinentes ao uso de varão de aço na construção.

O estudo é descritivo porque busca detalhar as características físicas e mecânicas dos varões de aço nervurado comercializados em Maputo e Matola. Isso envolve a descrição de parâmetros como a resistência à tracção, a ductilidade, bem como a conformidade desses materiais com as normas técnicas de qualidade. Esse tipo de abordagem descritiva é fundamental para fornecer um panorama claro e detalhado da realidade dos materiais analisados, especialmente no que diz respeito às suas propriedades estruturais e de desempenho.

Além disso, o estudo é comparativo, uma vez que se concentra na comparação entre dois tipos de varões de aço, o nacional e o sul-africano. A comparação é feita tanto no plano técnico, por meio de ensaios laboratoriais que revelam diferenças nas características mecânicas e físicas, quanto no plano prático, considerando as percepções de engenheiros e especialistas sobre a performance e a adequação de cada tipo de varão nas construções locais. O estudo busca identificar disparidades ou similaridades entre os dois tipos de varão, com o objectivo de determinar qual deles oferece melhor desempenho e segurança para as estruturas em que são utilizados.

A abordagem quantitativa predomina neste estudo, uma vez que a principal fonte de dados é derivada de ensaios laboratoriais. Esses ensaios produzem dados numéricos que podem ser analisados estatisticamente para identificar padrões, variações e significância nas diferenças entre os varões de aço nacionais e sul-africanos. A análise quantitativa permite que os resultados sejam interpretados de forma objectiva, com base em parâmetros técnicos mensuráveis, como a resistência à tracção e a composição química.

Embora o foco principal seja quantitativo, o estudo também incorpora elementos qualitativos para enriquecer a compreensão dos dados. Esses elementos são obtidos por meio de conversas com engenheiros e especialistas do sector da construção civil, que fornecem dados sobre as percepções subjectivas em relação à utilização dos diferentes tipos de varão de aço. Essas conversas ajudam a contextualizar os dados quantitativos, oferecendo uma perspectiva prática sobre as vantagens e desvantagens percebidas por aqueles que lidam directamente com o material em projectos de construção.

A análise qualitativa permite capturar informações que não podem ser obtidas apenas por meio de testes laboratoriais, como as impressões sobre a durabilidade dos varões, as condições de manuseio no canteiro de obras, e até a confiança dos profissionais na qualidade de cada tipo de varão. Esses dados qualitativos complementam os resultados quantitativos e oferecem uma visão mais completa das implicações práticas das diferenças entre o varão nacional e o sul-africano.

Este estudo tem uma natureza empírica, uma vez que baseia-se na observação directa e na experiência prática para gerar conhecimento. A colecta de amostras de varões de aço no mercado de Maputo e Matola, seguida pela realização de ensaios laboratoriais, representa um esforço empírico para investigar a qualidade desses materiais. O carácter empírico é reforçado pela realização de testes de laboratório que seguem normas técnicas reconhecidas, garantindo a precisão e confiabilidade dos dados colectados.

3.2. Técnicas e instrumentos de recolha de dados

Na presente pesquisa, dedicada à avaliação da qualidade do varão de aço nervurado sul-africano e nacional comercializado nas cidades de Maputo e Matola, foram utilizadas técnicas e instrumentos de recolha de dados minuciosamente escolhidos para garantir a fiabilidade e a profundidade dos resultados. A metodologia abrangeu uma combinação de técnicas quantitativas e qualitativas, com foco em ensaios laboratoriais padronizados e na análise de dados primários e secundários. A escolha dessas técnicas visa abordar o tema de forma abrangente, permitindo a comparação precisa entre os varões de aço nacionais e sul-africanos.

A primeira etapa fundamental da pesquisa foi a colecta de amostras dos varões de aço comercializados nas cidades de Maputo e Matola. Para garantir a representatividade dos dados, foi realizada uma amostragem aleatória em várias lojas e distribuidoras de

materiais de construção que fornecem tanto varão de aço nacional quanto sul-africano. Foram seleccionados varões de aço nervurado de seguintes diâmetros, 6 mm, 8 mm, 10 mm e 12 mm que são amplamente utilizadas em estruturas de betão armado.

As amostras colectadas foram submetidas a uma série de ensaios laboratoriais, que constituíram a principal fonte de dados quantitativos da pesquisa. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia de Moçambique, na Direcção de Materiais de Construção e Estruturas, com equipamentos calibrados e seguindo rigorosamente as normas nacionais e internacionais para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados.

Os principais ensaios realizados foram:

- Ensaio de Tracção: Este ensaio foi conduzido para avaliar a resistência à tracção dos varões de aço. O objectivo foi determinar o limite de escoamento, a resistência máxima à tracção e o alongamento das amostras. Esses parâmetros são cruciais para a avaliação da capacidade dos materiais em suportar cargas mecânicas em estruturas de betão armado;
- Ensaio de Dobragem: O ensaio de dobragem é realizado para avaliar a ductilidade e a capacidade de deformação do varão de aço sem que ocorram falhas, como, fissuras ou trincas.

Esses ensaios foram aplicados em todas as amostras de varões de aço nervurado (nacionais e sul-africanos), com o objectivo de obter dados concretos que permitissem uma comparação detalhada das propriedades mecânicas e físicas dos materiais.

Uma importante técnica de recolha de dados complementares foi a pesquisa documental. Foram consultados documentos normativos, relatórios técnicos, normas internacionais e nacionais de qualidade para varões de aço (como as normas EN 10002/ ASTM A370 e NM 158:2010), além de literatura especializada no sector da construção civil. A pesquisa documental teve um papel crucial na contextualização dos dados obtidos nos ensaios laboratoriais e na comparação das amostras com os padrões de qualidade exigidos no mercado.

Como complemento à análise quantitativa, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com especialistas da indústria da construção civil, incluindo engenheiros civis e comerciantes de ferragens, responsáveis pela comercialização do varão de aço. Essas

entrevistas forneceram informações qualitativas valiosas sobre as práticas do sector, desafios enfrentados, tendências de mercado e percepções relativas à qualidade e utilização do varão de aço nas construções. O objectivo foi aprofundar a compreensão dos dados quantitativos, agregando o conhecimento prático dos profissionais e oferecendo uma visão mais completa e detalhada do panorama da construção civil em Moçambique.

3.3. Análise de dados

Na análise dos dados recolhidos no estudo sobre a avaliação da qualidade do varão de aço nervurado sul-africano e nacional comercializado nas cidades de Maputo e Matola, foram utilizadas técnicas de análise quantitativa e qualitativa, que permitiram uma compreensão abrangente das características físicas, químicas e mecânicas dos materiais estudados, sem recorrer a análises estatísticas formais.

A análise quantitativa focou-se principalmente nos dados obtidos por meio de ensaios laboratoriais realizados nas amostras de varão de aço, tanto nacional quanto sul-africano. Os ensaios permitiram medir, de forma objectiva, as propriedades físicas e mecânicas dos materiais, incluindo:

- Resistência à tracção – Determinou-se o limite de carga que cada varão pode suportar antes de se romper. Essa medida foi importante para comparar o desempenho de varões nacionais e sul-africanos, visto que a resistência é um dos principais indicadores de qualidade em estruturas de betão armado;
- Ensaio de Dobragem – Verificou-se a ductilidade do varão de aço nervurado, assegurando que estes possam ser dobrados sem desenvolver fissuras ou trincas.

Os resultados dessas análises foram apresentados de maneira detalhada, por meio de tabelas e gráficos, facilitando a comparação directa entre as propriedades dos varões de aço nacional e sul-africano de diferentes diâmetros (6 mm, 8 mm, 10 mm e 12 mm). Essa abordagem permitiu observar diferenças concretas entre as amostras analisadas, sem a necessidade de técnicas estatísticas complexas, uma vez que a ênfase foi dada à observação das propriedades técnicas de cada material.

Os dados quantitativos foram interpretados de forma directa, com base nos resultados dos ensaios laboratoriais. A análise concentrou-se na comparação objectiva das diferentes amostras, verificando a conformidade com normas técnicas. Cada varão foi comparado

em termos de seu desempenho mecânico, garantindo que as conclusões fossem baseadas em evidências empíricas concretas.

A análise quantitativa permitiu, portanto, determinar as diferenças substanciais em termos de qualidade e desempenho estrutural entre os varões de aço nacional e sul-africano. Essa comparação forneceu a base para conclusões sobre a adequação dos materiais às exigências da construção civil nas cidades de Maputo e Matola, possibilitando uma escolha mais informada entre os dois tipos de varão.

Embora o foco principal do estudo tenha sido quantitativo, a análise qualitativa desempenhou um papel complementar e essencial para entender os aspectos práticos e percepções subjectivas dos profissionais da construção civil. A análise qualitativa foi baseada em conversas semiestruturadas com engenheiros, construtores e outros especialistas que têm contacto directo com o uso dos varões de aço em obras de construção.

As conversas permitiram explorar:

- Percepções sobre a durabilidade e manuseio dos varões – Os entrevistados forneceram feedback sobre a experiência prática com cada tipo de varão, abordando questões como a manipulação dos materiais no canteiro de obras e a facilidade de instalação;
- Confiança na qualidade – A análise qualitativa focou-se em captar as impressões dos especialistas sobre a confiabilidade de cada tipo de varão. Esse aspecto foi crucial para entender como o mercado e os profissionais vêem a qualidade do varão de aço nacional em comparação com o sul-africano, especialmente em projectos críticos, como edifícios de grande porte e infraestruturas públicas;
- Implicações para a segurança das estruturas – Os dados qualitativos ajudaram a interpretar o impacto prático das diferenças de qualidade observadas nos ensaios laboratoriais, fornecendo uma perspectiva de risco baseada na experiência dos profissionais.

A falta de análise estatística formal foi compensada pela abordagem directa e interpretativa dos dados. Ao focar em uma análise comparativa, o estudo proporcionou uma avaliação clara e detalhada das disparidades entre os varões de aço, permitindo que as conclusões fossem fundamentadas tanto em evidências empíricas quanto nas percepções dos profissionais do sector.

CAPÍTULO IV: ESTUDO DE CASO

4.1. Localização geográfica

A região em estudo compreende as cidades de Maputo e Matola. A Cidade de Maputo está localizada no extremo Sul do país, na baía do mesmo nome, sendo limitada a Oeste pelo Vale do Infulene, a Este pelo Oceano Índico, a Sul pelo Distrito de Matutuine e a Norte pelo Distrito de Marracuene. Com uma área de 346,7 km², a cidade é dividida em 64 bairros e 7 distritos urbanos. A população, em 2019, era de cerca de 1.170.000 habitantes. A Cidade da Matola, capital da província de Maputo, tem uma área de 373 km² e, segundo o censo de 2007, uma população de 672.508 habitantes. Matola foi elevada a cidade B em 2007 devido ao seu crescimento econômico e demográfico.

4.2. Ensaio de caracterização físico-mecânica de varões de aço

Segundo o Laboratório de Engenharia de Moçambique (LEM), o ensaio de caracterização físico-mecânica de varões de aço avalia propriedades como resistência à tracção, alongamento, elasticidade, diâmetro e composição química. Este processo é essencial para garantir que o aço utilizado em construções civis atenda às normas técnicas e ofereça segurança estrutural. Empresas interessadas devem submeter amostras ao LEM e formalizar o pedido de análise com informações detalhadas sobre o material e os parâmetros a serem avaliados.

O autor, apresentou-se ao Laboratório de Engenharia de Moçambique (LEM) com uma carta de solicitação da Universidade Politécnica A Politécnica, que requisitava a realização de ensaio de caracterização físico-mecânica de varões de aço naquela prestigiada instituição. Após alguns dias, a solicitação foi respondida positivamente, e o processo de análise foi iniciado. Durante a realização dos ensaios, foi possível avaliar a resistência à tracção, a ductilidade, o alongamento e a elasticidade dos varões de aço fornecidos pelo autor.

No entanto, a análise de composição química dos varões fornecidos pelo autor não pôde ser realizada. O Laboratório informou que o espectrómetro de emissão óptica (OES) utilizado para a análise estava temporariamente fora de operação devido a problemas técnicos. Esse imprevisto impossibilitou a execução dos testes necessários para verificar a composição química dos varões de aço, o que foi além do controle do autor.

4.2.1. Procedimentos dos testes dos varões

4.2.1.1. Testes de tracção

Os testes de tracção de varões de aço são essenciais para determinar as propriedades mecânicas do material, tais como resistência à tracção, ductilidade, e capacidade de deformação. Esses dados são fundamentais para assegurar que os varões de aço cumpram os requisitos de segurança e desempenho exigidos em projectos estruturais, especialmente em edifícios e infraestruturas que dependem de elementos metálicos como parte de sua composição estrutural.

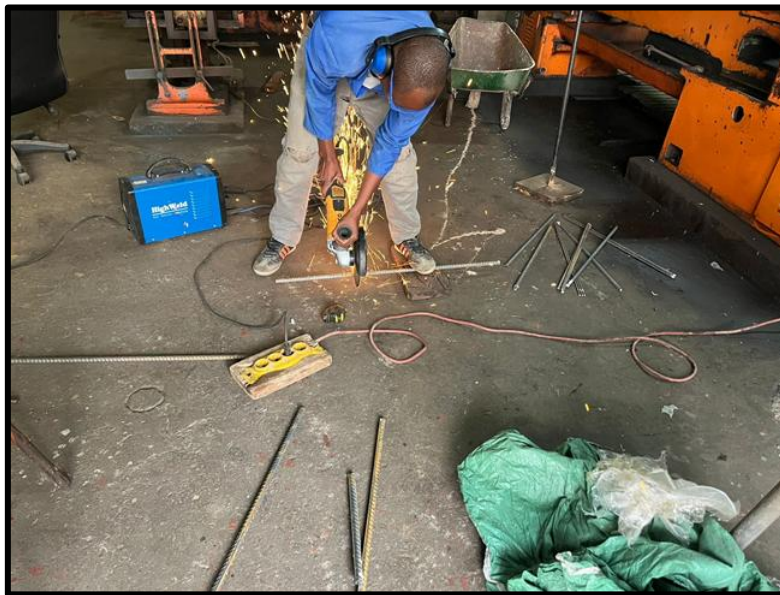
Os ensaios descritos seguiram uma sequência precisa de preparação, medição e execução, com base em normas técnicas que asseguram a qualidade e a validade dos resultados obtidos. O comportamento do aço em resposta às cargas aplicadas fornece a base para decisões críticas de engenharia no campo da construção civil.

4.2.1.2. Preparação das Amostras

Foram realizadas amostragens de varões de aço nervurado de diferentes diâmetros (6 mm, 8 mm, 10 mm e 12 mm), provenientes tanto de fornecedores sul-africanos quanto nacionais. Cada amostra consistia em três varões de cada diâmetro, cortados em seções de 1,5 metros. Essa divisão visava garantir que tanto o ensaio de tracção quanto o de dobragem fossem realizados de maneira eficiente, com cortes subsequentes em tamanhos adequados para cada teste.

Corte e distribuição: As amostras foram cortadas em duas partes, sendo uma de 60 cm destinada ao ensaio de tracção e outra de 30 cm para o ensaio de dobragem. A precisão no corte é crucial, pois variações na geometria podem impactar directamente nos resultados dos testes (Figura 16).

Figura 16: Corte das amostras



Fonte: Fotografia tirada pelo autor no Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

4.2.1.3. Determinação da Massa

Após o corte, os varões foram pesados para determinar a massa específica de cada amostra. O conhecimento da massa é importante não só para a verificação das propriedades físicas, mas também para cálculos de densidade e conformidade com normas de padronização (Figura 17).

Figura 17: Balança



Fonte: Fotografia tirada pelo autor no Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

4.2.1.4. Marcação dos Provetes

Para o ensaio de tracção, é essencial marcar os provetes com precisão. Essas marcações são feitas para permitir a medição da extensão dos varões após a ruptura, a fim de calcular a deformação, o alongamento e o comportamento plástico do material (Figura 18).

Figura 18: Equipamento de marcação de provetes



Fonte: Fotografia tirada pelo autor no Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

4.2.1.5. Ensaio de Tracção

O ensaio de tracção foi realizado utilizando uma máquina universal de ensaio de tracção, capaz de aplicar uma carga crescente até a ruptura do material (Figura 19). Esse equipamento mede a força aplicada e a deformação do varão ao longo do teste.

Objectivos do ensaio de tracção: O ensaio de tracção visa determinar a resistência máxima à tracção, o limite de escoamento e o comportamento elástico-plástico dos varões. É neste ensaio que se mede a força máxima suportada pelo material, fornecendo dados críticos para o dimensionamento e a verificação de segurança em projectos estruturais.

Comportamento do material: A extensão é medida após a ruptura para avaliar a ductilidade e o comportamento do aço. A relação entre tensão e deformação permite identificar o ponto em que o material deixa de se comportar elasticamente e entra em regime plástico.

Figura 19: Máquina universal de ensaio de tracção



Fonte: Fotografia tirada pelo autor no Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

4.2.2. Análise do Varão Sul-africano

A análise dos diferentes varões de aço de diâmetros variados (6 mm, 8 mm, 10 mm e 12 mm) revela comportamentos mecânicos semelhantes, com diferenças importantes nas propriedades específicas de cada um, o que influencia directamente a sua aplicação em estruturas de betão armado. Essas características são cruciais para determinar as funções específicas que cada varão pode desempenhar em uma estrutura.

4.2.2.1. Análise do Varão Sul-africano de 6 mm

A análise do Relatório de Ensaio de Tracção do Varão de 6 mm destaca o processo e os resultados do teste mecânico fundamental que submete um material a uma força axial crescente até sua ruptura (Tabela 1). O ensaio de tracção é crucial para determinar várias propriedades mecânicas, como:

- Limite de escoamento ($R_{p0.2}$) – representa a tensão a partir da qual o material começa a se deformar plasticamente de maneira significativa;
- Resistência à tracção (R_m) – a tensão máxima que o material suporta antes de romper;
- Alongamento (A) – a deformação plástica que o material sofre até a ruptura, expressa em percentagem.

Tabela 1: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão sul-africano de 6 mm

SPECIMEN DESCRIPTION			
Test date	: 01/08/2024	Date/time received	: 31/07/2024
Label	: Provete 01 / 06 mm		
Sample	: 1		
Steel type	: Nervurado (Aço Sul Africano)		
Type of	: ROUND	Plain	
Lt	: 600,0	mm	Weight: 0,120 Kg
Mass	: 0,20	Kg/m	
Area	: 25,5	mm ²	
Diameter	: 5,70	mm	
Lo	: 60,0	mm	
Machined:	: Yes		
Proportional specimen	<input type="checkbox"/>		
ELONGATION MEAS. APPARATUS	: Encoder		
TEST END TEST RESULTS:			
Fm (kN)	: 20,8	Rp _{0,20} (N/mm ²)	: 719,0
		A (%)	: 20,00
		Lu (mm)	: 72,0
Rm (N/mm ²)	: 816,1		

Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

O relatório descreve o ensaio de tracção de uma amostra de aço nervurado sul-africano, onde foram analisados os seguintes aspectos:

- **Material:** Aço nervurado sul-africano. Este tipo de nervura aumenta a aderência do aço ao betão, sendo ideal para estruturas de betão armado.
- **Geometria e massa da amostra:** A amostra era cilíndrica, com um diâmetro de 5,7 mm, comprimento inicial de 60 mm, seccão de 25,5 mm² e massa de 0,20 kg/m.

Resultados principais:

- **Força máxima (Fm):** A amostra resistiu a uma força máxima de 20,8 kN antes de se romper;
- **Limite de escoamento (Rp0.2):** O aço apresentou um limite de escoamento de 719 N/mm², indicando boa resistência à deformação inicial;
- **Resistência à tracção (Rm):** A resistência máxima do material foi de 816,1 N/mm²;
- **Alongamento (A):** A amostra alongou-se 20% antes de romper, sugerindo uma excelente ductilidade.

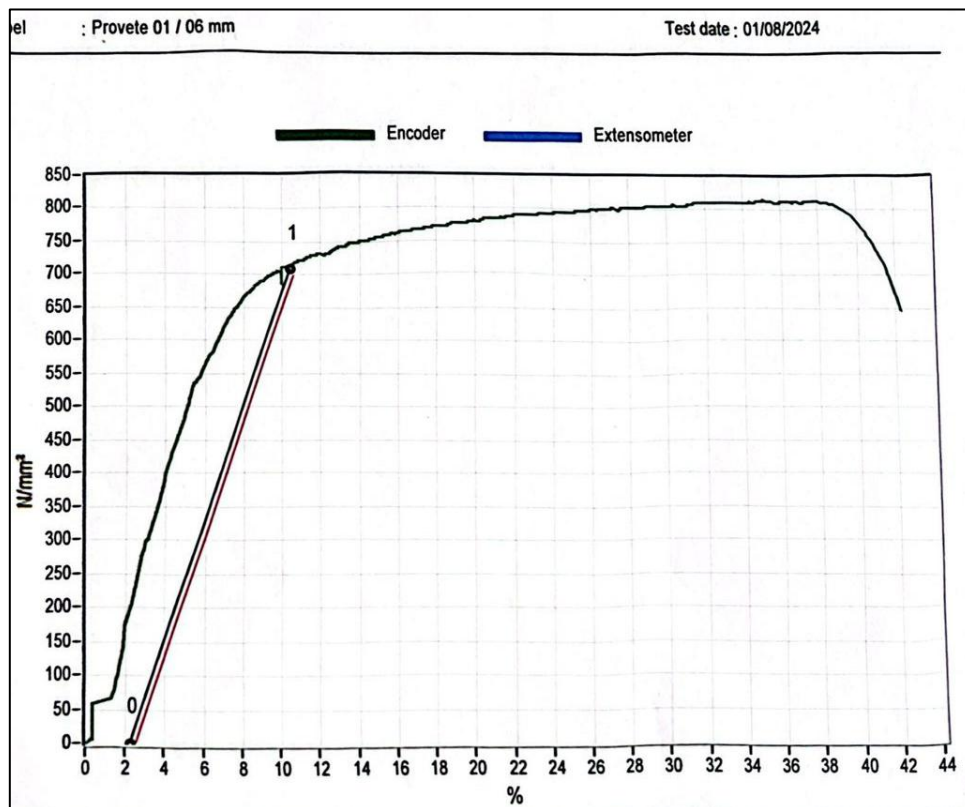
Os dados indicam que o aço nervurado sul-africano possui boas propriedades mecânicas, como alta resistência e ductilidade, factores essenciais para suportar grandes cargas sem deformações excessivas e para absorver energia antes da ruptura. Este comportamento é desejável em aplicações como estruturas de betão armado (pilares e vigas), já que a ductilidade permite deformações controladas sob sobrecarga, prevenindo falhas bruscas.

Devido às suas propriedades mecânicas, o aço testado é ideal para uso em estruturas de betão armado. O ensaio foi conduzido conforme as normas EN 10002 e ASTM A370, que orientam os procedimentos para ensaios de tracção em metais. Foi supervisionado por um profissional qualificado, com a realização datada de 01/08/2024.

A introdução do gráfico tensão-deformação oferece uma análise mais detalhada do comportamento do aço durante o ensaio de tracção (Gráfico 1). Esse gráfico é uma representação visual da relação entre a tensão aplicada à amostra e a deformação resultante, dividindo-se em:

- Região Elástica: A primeira parte, geralmente linear, representa a região onde o material retorna à sua forma original ao remover a carga. A inclinação da recta inicial é o módulo de Young, que indica a rigidez do material;
- Limite de Escoamento: O ponto onde o material começa a se deformar de forma permanente, entrando na região plástica, onde ocorrem grandes deformações com incrementos pequenos de tensão;
- Resistência à tracção (R_m): O ponto de máxima tensão antes da ruptura;
- Alongamento: A deformação total até a ruptura, indicando a ductilidade do material.

Gráfico 1: Tensão-deformação do varão sul-africano de 6 mm



Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

Baseado nas informações do relatório e no gráfico:

- Região Elástica e Módulo de Young: O gráfico mostra uma região elástica bem definida, com uma boa rigidez do material, medida pelo módulo de Young.
- Limite de Escoamento: Claramente visível, indicando que o aço tem boa resistência à deformação.
- Região Plástica: Extensa, o que sugere uma elevada ductilidade, característica importante para garantir que o material se deforme controladamente antes de falhar.
- Resistência à tracção: A resistência à tracção máxima obtida no gráfico confirma os dados do relatório (816,1 N/mm²).
- Alongamento: O valor do alongamento visualizado no gráfico também coincide com o relatado (20%), validando a capacidade de deformação do material.

O gráfico tensão-deformação complementa as informações numéricas do relatório, confirmando que o ensaio foi realizado com precisão e cuidado. O comportamento do aço nervurado sul-africano, com alta resistência e boa ductilidade, é típico de materiais usados em estruturas de betão armado. Os resultados confirmam a adequação do aço para essas

aplicações, onde tanto a resistência quanto a capacidade de deformação controlada são requisitos críticos.

4.2.2.2 Análise do Varão 8 mm

O relatório apresentado descreve um ensaio de tracção realizado em uma amostra de aço nervurado sul-africano com diâmetro de 8 mm (Tabela 2). O ensaio de tracção é um método essencial para avaliar as propriedades mecânicas de materiais utilizados em estruturas de betão armado, como a resistência à tracção, a ductilidade e o limite de escoamento. Esses dados são fundamentais para garantir a integridade e a segurança das estruturas.

Tabela 2: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão sul-africano de 8 mm

SPECIMEN DESCRIPTION			
Test date	: 01/08/2024	Date/time received	: 31/07/2024
Label	: Provete 01 / 08 mm		
Sample	: 1		
Steel type	: Nervurado (Aço Sul Africano)		
Type of	: ROUND	Plain	
Lt	: 600,0	mm	Weight: 0,220 Kg
Mass	: 0,37	Kg/m	
Area	: 46,7	mm ²	
Diameter	: 7,71	mm	
Lo	: 80,0	mm	
Machined:	: Yes		
Proportional specimen	<input type="checkbox"/>		
ELONGATION MEAS. APPARATUS	: Encoder		
TEST END TEST RESULTS:			
Fm (kN)	: 29,2		
ReH (N/mm ²)	: 562,5		
ReL (N/mm ²)	: 543,9	A (%)	: 20,00 Lu (mm) : 96,0
Rm (N/mm ²)	: 625,5		

Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

O relatório descreve o ensaio de tracção de uma amostra de varão de aço nervurado sul-africano, onde foram analisados os seguintes aspectos:

- Material: O varão de aço nervurado sul-africano é amplamente utilizado em estruturas de betão armado por sua capacidade de aderir bem ao betão, oferecendo maior resistência mecânica;

- Geometria e massa da Amostra: A amostra cilíndrica utilizada no ensaio tinha um diâmetro de 7,71 mm e um comprimento inicial de 80 mm, seccão de 46,7 mm² e massa de 0,37 kg/m. características que seguem as especificações técnicas para a realização de testes de tracção;
- Procedimento: A amostra foi submetida a uma força axial crescente até o ponto de ruptura. Durante o ensaio, foi gerado um gráfico tensão-deformação, e as propriedades mecânicas foram determinadas.

Os resultados obtidos no ensaio de tracção foram os seguintes:

- Força Máxima (Fm): A barra de aço resistiu a uma força máxima de 29,2 kN antes de sua ruptura, evidenciando sua alta resistência mecânica.
- Limites de Escoamento: O ensaio revelou a presença de dois limites de escoamento, comum em aços de baixa liga:
 - ReH (Upper Yield Strength): 562,5 N/mm², que é o limite de escoamento superior.
 - ReL (Lower Yield Strength): 543,9 N/mm², o limite de escoamento inferior. A existência desses dois pontos indica um comportamento de escoamento não uniforme, influenciado por factores como a composição química do material.
- Resistência à Tracção (Rm): A tensão máxima que o material suportou foi de 625,5 N/mm², evidenciando a sua robustez e capacidade de suportar cargas elevadas.
- Alongamento (A): A amostra apresentou um alongamento total de 20,0% antes de romper, um indicativo claro da boa ductilidade do aço, uma propriedade importante para evitar rupturas frágeis e permitir deformações controladas.

Interpretação dos Resultados:

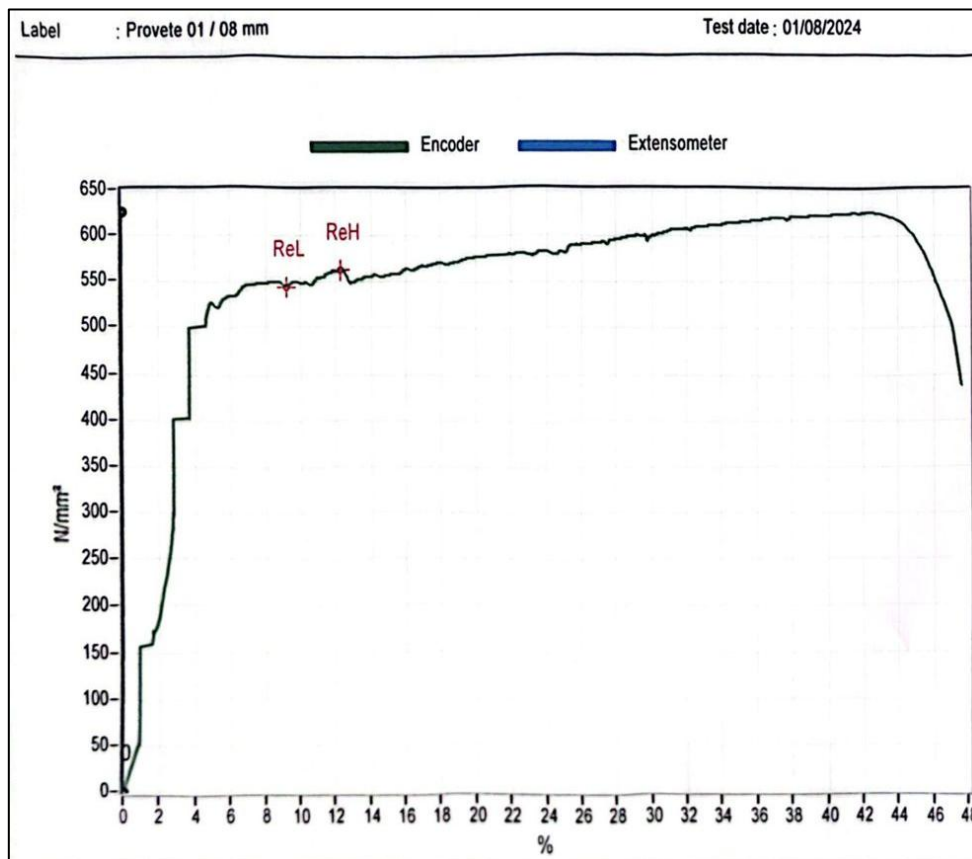
- Alta Resistência: A resistência à tracção de 625,5 N/mm² demonstra que o aço possui uma elevada capacidade de suportar cargas sem romper, tornando-o adequado para aplicações estruturais onde são exigidos materiais de alta resistência;
- Boa Ductilidade: O alongamento significativo (20,0%) reflecte que o material tem a capacidade de se deformar consideravelmente antes da ruptura, o que é crucial para o desempenho de estruturas sob sobrecarga, permitindo maior segurança;

- Comportamento de Escoamento: A presença de dois limites de escoamento revela que o material não se deforma de maneira uniforme ao atingir o seu limite elástico. Esse comportamento pode ser influenciado pela microestrutura do aço, o que pode exigir maior atenção no seu dimensionamento em projectos estruturais.

O aço nervurado sul-africano testado apresentou propriedades adequadas para aplicações em estruturas de betão armado, com alta resistência e excelente ductilidade. Contudo, o comportamento não uniforme de escoamento deve ser levado em consideração ao projectar estruturas que utilizam esse material, especialmente em condições de carga elevada.

O gráfico tensão-deformação gerado durante o ensaio fornece uma visão detalhada do comportamento mecânico do aço nervurado sul-africano ao longo de todo o teste (Gráfico 2).

Gráfico 2: Tensão-deformação do varão sul-africano de 8 mm



Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

Esse gráfico é dividido em várias regiões que reflectem o comportamento progressivo do material sob tensão. Regiões do Gráfico:

- Região Elástica: No início do gráfico, a curva segue um comportamento linear, indicando que o aço está na fase elástica. Durante essa fase, a deformação é proporcional à tensão aplicada e, uma vez removida a carga, o material retorna à sua forma original sem deformação permanente;
- Limite de Escoamento Superior (ReH): Esse ponto no gráfico representa o início da deformação plástica. A partir desse limite, o material começa a se deformar permanentemente, ou seja, não retorna à sua forma original, mesmo após a remoção da carga;
- Patamar de Escoamento: Logo após o limite de escoamento superior, o gráfico apresenta uma fase horizontal ou quase horizontal. Durante essa fase, o material se deforma plasticamente com uma variação mínima na tensão. Essa característica é comum em aços de baixa liga;

- Limite de Escoamento Inferior (ReL): Após o patamar de escoamento, o gráfico volta a subir até atingir o limite de escoamento inferior, onde ocorre uma deformação plástica mais pronunciada;
- Região Plástica: Além do limite de escoamento inferior, a deformação plástica continua, e pequenas variações na tensão resultam em grandes deformações, indicando que o material está se aproximando do seu limite máximo;
- Resistência à tração (Rm): Este ponto marca a tensão máxima que o aço suporta antes de iniciar o processo de ruptura;
- Estricção e Ruptura: Após atingir a resistência máxima, o material começa a estricção em uma seção específica, concentrando as tensões até romper.

Interpretação dos Resultados:

- Comportamento do Escoamento: A presença de dois limites de escoamento e o patamar de escoamento indicam que o aço tem um comportamento de escoamento complexo, o que pode ser influenciado pela sua composição e processamento térmico. Esse comportamento precisa ser considerado no projeto estrutural;
- Ductilidade: A longa região plástica e o alongamento elevado antes da ruptura sugerem que o aço é altamente dúctil, uma característica desejada para estruturas que necessitam de deformações controladas antes de falhar;
- Heterogeneidade: O comportamento de escoamento não uniforme pode ser um indicativo de heterogeneidade na microestrutura do aço, o que pode influenciar suas propriedades mecânicas e sua resposta a diferentes condições de carga.

O gráfico tensão-deformação proporciona uma visão aprofundada do comportamento do aço nervurado durante o ensaio de tração. A presença de um patamar de escoamento e a boa ductilidade tornam o material adequado para aplicações em betão armado. No entanto, a heterogeneidade no comportamento de escoamento exige atenção ao se considerar a variabilidade das propriedades mecânicas e a influência da microestrutura no desempenho do material.

4.2.2.3. Análise do Varão de 10 mm

A seguir, é apresentada uma análise detalhada do ensaio de tracção realizado em uma amostra de aço nervurado sul-africano com diâmetro de 10mm (Tabela 3). Esse tipo de ensaio é essencial para identificar as principais propriedades mecânicas do material, como sua resistência, ductilidade e limites de escoamento. Esses dados são cruciais no processo de dimensionamento e segurança de estruturas de betão armado, onde o aço desempenha um papel fundamental no reforço estrutural.

Tabela 3: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão sul-africano de 10 mm

SPECIMEN DESCRIPTION			
Test date	: 01/08/2024	Date/time received	: 31/07/2024
Label	: Provete 01 / 10 mm		
Sample	: 1		
Steel type	: Nervurado (Aço Sul Africano)		
Type of	: ROUND	Deformed	
Lt	: 600,0	mm	Weight: 0,360 Kg
Mass	: 0,60	Kg/m	
Area	: 76,4	mm ²	
Diameter	: 9,86	mm	
Lo	: 100,0	mm	
Machined:	: Yes		
Proportional specimen	<input type="checkbox"/>		
ELONGATION MEAS. APPARATUS	: Encoder		
TEST END TEST RESULTS:			
Fm (kN)	: 50,3		
ReH (N/mm ²)	: 584,3		
ReL (N/mm ²)	: 580,0	A (%)	: 21,00 Lu (mm) : 121,0
Rm (N/mm ²)	: 658,7		

Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

O ensaio foi realizado utilizando uma barra de aço nervurado, material amplamente usado em estruturas de betão armado devido à sua alta aderência ao betão. A geometria da amostra ensaiada foi caracterizada por um diâmetro de 10,14 mm e um comprimento inicial de 100mm, seccção de 76,4 mm² e massa de 0,60 kg/m. O ensaio envolveu a aplicação de uma força axial crescente sobre a amostra até que a ruptura ocorresse, permitindo a obtenção de um gráfico tensão-deformação que foi utilizado para determinar várias propriedades mecânicas do aço.

O ensaio revelou que a barra de aço de 10 mm resistiu a uma força máxima de 50,9 kN antes de se romper. A análise dos limites de escoamento indicou dois valores:

- Limite de Escoamento Superior (ReH): 584,3 N/mm²
- Limite de Escoamento Inferior (ReL): 580,0 N/mm²

A presença de dois limites de escoamento, como frequentemente observado em aços de baixa liga, sugere um comportamento de escoamento não uniforme. Esse comportamento é comum em materiais que possuem uma microestrutura complexa e uma composição química específica.

Além disso, a resistência à tracção (Rm), ou seja, a maior tensão que a barra suportou antes de sua ruptura, foi de 658,7 N/mm². O alongamento total da amostra antes de romper foi de 21%, o que indica uma boa ductilidade do material, permitindo deformações consideráveis antes da falha.

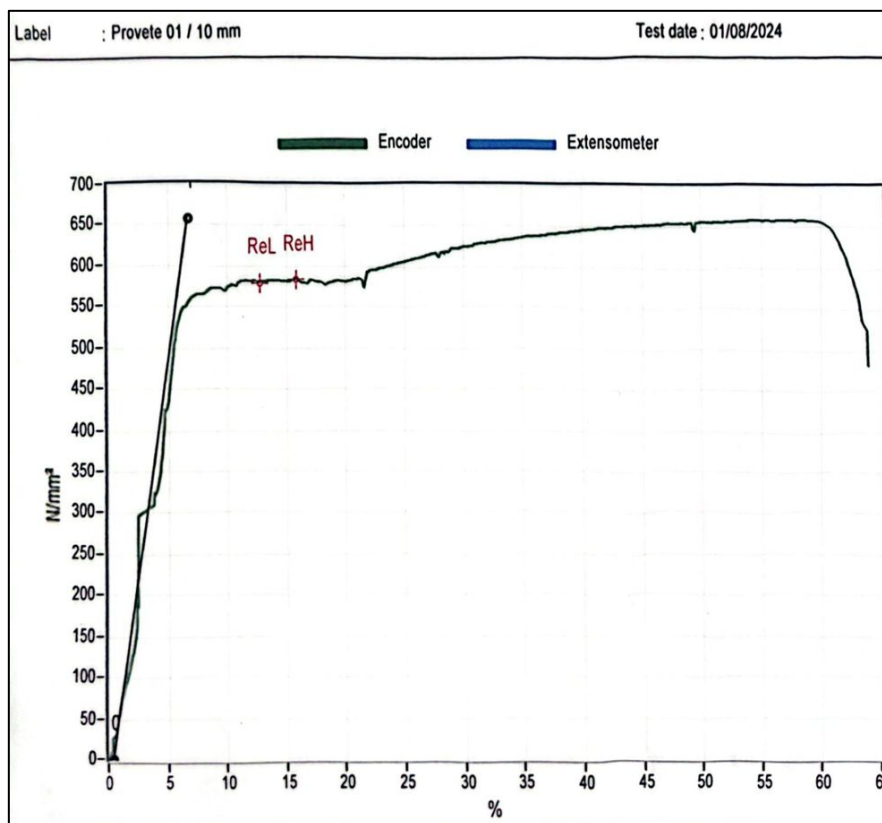
Os resultados obtidos durante o ensaio de tracção confirmam a alta resistência do aço nervurado sul-africano. A resistência à tracção de 658,7 N/mm² demonstra que o material é capaz de suportar grandes cargas antes de sua ruptura, uma característica desejável em estruturas que exigem alta durabilidade.

A ductilidade apresentada, com um alongamento de 21%, reforça a ideia de que o aço possui uma excelente capacidade de deformação plástica, o que é vital em aplicações onde a segurança estrutural é uma prioridade. Uma boa ductilidade garante que, antes da falha, a estrutura possa se deformar de maneira controlada, distribuindo as tensões ao longo do material e evitando rupturas abruptas.

O comportamento de escoamento observado, com a presença de dois limites de escoamento e um patamar de escoamento, sugere que o material tem uma resposta não uniforme durante a deformação plástica. Isso pode ser explicado tanto pela composição química do aço quanto pelo processo de fabricação, que influencia directamente a formação de sua microestrutura.

O gráfico tensão-deformação gerado durante o ensaio de tracção é uma ferramenta essencial para a interpretação do comportamento mecânico da barra de aço (Gráfico 3).

Gráfico 3: Tensão-deformação do varão sul-africano de 10 mm



Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

O gráfico 3 pode ser dividido em várias regiões que reflectem diferentes fases do comportamento do material:

- Região Elástica: Esta fase inicial é caracterizada por uma relação linear entre tensão e deformação. Aqui, o aço se comporta elasticamente, ou seja, retorna à sua forma original quando a carga aplicada é removida. Este comportamento persiste até o ponto em que o material atinge seu limite de escoamento;
- Limite de Escoamento Superior (ReH): A partir do ponto de escoamento superior, o material começa a se deformar plasticamente de forma não uniforme. Esse ponto marca o fim da região elástica e o início da deformação permanente;
- Patamar de Escoamento: No gráfico, observa-se uma fase quase horizontal após o limite de escoamento superior, indicando um patamar onde o aço se deforma plasticamente com pouca variação na tensão aplicada. Esse patamar é típico de aços com comportamento de escoamento não uniforme;
- Limite de Escoamento Inferior (ReL): Após o patamar, a curva volta a subir levemente, atingindo o limite de escoamento inferior, onde a tensão aumenta novamente à medida que a deformação plástica continua;

- Região Plástica: Após o limite de escoamento inferior, o material entra na região plástica, onde grandes deformações ocorrem com pequenos incrementos de tensão. A ductilidade do aço é evidenciada pela extensão desta região;
- Resistência à Tracção (R_m): O pico máximo da curva representa a maior tensão que o aço pode suportar antes de se romper. Este ponto é crucial para determinar a resistência do material;
- Estricção e Ruptura: Finalmente, após atingir o máximo da resistência à tracção, a barra de aço começa a se estreitar, formando um ponto de estricção até romper completamente.

O ensaio de tracção realizado na barra de aço nervurado de 10 mm forneceu informações essenciais sobre o comportamento mecânico do material. A alta resistência à tracção e a boa ductilidade garantem que o aço é adequado para uso em estruturas de betão armado, proporcionando segurança e durabilidade. No entanto, a presença de um comportamento de escoamento não uniforme requer uma análise cuidadosa no projecto e manutenção das estruturas, garantindo que todas as variáveis mecânicas sejam devidamente consideradas para otimizar a performance e a segurança ao longo da vida útil da construção.

4.2.2.4. Análise do Varão de 12 mm

A análise do relatório referente ao ensaio de tracção em uma barra de aço de 12 mm de diâmetro oferece uma visão detalhada das propriedades mecânicas desse material, essencial para a construção de estruturas de betão armado (Tabela 4). O ensaio foi conduzido para avaliar a resistência, a ductilidade e o comportamento de escoamento do aço nervurado sul-africano, características fundamentais para o dimensionamento estrutural.

Tabela 4: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão sul-africano de 12 mm

SPECIMEN DESCRIPTION			
Test date	: 01/08/2024	Date/time received	: 31/07/2024
Label	: Provete 01 / 12 mm		
Sample	: 1		
Steel type	: Nervurado (Aço Sul Africano)		
Type of	: ROUND	Deformed	
Lt	: 600,0	mm	Weighth: 0,520 Kg
Mass	: 0,87	Kg/m	
Area	: 110,4	mm ²	
Diameter	: 11,86	mm	
Lo	: 120,0	mm	
Machined:	: Yes		
Proportional specimen	<input type="checkbox"/>		
ELONGATION MEAS. APPARATUS	: Encoder		
TEST END TEST RESULTS:			
Fm (kN)	: 67,6		
ReH (N/mm ²)	: 534,1		
ReL (N/mm ²)	: 528,1	A (%)	: 23,33 Lu (mm) : 148,0
Rm (N/mm ²)	: 612,3		

Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

O material testado é uma amostra de aço nervurado sul-africano, amplamente utilizado em estruturas de betão armado devido à sua aderência eficiente ao betão. A amostra possui formato cilíndrico com diâmetro de 11,86 mm, comprimento inicial de 120, seccção de 110,4 mm² e massa de 0,29 kg/m. O ensaio foi realizado aplicando-se uma força axial crescente até a ruptura do material, gerando um gráfico tensão-deformação que permite a extracção de parâmetros importantes, como limites de escoamento, resistência à tracção e alongamento.

Os resultados do ensaio revelaram que a amostra suportou uma força máxima de 67,6 kN antes de romper. Além disso, foram identificados dois limites de escoamento:

- ReH (Limite de Escoamento Superior): 534,1 N/mm²
- ReL (Limite de Escoamento Inferior): 528,1 N/mm²

Esses valores indicam que o aço nervurado apresentou um comportamento de escoamento não uniforme, comum em aços de baixa liga, e que pode estar relacionado à composição química e ao processo de fabricação do material.

A resistência máxima à tracção (R_m) foi de 612,3 N/mm², o que reforça a capacidade do material de suportar cargas elevadas sem falhar. Além disso, a amostra exibiu um alongamento de 23,33% antes da ruptura, sinalizando uma excelente ductilidade, que é essencial para garantir que a estrutura possa sofrer deformações controladas antes de uma falha catastrófica.

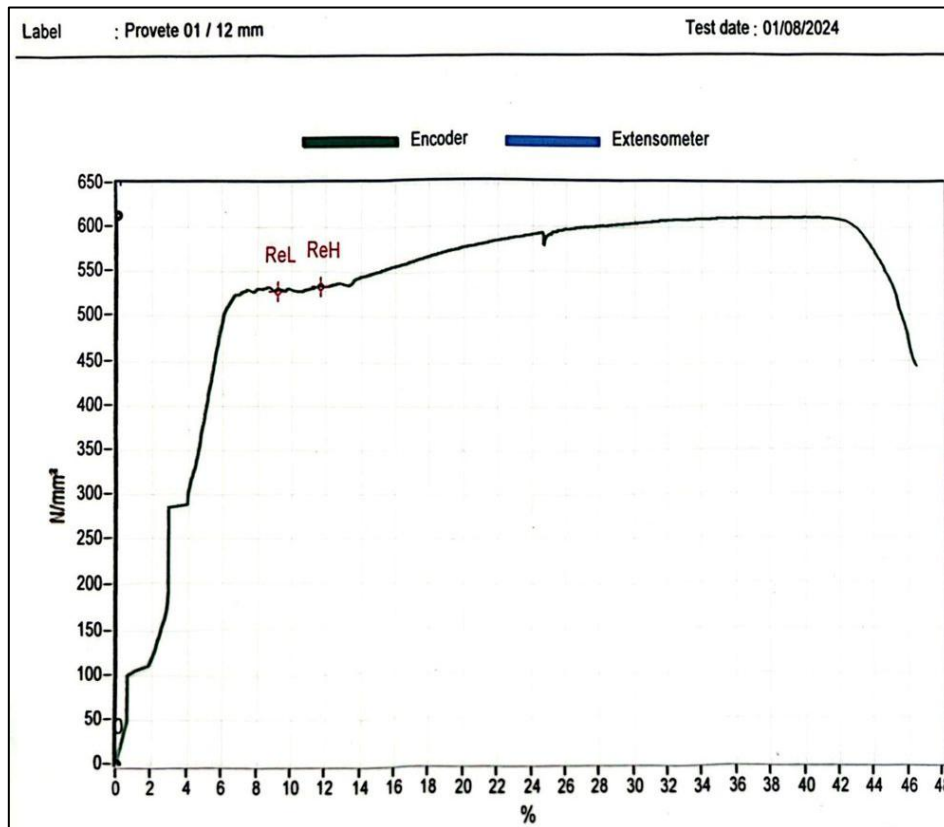
O valor elevado da resistência à tracção evidencia a capacidade do aço de suportar cargas significativas, essencial em estruturas de betão armado que precisam resistir a grandes esforços. O alto alongamento de 23,33% indica que o material é suficientemente dúctil, permitindo que ele suporte deformações antes de atingir o ponto de ruptura, o que contribui para a segurança estrutural em caso de sobrecargas ou eventos sísmicos, por exemplo.

A presença de dois limites de escoamento sugere um comportamento não homogêneo durante a deformação plástica, o que pode ser atribuído à variabilidade na microestrutura do aço. Isso requer atenção especial durante o dimensionamento das estruturas, já que a complexidade do comportamento de escoamento pode influenciar a maneira como o material responde a cargas prolongadas.

O aço nervurado sul-africano de 12 mm apresentou propriedades mecânicas que o qualificam para uso em estruturas de betão armado, com alta resistência e boa ductilidade. No entanto, o comportamento de escoamento não uniforme observado no ensaio deve ser considerado no projecto estrutural para garantir um dimensionamento adequado, que contemple as variações no comportamento do material.

O gráfico tensão-deformação resultante do ensaio de tracção proporciona uma visão clara do comportamento do material ao longo de todo o processo de carregamento (Gráfico 4).

Gráfico 4: Tensão-deformação do varão sul-africano de 12 mm



Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

A análise desse gráfico revela várias etapas críticas:

- Região Elástica: Na fase inicial, a relação entre tensão e deformação é aproximadamente linear, indicando que o material está se deformando elasticamente, ou seja, pode retornar à sua forma original se a carga for removida;
- Limite de Escoamento Superior (ReH): Este é o ponto em que o material começa a se deformar plasticamente, ou seja, as deformações tornam-se permanentes. O desvio da linearidade indica o início do escoamento, um aspecto fundamental para a avaliação de estruturas que estarão sujeitas a cargas permanentes;
- Patamar de Escoamento: Após o limite de escoamento superior, observa-se uma região quase horizontal no gráfico, na qual o material continua a se deformar plasticamente sem um aumento significativo da tensão aplicada. Este comportamento é importante para determinar o comportamento a longo prazo da estrutura;
- Limite de Escoamento Inferior (ReL): Este ponto marca o final do patamar de escoamento e o início de um aumento mais expressivo da tensão para continuar a deformação plástica;

- Região Plástica: Após o limite de escoamento inferior, a deformação aumenta de forma acentuada, reflectindo a ductilidade do aço;
- Resistência à Tracção (R_m): O ponto máximo de tensão que o material pode suportar antes de romper é identificado como a resistência à tracção.
- Estricção e Ruptura: A fase final envolve a formação de uma estricção, onde o material começa a se afunilar, concentrando tensões até a ruptura.

A presença de um comportamento complexo de escoamento, com dois limites distintos e um longo patamar, sugere uma variação estrutural no material que pode estar relacionada à sua microestrutura. Isso exige que o engenheiro considere a variabilidade ao calcular as tensões admissíveis para a aplicação do material em projectos reais.

O gráfico tensão-deformação e os resultados do ensaio demonstram que o aço nervurado de 12 mm testado possui uma combinação de alta resistência e excelente ductilidade, factores cruciais para o uso em estruturas de betão armado. No entanto, o comportamento de escoamento complexo observado exige atenção no projecto, assegurando que o material seja adequadamente dimensionado para suportar as cargas esperadas. O monitoramento constante e a consideração da variabilidade microestrutural são essenciais para garantir o desempenho e a segurança da estrutura ao longo do tempo.

4.2.3. Análise do Varão nacional

A análise detalhada do ensaio de tracção realizado em uma amostra de aço nervurado nacional de 6 mm de diâmetro fornece uma visão abrangente sobre o comportamento mecânico desse material, que é amplamente utilizado em estruturas de betão armado (Tabela 5). Este ensaio é fundamental para avaliar a adequação do material às exigências estruturais e garantir sua capacidade de suportar as tensões e deformações que ocorrem em aplicações práticas.

Tabela 5: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão nacional de 6 mm

SPECIMEN DESCRIPTION			
Test date	: 05/08/2024	Date/time received	: 31/07/2024
Label	: Provete 01 / 06 mm		
Sample	: 1		
Steel type	: Nervurado (Aço Nacional)		
Type of	: ROUND	Plain	
Lt	: 600,0	mm	Weight: 0,120 Kg
Mass	: 0,20	Kg/m	
Area	: 25,5	mm ²	
Diameter	: 5,70	mm	
Lo	: 60,0	mm	
Machined:	: Yes		
Proportional specimen	<input type="checkbox"/>		
ELONGATION MEAS. APPARATUS	: Encoder		
TEST END TEST RESULTS:			
Fm (kN)	: 14,2		
ReH (N/mm ²)	: 383,1		
ReL (N/mm ²)	: 370,0	A (%)	: 25,00 Lu (mm) : 75,0
Rm (N/mm ²)	: 559,0		

Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

O aço nervurado nacional, com diâmetro de 6 mm, foi submetido a um ensaio de tracção para determinar suas propriedades mecânicas. Este tipo de aço é comum em estruturas de betão armado, principalmente devido à sua excelente aderência ao betão e à capacidade de resistir a cargas estruturais. O objectivo do ensaio é obter informações como a resistência à tracção, limite de escoamento e ductilidade, dados essenciais para o correto dimensionamento das estruturas.

O ensaio foi realizado utilizando uma amostra cilíndrica de aço nervurado nacional, com diâmetro medido de 5,70 mm, comprimento inicial de 60 mm, seccção de 25,5 mm² e massa de 0,29 kg/m. O ensaio de tracção consistiu em aplicar uma força axial crescente na amostra até que ela rompesse. Durante o processo, foram registados dados para a construção do gráfico tensão-deformação, a partir do qual foi possível determinar várias propriedades mecânicas do material.

Os principais resultados obtidos durante o ensaio foram:

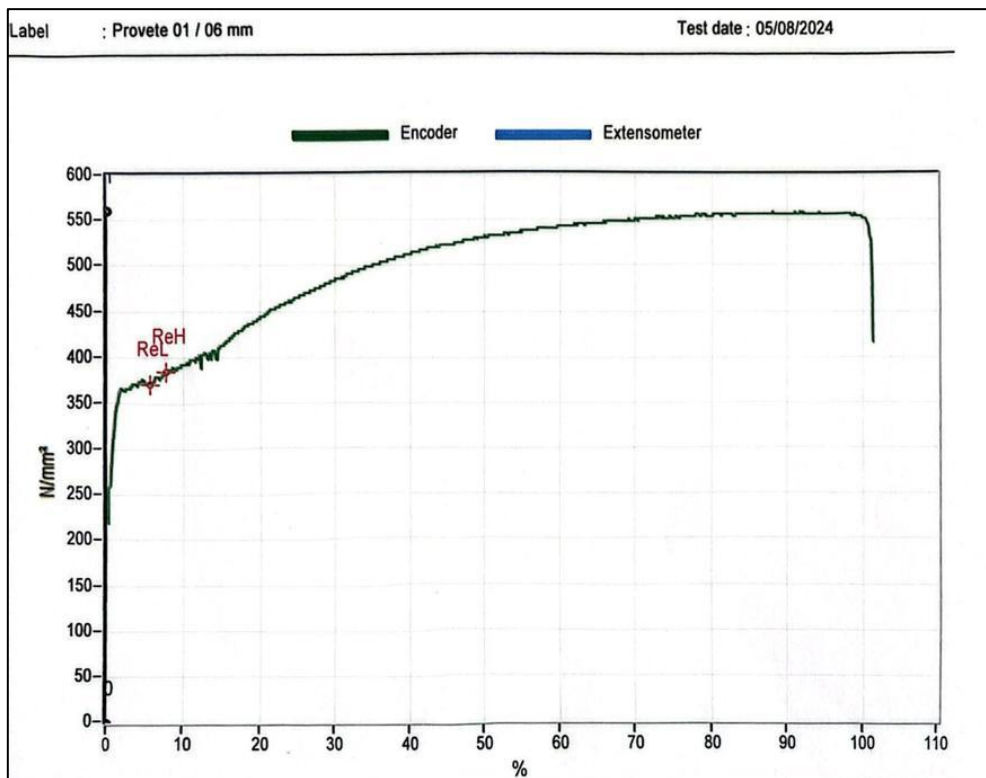
- Força Máxima (Fm): A amostra resistiu a uma força máxima de 14,2 kN antes de romper, indicando a capacidade do material de suportar cargas significativas.
- Limites de Escoamento: O aço apresentou dois limites de escoamento, conforme esperado para aços de baixa liga.
 - ReH (Upper Yield Strength): 383,1 N/mm²
 - ReL (Lower Yield Strength): 370,0 N/mm² A presença desses dois limites indica um comportamento de escoamento não uniforme, característico de certos aços, que pode estar relacionado à composição química e ao processo de fabricação do material.
- Resistência à Tracção (Rm): A resistência máxima à tracção foi de 559,0 N/mm², valor que demonstra a capacidade do aço de suportar tensões elevadas sem romper.
- Alongamento (A): O alongamento total foi de 25,00%, o que indica que o aço é altamente dúctil, permitindo deformações significativas antes de ocorrer a falha completa.

Os resultados do ensaio apontam para características desejáveis no aço nervurado nacional de 6 mm, como alta resistência e excelente ductilidade. A elevada resistência à tracção sugere que o material pode suportar cargas consideráveis sem se romper, o que é crucial para a segurança e estabilidade das estruturas de betão armado. O alongamento de 25% reforça a capacidade do aço de se deformar sem quebrar imediatamente, o que é vantajoso em situações onde se exige maior maleabilidade e absorção de energia.

O comportamento de escoamento não uniforme, reflectido pelos dois limites de escoamento (ReH e ReL), deve ser levado em consideração durante o dimensionamento das estruturas. Este comportamento pode ser influenciado por factores como a composição química do aço ou o processo de fabricação, sendo importante verificar a consistência dessas propriedades ao longo da produção.

O gráfico tensão-deformação gerado durante o ensaio fornece uma compreensão visual e detalhada do comportamento mecânico do aço nervurado de 6 mm (Gráfico 5).

Gráfico 5: Tensão-deformação do varão nacional de 6 mm



Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

A análise das diferentes regiões do gráfico revela aspectos importantes sobre o desempenho do material:

- Região Elástica: Na fase inicial do ensaio, a relação entre a tensão e a deformação foi linear, indicando que o material se deformou elasticamente e retornaria à sua forma original se a carga fosse removida;
- Limite de Escoamento Superior (ReH): Este ponto no gráfico marca o início da deformação plástica, quando o material começa a se deformar permanentemente;
- Patamar de Escoamento: Após atingir o limite de escoamento superior, o gráfico apresenta um patamar onde a tensão permanece quase constante, enquanto a deformação continua a aumentar;
- Limite de Escoamento Inferior (ReL): Após o patamar, a curva se inclina novamente, indicando o limite de escoamento inferior, a partir do qual o material continua a se deformar de maneira mais significativa;
- Região Plástica: Nesta fase, o material entra em uma deformação mais intensa com pequenos aumentos de tensão;
- Resistência à Tração (Rm): O ponto mais alto do gráfico marca a resistência máxima que o material pode suportar antes de romper;

- **Estricção e Ruptura:** Após atingir a resistência máxima, a amostra experimenta uma concentração de tensões em uma área específica, resultando em sua ruptura.

O gráfico tensão-deformação confirma que o aço nervurado nacional de 6 mm possui um comportamento típico de aços dúcteis, com uma fase elástica seguida por uma significativa fase plástica antes da ruptura. A presença de um patamar de escoamento prolongado reflecte a capacidade do material de dissipar energia durante a deformação, o que é benéfico para estruturas que sofrem com variações de carga.

O ensaio de tracção realizado no aço nervurado nacional de 6 mm de diâmetro revelou um material de alta resistência e boa ductilidade, características fundamentais para aplicações em estruturas de betão armado. Embora o comportamento de escoamento não uniforme deva ser considerado no projecto e na manutenção, o aço se mostrou adequado para uso em elementos estruturais onde a resistência e a deformação controlada são essenciais.

4.2.3.1. Análise do varão de 8 mm

O relatório examina um ensaio de tracção realizado em uma amostra de aço nervurado de produção nacional, com diâmetro de 8mm (Tabela 6). O ensaio de tracção é essencial para avaliar as propriedades mecânicas do aço, como resistência à tracção, limite de escoamento e ductilidade, todas informações cruciais para o projecto e execução de estruturas de betão armado. Essas características determinam a capacidade do material em resistir a cargas e deformações sem comprometer a segurança e integridade das construções.

Tabela 6: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão nacional de 8 mm

SPECIMEN DESCRIPTION			
Test date	: 05/08/2024	Date/time received	: 31/07/2024
Label	: Provete 01 / 08 mm		
Sample	: 1		
Steel type	: Nervurado (Aço Nacional)		
Type of	: ROUND Plain		
Lt	: 600,0 mm	Weight	: 0,200 Kg
Mass	: 0,33 Kg/m		
Area	: 42,5 mm ²		
Diameter	: 7,35 mm		
Lo	: 80,0 mm		
Machined:	: Yes		
Proportional specimen	<input type="checkbox"/>		
ELONGATION MEAS. APPARATUS	: Encoder		
TEST END TEST RESULTS:			
Fm (kN)	: 25,7		
ReH (N/mm ²)	: 420,4		
ReL (N/mm ²)	: 415,7	A (%)	: 21,25 Lu (mm) : 97,0
Rm (N/mm ²)	: 604,6		

Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

Descrição do Ensaio:

- Material: A amostra testada foi de aço nervurado nacional, conhecido por sua boa aderência ao betão em estruturas de betão armado.
- Geometria e massa da Amostra: A barra cilíndrica de aço possuía diâmetro de 7,35mm, comprimento inicial de 80 mm, seccão de 42,5 mm² e massa de 0,33 kg/m, levemente inferior ao especificado (8mm) nas tolerâncias mínimas exigidas pelo quadro II do da NM 158:2010.
- Procedimento: Durante o ensaio, a amostra foi submetida a uma força axial crescente até sua ruptura, permitindo a construção do gráfico tensão-deformação e a extracção de importantes propriedades mecânicas.
- Equipamento: Utilizado: Máquina universal de ensaios ou máquina de tração.

Os principais resultados obtidos no ensaio de tracção da barra de aço de 8mm foram os seguintes:

- Força Máxima (Fm): A amostra resistiu a uma força de 25,7 kN antes de romper, evidenciando uma alta capacidade de carga;

- Limite de Escoamento: O aço apresentou dois limites de escoamento:
 - ReH (Limite de Escoamento Superior): 420,4 N/mm²
 - ReL (Limite de Escoamento Inferior): 415,7 N/mm²
 - Esse comportamento com dois limites de escoamento é comum em aços de baixa liga, indicando variações na deformação plástica.
- Resistência à Tracção (Rm): A resistência máxima foi de 604,6 N/mm², valor elevado que sugere uma excelente resistência do aço;
- Alongamento (A): A amostra alongou-se em 21,25% antes da ruptura, revelando uma boa ductilidade.

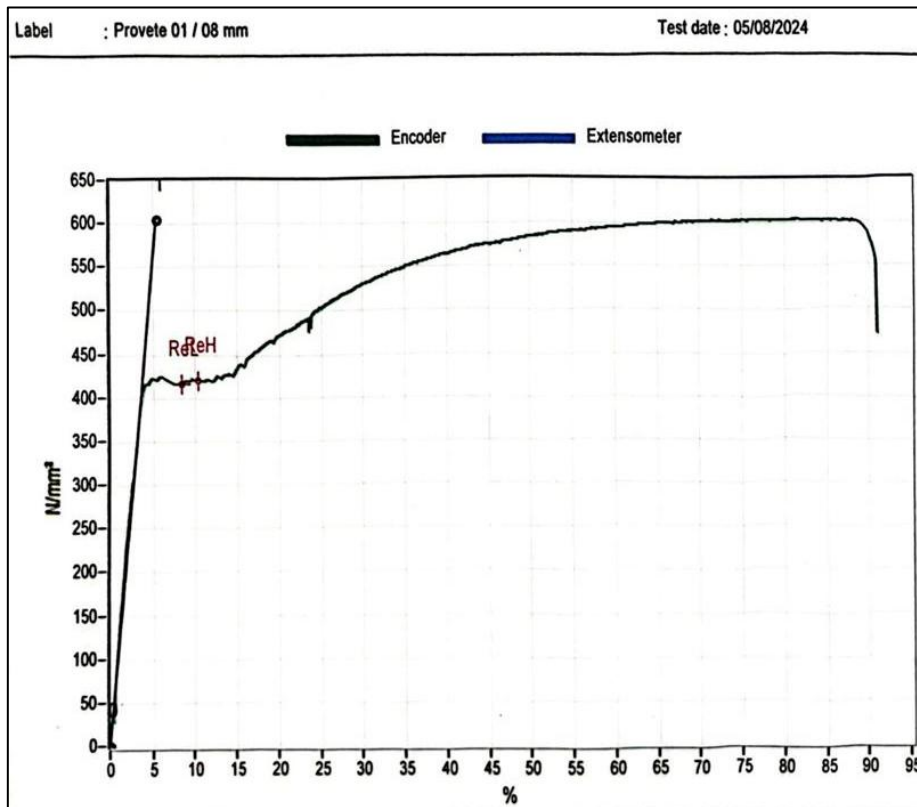
Interpretação dos Resultados:

- Alta Resistência: A resistência à tracção de 604,6 N/mm² demonstra que o aço pode suportar grandes cargas sem romper, característica crucial para a segurança estrutural.
- Boa Ductilidade: O alongamento de 21,25% é um indicativo de que o material é capaz de deformar-se substancialmente antes da ruptura, conferindo maior segurança às estruturas, uma vez que essa deformação permite absorver tensões elevadas sem colapso imediato.
- Comportamento de Escoamento: A presença de dois limites de escoamento aponta para um comportamento não uniforme do material durante a deformação plástica. Esse fenómeno pode ser atribuído a aspectos da composição química do aço, do tratamento térmico recebido ou das condições de fabricação.

O aço nervurado nacional testado exhibe propriedades mecânicas adequadas para uso em estruturas de betão armado. Sua alta resistência e ductilidade garantem que o material possa ser usado em aplicações que requerem alta performance mecânica. Contudo, o comportamento de escoamento não uniforme sugere a necessidade de atenção no dimensionamento estrutural, principalmente em situações de carga dinâmica.

O gráfico tensão-deformação gerado durante o ensaio de tracção do aço de 8mm oferece uma análise clara e detalhada do comportamento mecânico da amostra sob cargas (Gráfico 6).

Gráfico 6: Tensão-deformação do varão nacional de 8 mm



Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

A seguir, são destacados os principais pontos:

- Região Elástica: Na fase inicial, há uma relação linear entre tensão e deformação, indicando que o material se deforma de maneira reversível. Ao remover a carga, o aço retorna à sua forma original;
- Limite de Escoamento Superior (ReH): O ponto em que o comportamento linear termina marca o início da deformação plástica. Aqui, o aço começa a sofrer deformações permanentes;
- Patamar de Escoamento: Após o limite de escoamento superior, o gráfico apresenta um patamar onde a tensão permanece relativamente constante enquanto a deformação aumenta, caracterizando a fase de escoamento;
- Limite de Escoamento Inferior (ReL): O gráfico se inclina levemente após o patamar, indicando um segundo estágio de escoamento, com aumento mais expressivo da tensão conforme a deformação progride;
- Região Plástica: Nesta fase, a deformação plástica se intensifica e o material não recupera mais sua forma original. Pequenos aumentos de tensão causam grandes deformações;

- Resistência à Tracção (R_m): O ponto de maior tensão suportada pelo material antes da ruptura. Após atingir esse valor, o aço não consegue mais suportar a carga e ocorre a ruptura;
- Estricção e Ruptura: Após a resistência máxima, ocorre o estreitamento da seção do material (esticção), o que leva à concentração de tensões em um ponto, culminando na ruptura.

Interpretação dos Resultados do Gráfico:

- Comportamento do escoamento: A presença dos limites de escoamento superior e inferior, além do patamar de escoamento, indica um comportamento complexo, possivelmente relacionado à microestrutura do aço e aos processos de fabricação. Isso sugere que o aço pode não ser completamente homogêneo em sua composição, o que deve ser considerado em sua aplicação;
- Ductilidade: A presença de uma extensa região plástica confirma a boa ductilidade do material, essencial para estruturas sujeitas a cargas variáveis e impacto;
- Heterogeneidade do Material: A variação no comportamento de escoamento sugere alguma heterogeneidade, algo que pode ser investigado mais profundamente para garantir uniformidade nas propriedades mecânicas.

Em suma, o aço nervurado de 8mm produzido nacionalmente apresenta boas características mecânicas, com resistência e ductilidade satisfatórias. No entanto, as complexidades do comportamento de escoamento indicam que o material deve ser usado com cautela em projectos onde a homogeneidade do desempenho é um requisito essencial.

4.2.3.2. Análise do varão de 10 mm

O presente relatório aborda a execução de um ensaio de tracção realizado em uma barra de aço nervurado de produção nacional com diâmetro nominal de 10 mm. Este tipo de ensaio é essencial para a determinação das principais propriedades mecânicas do material, como a resistência à tracção, a ductilidade e o comportamento do limite de escoamento (Tabela 7). Tais informações são fundamentais para o correcto dimensionamento de estruturas em betão⁷ armado, garantindo segurança e eficiência no uso do aço como material estrutural.

Tabela 7: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão nacional de 10 mm

SPECIMEN DESCRIPTION			
Test date	: 05/08/2024	Date/time received	: 31/07/2024
Label	: Provete 01 / 10 mm		
Sample	: 1		
Steel type	: Nervurado (Aço Nacional)		
Type of	: ROUND	Plain	
Lt	: 600,0	mm	Weight: 0,340 Kg
Mass	: 0,57	Kg/m	
Area	: 72,2	mm ²	
Diameter	: 9,59	mm	
Lo	: 100,0	mm	
Machined:	: Yes		
Proportional specimen	<input type="checkbox"/>		
ELONGATION MEAS. APPARATUS	: Encoder		
TEST END TEST RESULTS:			
Fm (kN)	: 37,6		
ReH (N/mm ²)	: 397,3		
ReL (N/mm ²)	: 395,5	A (%)	: 23,00 Lu (mm) : 123,0
Rm (N/mm ²)	: 521,5		

Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

O ensaio foi conduzido com uma amostra de aço nervurado, material comumente utilizado em estruturas de betão armado devido à sua excelente aderência ao betão, o que melhora a eficiência das obras. A amostra ensaiada apresentava uma geometria cilíndrica com um diâmetro medido de 9,59mm e comprimento inicial de 100mm. Esse comprimento é importante, pois influencia a precisão na determinação de parâmetros como o alongamento do material.

- Durante o ensaio, a barra de aço foi submetida a uma força axial crescente, aplicada até o momento da ruptura da amostra. O equipamento utilizado foi a máquina universal de ensaios ou máquina de tracção, responsável por medir as variações de comprimento da amostra, controlar e registar a carga aplicada ao longo do ensaio. Ao final, um gráfico tensão-deformação foi gerado, permitindo a análise de diversas características mecânicas da barra de aço.

Os principais resultados obtidos no ensaio de tracção foram:

- Força Máxima (Fm): A amostra resistiu a uma força máxima de 37,6 kN antes de sua ruptura.

- Limites de Escoamento:
 - ReH (Limite de Escoamento Superior): 397,3 N/mm²
 - ReL (Limite de Escoamento Inferior): 395,5 N/mm²
 - A presença desses dois limites é comum em aços de baixa liga e reflecte um comportamento não uniforme durante o escoamento, fenómeno relevante para o projecto de estruturas.
- Resistência à Tracção (Rm): A tensão máxima suportada pelo material foi de 521,5 N/mm².
- Alongamento (A): A amostra apresentou um alongamento de 23,00% antes de se romper, o que indica uma boa capacidade de deformação, ou seja, ductilidade, fundamental para evitar falhas abruptas em estruturas de betão armado.

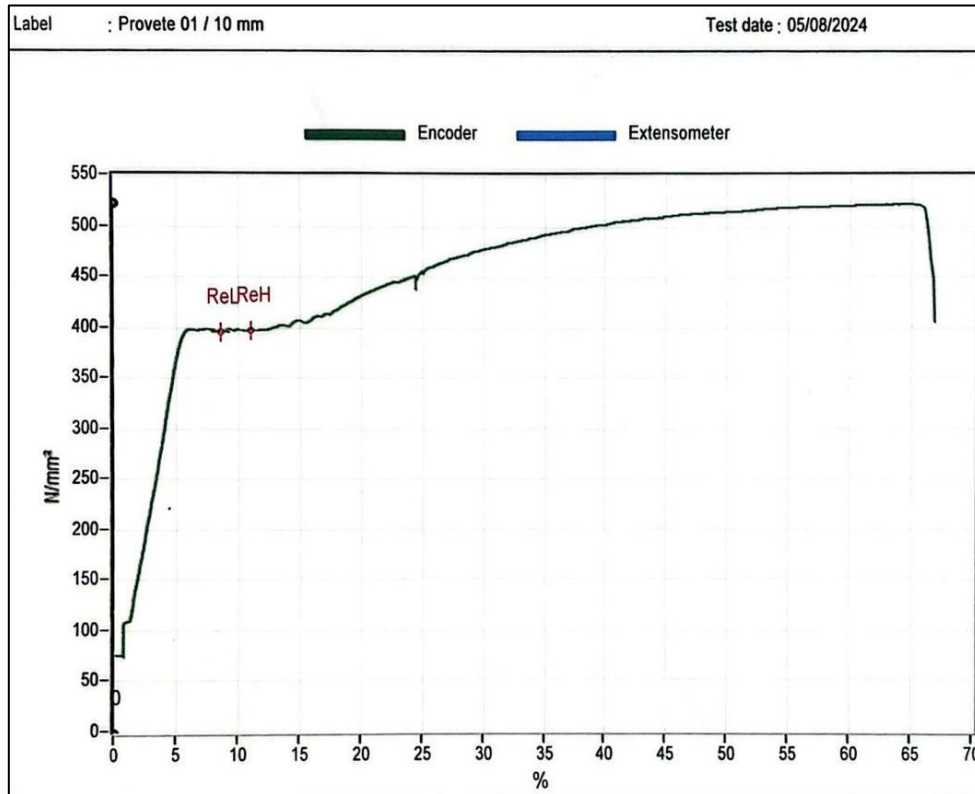
Os resultados obtidos revelam importantes propriedades mecânicas do aço nervurado nacional testado:

- Alta Resistência: A resistência à tracção de 521,5 N/mm² demonstra que o aço é capaz de suportar cargas consideráveis sem falhar, sendo adequado para uso em estruturas que demandam alta resistência;
- Boa Ductilidade: O alongamento de 23,00% é um indicativo positivo de que o material pode suportar deformações significativas antes da ruptura, comportamento desejável em elementos estruturais que devem ter capacidade de absorver deformações sem falhar de maneira frágil;
- Comportamento de Escoamento: A distinção entre o limite de escoamento superior e inferior revela um comportamento de escoamento complexo. Este aspecto pode ser influenciado por factores como a composição química e o processo de fabricação do aço, resultando em uma resposta mecânica não homogénea.

A análise dos resultados demonstra que o aço nervurado nacional com diâmetro de 10mm possui propriedades mecânicas satisfatórias para ser utilizado em estruturas de betão armado. A alta resistência à tracção, combinada com uma boa ductilidade, proporciona uma margem de segurança adequada para o desempenho estrutural. Contudo, o comportamento não uniforme de escoamento deve ser levado em consideração no dimensionamento das estruturas, especialmente em cenários onde o controle de deformações é crítico.

O gráfico tensão-deformação gerado durante o ensaio oferece uma representação detalhada do comportamento do aço sob carga, permitindo uma avaliação das fases distintas que o material atravessa até o ponto de ruptura (Gráfico 7).

Gráfico 7: Tensão-deformação do varão nacional de 10 mm



Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

A seguir, são destacados os principais pontos:

- Região Elástica: Na fase inicial do gráfico, observa-se uma relação linear entre a tensão aplicada e a deformação, indicando que, neste estágio, o aço se deforma elasticamente e retornaria à sua forma original caso a carga fosse removida.
- Limite de Escoamento Superior (ReH): O desvio da linearidade no gráfico marca o ponto de escoamento superior, onde o material começa a se deformar plasticamente, com deformações permanentes após a remoção da carga.
- Patamar de Escoamento: Após o limite superior, o gráfico atinge um patamar quase horizontal, onde a deformação plástica ocorre sem grandes variações de tensão. Este comportamento é característico de aços que exibem um comportamento de escoamento estável.

- Limite de Escoamento Inferior (ReL): Após o patamar de escoamento, o gráfico volta a apresentar um aumento na tensão até atingir o limite inferior, momento em que a deformação plástica continua de maneira mais acentuada.
- Região Plástica: Depois do limite de escoamento inferior, o material entra na fase plástica, onde as deformações aumentam de maneira significativa com menores incrementos de tensão.
- Resistência à Tração (Rm): Este é o ponto máximo de tensão que o aço suporta antes de iniciar o processo de ruptura.
- Estricção e Ruptura: Atingido o limite de resistência à tração, a amostra apresenta uma diminuição na área transversal em uma seção específica (esticção), concentrando tensões e resultando na ruptura final do material.

A presença dos dois limites de escoamento (ReH e ReL), juntamente com o patamar de escoamento, indica um comportamento mecânico complexo para este tipo de aço. Isso pode estar relacionado à microestrutura e à composição química do material. A ampla região plástica e o elevado alongamento até a ruptura reforçam a boa ductilidade, uma característica crucial para evitar falhas catastróficas em aplicações estruturais.

A análise do gráfico tensão-deformação reafirma que o aço nervurado nacional com 10mm de diâmetro possui uma boa ductilidade e resistência, qualidades essenciais para a segurança de estruturas de betão armado. No entanto, o comportamento de escoamento não uniforme e a variabilidade nas propriedades mecânicas indicam a necessidade de uma análise detalhada durante o dimensionamento e na fase de inspecção e manutenção da estrutura.

4.2.3.3. Análise do varão de 12 mm

A análise detalhada do ensaio de tração em barra de aço de 12 mm nacional envolve o estudo de um teste realizado em amostra de aço nervurado com diâmetro de 12 mm, com o intuito de avaliar suas propriedades mecânicas (Tabela 8). Esse tipo de ensaio é de extrema importância para determinar parâmetros como resistência à tração, ductilidade e limites de escoamento, que são essenciais no dimensionamento de estruturas de betão armado, onde o aço desempenha um papel fundamental como reforço.

Tabela 8: Relatório de Ensaio de Tracção do Varão nacional de 12 mm

SPECIMEN DESCRIPTION			
Test date	: 05/08/2024	Date/time received : 31/07/2024	
Label	: Provete 01 / 12 mm		
Sample	: 1		
Steel type	: Nervurado (Aço Nacional)		
Type of	: ROUND	Plain	
Lt	: 600,0	mm	Weight : 0,520 Kg
Mass	: 0,87	Kg/m	
Area	: 110,4	mm ²	
Diameter	: 11,86	mm	
Lo	: 120,0	mm	
Machined:	: Yes		
Proportional specimen	<input type="checkbox"/>		
ELONGATION MEAS. APPARATUS	: Encoder		
TEST END TEST RESULTS:			
Fm (kN)	: 68,0		
ReH (N/mm ²)	: 509,9		
ReL (N/mm ²)	: 502,6	A (%)	: 23,33 Lu (mm) : 148,0
Rm (N/mm ²)	: 615,9		

Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

A amostra utilizada no ensaio foi um aço nervurado nacional, amplamente utilizado em estruturas de betão armado devido à sua capacidade de garantir uma boa aderência ao betão. Com diâmetro nominal de 12 mm, o material foi medido com precisão e apresentou diâmetro efectivo de 11,86 mm. A amostra foi preparada com um comprimento inicial de 120 mm, de modo a garantir que o teste fosse realizado dentro das normas e condições padronizadas.

Durante o ensaio, a barra de aço foi submetida a uma força axial crescente, aplicada por meio de um equipamento de tracção. Esse procedimento foi realizado até que a amostra alcançasse seu ponto de ruptura, momento no qual se obteve o gráfico tensão-deformação, a partir do qual foram extraídas informações detalhadas sobre o comportamento mecânico do material.

Os principais resultados do ensaio de tracção são apresentados a seguir:

- Força Máxima (Fm): A barra de aço resistiu a uma carga máxima de 68,0 kN antes de romper. Esse valor é um indicativo claro da resistência do material e da sua capacidade de suportar cargas elevadas;

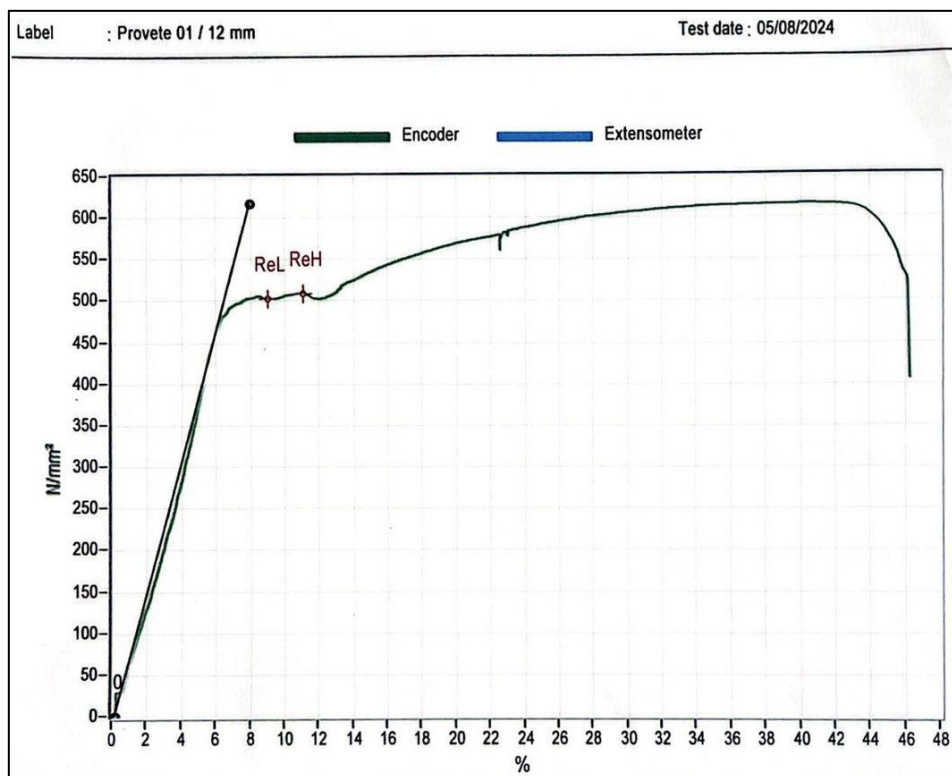
- Limites de Escoamento: O aço apresentou dois limites de escoamento:
 - ReH (*Upper Yield Strength*): 509,9 N/mm²
 - ReL (*Lower Yield Strength*): 502,6 N/mm² A presença de dois limites de escoamento é uma característica comum em aços de baixa liga e indica um comportamento não uniforme durante a fase de deformação plástica inicial.
- Resistência à Tração (Rm): O material apresentou uma resistência máxima de 615,9 N/mm², valor que representa a máxima tensão suportada pelo aço antes de sua ruptura;
- Alongamento (A): A barra de aço demonstrou uma boa ductilidade, com um alongamento total de 23,33% antes de romper, o que indica que o material possui uma capacidade significativa de deformação plástica.

A partir dos resultados obtidos, é possível extrair algumas conclusões importantes:

- Alta Resistência: O valor elevado da resistência à tração do aço indica que ele é capaz de suportar elevadas tensões antes de romper, o que é uma característica desejável para aplicações em estruturas que exigem alta capacidade de carga;
- Ductilidade Apreciável: O alongamento de 23,33% confirma que o aço apresenta uma boa ductilidade. Isso significa que ele pode se deformar de forma significativa antes da falha, permitindo uma absorção controlada de energia e conferindo maior segurança às estruturas em situações extremas, como cargas acidentais;
- Comportamento de Escoamento Não Uniforme: A presença de dois limites de escoamento (ReH e ReL) indica um comportamento de escoamento irregular, o que pode estar relacionado à composição química do aço ou ao processo de fabricação. Esse comportamento pode ter implicações no dimensionamento de elementos estruturais, devendo ser considerado no projecto.

O gráfico tensão-deformação gerado durante o ensaio oferece uma visão detalhada do comportamento mecânico da barra de aço de 12 mm (Gráfico 8).

Gráfico 8: Tensão-deformação do varão nacional de 12 mm



Fonte: Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

Esse gráfico pode ser dividido em várias regiões, cada uma representando uma fase distinta do comportamento do material sob carga.

- Região Elástica: A fase inicial do gráfico é marcada por uma relação linear entre a tensão aplicada e a deformação resultante. Nesta região, o material se comporta elasticamente, ou seja, retorna à sua forma original assim que a carga é removida;
- Limite de Escoamento Superior (ReH): Quando o material atinge o limite de escoamento superior, observa-se o primeiro ponto de desvio da linearidade no gráfico. A partir deste momento, o material começa a se deformar plasticamente, ou seja, as deformações se tornam permanentes;
- Patamar de Escoamento: Logo após o limite de escoamento superior, o gráfico apresenta um patamar quase horizontal. Este é o ponto onde a deformação plástica ocorre com um aumento muito pequeno na tensão. Durante essa fase, o material continua a se deformar sem um aumento significativo da carga;
- Limite de Escoamento Inferior (ReL): A curva volta a se inclinar após o patamar, atingindo o limite de escoamento inferior, onde a deformação plástica se intensifica com o aumento da tensão;

- Região Plástica: Na região plástica, o material passa por deformações mais intensas com aumentos menores na tensão. Essa fase indica o ponto em que o aço começa a se aproximar da sua capacidade máxima de deformação antes de romper;
- Resistência à Tracção (R_m): O ponto de máxima tensão suportada pelo material, conhecido como resistência à tracção, é o limite máximo antes do início do processo de falha;
- Estricção e Ruptura: Após a resistência à tracção, o material passa por um processo de estricção, no qual uma seção específica começa a se deformar de forma localizada, levando à ruptura final.

O ensaio de tracção em barra de aço nervurado nacional de 12 mm revela que o material possui uma excelente combinação de resistência e ductilidade, características essenciais para a aplicação em betão armado. O gráfico tensão-deformação detalha o comportamento do aço, mostrando a presença de um patamar de escoamento e a capacidade de deformação antes da ruptura. A complexidade do comportamento de escoamento sugere que uma análise mais detalhada da microestrutura pode ser benéfica para garantir a performance a longo prazo.

4.2.3.4. Ensaio de dobragem

Para a realização do ensaio de dobragem, as amostras de varão de aço foram inicialmente cortadas a 30 cm. As superfícies das amostras foram cuidadosamente verificadas para garantir que estivessem livres de impurezas, ferrugem ou outros defeitos que pudessem interferir nos resultados do teste. Em seguida, as amostras foram posicionadas na máquina de dobragem, sendo fixadas entre dois mandris, cujos diâmetros foram seleccionados de acordo com a bitola do varão. Uma força contínua foi então aplicada, promovendo a dobragem gradual do varão até que ele atingisse o ângulo de 120° (Fig. 20) conforme estabelecido para o ensaio. Após a conclusão do teste, foi realizada uma inspecção visual detalhada na região de maior deformação, onde a dobragem ocorre, para identificar possíveis fissuras, trincas ou outros tipos de falhas na superfície do material. A avaliação foi positiva para todas as amostras, que não apresentaram defeitos visíveis, confirmando que o aço testado possui uma boa capacidade de deformação sem comprometer sua integridade estrutural.

Figura 20: Máquina de dobragem



Fonte: Fotografia tirada pelo autor no Laboratório de Engenharia de Moçambique (2024)

4.2.4. Percepções sobre a durabilidade e manuseio dos varões de aço sul-africanos e nacionais

Na avaliação das percepções sobre a durabilidade e manuseio dos varões de aço sul-africanos e nacionais, foram colectadas informações detalhadas a partir de conversas realizadas com engenheiros, construtores e outros especialistas da área da construção civil nas cidades de Maputo e Matola. Esses profissionais forneceram dados importantes sobre a utilização prática dos varões nas obras, permitindo uma análise rica e fundamentada sobre os aspectos qualitativos relacionados à durabilidade e facilidade de manuseio dos dois tipos de varão.

4.2.4.1. Percepção da Durabilidade

A durabilidade do varão de aço foi um dos aspectos mais discutidos pelos entrevistados, considerando a importância desse factor na segurança e longevidade das construções. Em geral, os entrevistados apontaram diferenças importantes entre o varão sul-africano e o nacional, destacando aspectos como resistência à corrosão, manutenção de propriedades mecânicas ao longo do tempo e adequação ao clima e condições ambientais locais:

- Varão de aço sul-africano: A maioria dos profissionais considerou o varão sul-africano como superior em termos de durabilidade, apontando que este material

tem um melhor desempenho em condições climáticas adversas, como em locais de alta exposição a ambientes agressivos. Além disso, os profissionais entrevistados relataram que o aço sul-africano mostrou maior resistência à corrosão, o que o torna mais confiável para projectos em regiões costeiras, como a cidade de Maputo;

- **Varão de aço nacional:** Em contrapartida, embora o varão de aço nacional tenha sido considerado adequado para diversos tipos de obra nos ensaios laboratoriais realizados pelo autor, alguns entrevistados indicaram preocupações quanto à durabilidade, especialmente em estruturas expostas directamente às intempéries. A resistência à corrosão foi apontada como um ponto fraco em comparação com o varão sul-africano. Contudo, outros entrevistados afirmaram que, em condições de uso adequado e com protecção anticorrosiva aplicada, o desempenho do varão nacional poderia ser satisfatório.

Tabela 9: Percepções sobre a Durabilidade dos Varões de Aço (Sul-Africano vs Nacional)

Aspecto Avaliado	Varão Sul-Africano	Varão Nacional
Resistência à Corrosão	Alta	Média
Adequação para Ambientes Agressivos	Boa	Moderada
Durabilidade em Estruturas Expostas	Muito Boa	Adequada
Confiança dos Profissionais	Elevada	Moderada

Elaborado pelo autor com base nos dados das entrevistas (2024)

Os resultados revelam uma preferência clara pelo varão de aço sul-africano no que diz respeito à durabilidade, especialmente em situações críticas, como projectos em regiões com alta humidade ou exposição a agentes corrosivos.

4.2.4.2. Percepção do Manuseio

Outro ponto de destaque foi a percepção sobre o manuseio dos varões de aço. Este aspecto inclui a facilidade de transporte, corte, dobragem e instalação dos materiais em campo. As opiniões sobre esse tema variaram consideravelmente entre os profissionais, sendo que o varão nacional apresentou algumas vantagens sobre o sul-africano neste quesito:

- **Varão de aço sul-africano:** Alguns entrevistados destacaram que o varão sul-africano, embora superior em termos de durabilidade, foi percebido como mais

rígido e difícil de manusear em certas operações de dobragem e corte. No entanto, esse material foi elogiado pela consistência em suas propriedades.

- Varão de aço nacional: Em relação ao varão de aço nacional, muitos entrevistados mencionaram a sua maior flexibilidade em comparação ao varão sul-africano, o que facilita o processo de corte e de dobragem. Esse material foi também apontado como mais acessível em termos de custos operacionais, principalmente em obras menores e de menor complexidade, onde o manuseio rápido e simples é um factor decisivo.

Tabela 10: Percepções sobre o Manuseio dos Varões de Aço (Sul-Africano vs Nacional)

Aspecto Avaliado	Varão Sul-Africano	Varão Nacional
Facilidade de Dobragem	Moderada	Alta
Facilidade de Corte	Moderada	Boa
Flexibilidade no Manuseio	Baixa	Alta
Adequação para Obras Pequenas	Moderada	Boa

Elaborado pelo autor com base nos dados das entrevistas (2024)

CAPÍTULO V: ANÁLISE DE DADOS

5.1. Análise comparativa dos varões sul-africanos e nacionais

A análise comparativa entre os varões de aço sul-africanos e os nacionais (produzidos em Moçambique) revela diferenças e semelhanças importantes em termos de desempenho mecânico, composição e comportamento estrutural. Abaixo, apresenta-se uma análise aprofundada e detalhada, abordando os principais pontos observados em ambos os materiais.

5.1.1. Resistência à Tracção (Rm)

Os varões sul-africanos geralmente apresentam uma resistência à tracção ligeiramente superior em comparação aos varões nacionais. Nos ensaios realizados em barras de 6 mm a 12 mm, os varões sul-africanos mostraram resistência máxima na faixa de 612,3 a 816 N/mm², enquanto os varões nacionais mantiveram-se entre 521.5 a 615.9 N/mm². Esta diferença pode ser atribuída à composição química mais rigorosamente controlada nos processos de fabricação sul-africanos, além de possíveis diferenças nas ligas metálicas utilizadas.

No entanto, mesmo com uma resistência à tracção um pouco mais baixa, os varões nacionais ainda estão dentro dos padrões exigidos para estruturas de betão armado, garantindo desempenho adequado nas aplicações para as quais são projectados.

5.1.2. Limites de Escoamento (ReH e ReL)

Os dois tipos de aço, tanto o sul-africano quanto o nacional, apresentaram o fenómeno do duplo limite de escoamento (ReH e ReL), comum em aços de baixa liga. No entanto, a diferença se faz notar nos valores exactos desses limites. Nos varões sul-africanos, os limites de escoamento se situam levemente acima, com o ReH na faixa de 534,1 a 584,3 N/mm² e o ReL entre 528,1 e 580,0 N/mm². Em contraste, os varões nacionais apresentam limites de escoamento levemente inferiores, ReH entre 383,1 e 509,9 N/mm² e o ReL entre 370 e 502,6 N/mm².

Essa diferença pode ser atribuída a factores como o controle de temperatura no processo de fabricação, o resfriamento e a composição química dos materiais. Os varões sul-africanos podem ter uma vantagem nesse aspecto por apresentarem um comportamento

de escoamento um pouco mais elevado, o que pode ser vantajoso em algumas aplicações que exijam maior resistência a cargas progressivas.

5.1.3. Ductilidade (Alongamento)

No quesito ductilidade, os varões nacionais se destacam levemente, com um alongamento médio em torno de 21,25% a 25% antes da ruptura, enquanto os sul-africanos tendem a apresentar alongamento entre 20% e 23.33%. Essa maior capacidade de deformação dos varões nacionais indica que eles podem suportar deformações mais significativas antes da falha, o que é um ponto positivo, especialmente em situações onde a segurança estrutural sob condições de carga extrema ou imprevisível é prioritária.

A maior ductilidade nos varões nacionais pode estar associada a uma maior proporção de elementos como o carbono e o manganês, que conferem maior plasticidade ao aço, permitindo que a estrutura se deforme de maneira mais controlada e previsível antes de qualquer colapso.

5.1.4. Patamar de Escoamento e Comportamento de Escoamento

Ambos os varões, tanto sul-africanos quanto nacionais, exibem um patamar de escoamento bem definido, uma característica comum nos aços de baixa liga. Esse patamar de escoamento indica que, após o início da deformação plástica, o material mantém um comportamento relativamente constante antes de atingir a ruptura. Nos varões sul-africanos, esse patamar tende a ser mais estável e prolongado, enquanto nos varões nacionais pode haver uma pequena variação na curva de tensão-deformação, sugerindo uma leve heterogeneidade no material.

O comportamento de escoamento mais estável dos varões sul-africanos pode ser atribuído a um controle de qualidade mais rigoroso no processo de fabricação, garantindo uma homogeneidade microestrutural mais uniforme. Nos varões nacionais, a variação observada no comportamento de escoamento pode reflectir pequenas diferenças na microestrutura ou composição do aço, o que pode impactar a precisão do dimensionamento estrutural em determinadas situações.

5.1.5. Custo e Disponibilidade

Um factor importante na escolha entre varões sul-africanos e nacionais é o custo e a disponibilidade. Os varões nacionais tendem a ser mais acessíveis em termos de custo,

devido à proximidade dos fornecedores e à ausência de tarifas de importação, além de custos logísticos mais baixos. Por outro lado, os varões sul-africanos, apesar de apresentarem ligeira superioridade técnica, podem ser mais caros, especialmente quando há necessidade de importação em grandes volumes.

5.1.6. Implicações para o Dimensionamento e Projecto Estrutural

A comparação entre os varões de aço sul-africanos e nacionais mostra que, apesar das pequenas diferenças de desempenho mecânico, ambos os materiais atendem aos requisitos normativos e são adequados para o uso em estruturas de betão armado. Os varões sul-africanos oferecem uma leve vantagem em termos de resistência à tracção e homogeneidade do comportamento de escoamento, enquanto os varões nacionais se destacam pela maior ductilidade e custo-benefício, tornando-os uma escolha eficiente e segura para a construção civil em Moçambique. A escolha entre um e outro dependerá, em última instância, dos requisitos específicos do projecto e da disponibilidade de recursos financeiros e logísticos.

A tabela a seguir (Tabela 11) resume a análise comparativa detalhada dos varões de aço sul-africanos e nacionais nas bitolas de 6 mm, 8 mm, 10 mm e 12 mm. Essa tabela destaca os principais parâmetros de comparação entre os varões sul-africanos e nacionais, permitindo uma visão clara das diferenças entre os dois em termos de resistência e ductilidade.

Tabela 11: Análise comparativa dos varões de aço sul-africanos e nacionais

Critério	Varão de 6 mm	Varão de 8 mm	Varão de 10 mm	Varão 12 mm
Resistência à Tracção (Rm)	Sul-africano: 816,1 N/mm ² Nacional: 559 N/mm ²	Sul-africano: 625,5 N/mm ² Nacional: 604,6 N/mm ²	Sul-africano: 658,7 N/mm ² Nacional: 521,5 N/mm ²	Sul-africano: 612,3 N/mm ² Nacional: 615,9 N/mm ²
Limite de Escoamento (ReH)	Sul-africano: 719 N/mm ² Nacional: 383,1 N/mm ²	Sul-africano: 562,5 N/mm ² Nacional: 420,4 N/mm ²	Sul-africano: 584,3 N/mm ² Nacional: 397,3 N/mm ²	Sul-africano: 534,1 N/mm ² Nacional: 509,9 N/mm ²
Limite de Escoamento (ReL)	Sul-africano: N/mm ² Nacional: 370 N/mm ²	Sul-africano: 543,9 N/mm ² Nacional: 415,7 N/mm ²	Sul-africano: 580 N/mm ² Nacional: 521,5 N/mm ²	Sul-africano: 528,1 N/mm ² Nacional: 502,6 N/mm ²
Ductilidade (Alongamento)	Sul-africano: 20% Nacional: 25%	Sul-africano: 20% Nacional: 21.25%	Sul-africano: 21% Nacional: 23%	Sul-africano: 23.3% Nacional: 23,33%
Conclusão	Varões sul-africanos são mais resistentes, mas nacionais têm melhor ductilidade.	Varões sul-africanos têm maior resistência, mas nacionais são mais dúcteis.	Varões sul-africanos são mais fortes, e nacionais se deformam mais.	Varões sul-africanos são mais resistentes, enquanto nacionais oferecem maior ductilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da pesquisa (2024)

A análise comparativa dos varões de aço sul-africanos e nacionais nas bitolas de 6 mm, 8 mm, 10 mm e 12 mm revela nuances importantes no desempenho mecânico, variando em resistência, ductilidade e comportamento durante o ensaio de tracção.

A análise comparativa dos varões de aço sul-africanos e nacionais revela que, em todas as bitolas (6 mm, 8 mm, 10 mm e 12 mm), os varões sul-africanos apresentam uma leve superioridade em termos de resistência à tracção e limite de escoamento, sugerindo um controle de qualidade mais rigoroso e um processo de fabricação mais homogéneo. Por outro lado, os varões nacionais se destacam pela sua maior ductilidade, o que é um ponto positivo em situações onde a capacidade de deformação é uma prioridade.

Embora as diferenças de desempenho entre os varões sul-africanos e nacionais sejam pequenas, elas podem influenciar a escolha do material dependendo das necessidades específicas do projecto. Se a prioridade for resistência mecânica e comportamento

previsível sob cargas altas, os varões sul-africanos são a melhor escolha. No entanto, para projectos que exigem maior capacidade de deformação antes da ruptura, os varões nacionais oferecem uma vantagem considerável, além de serem, geralmente, mais económicos.

Assim, a escolha entre varões sul-africanos e nacionais deve ser cuidadosamente considerada com base nas especificidades de cada projecto, equilibrando custo, disponibilidade e as exigências técnicas de cada obra.

5.1.7. Elaborado pelo autor com base nos dados das entrevistas (2024)

De maneira geral, os profissionais da construção civil nas cidades de Maputo e Matola demonstraram uma preferência pela utilização do varão sul-africano em projectos de grande escala ou em condições ambientais desafiadoras, devido à sua alta durabilidade e consistência nas propriedades. No entanto, em obras menores ou em situações que demandam maior flexibilidade no manuseio do material, o varão nacional foi visto como uma opção mais viável.

Essa combinação de percepções fornece um quadro claro de que a escolha entre os dois tipos de varão de aço depende directamente das necessidades específicas de cada projecto. Para obras de maior complexidade, o desempenho superior do varão sul-africano justifica seu uso, enquanto para projectos mais simples, o varão nacional oferece uma opção mais acessível e prática.

5.2. Discussão dos resultados

A avaliação da qualidade dos varões de aço sul-africanos e nacionais, no contexto das cidades de Maputo e Matola, insere-se numa problemática mais ampla relacionada à selecção de materiais de construção civil com base em parâmetros de resistência, durabilidade e conformidade técnica. Os varões de aço são fundamentais na construção civil moderna, especialmente em estruturas de betão armado, cuja integridade depende directamente da qualidade do aço utilizado (Callister, 2014).

Uma das principais áreas de discussão neste estudo é a avaliação das propriedades mecânicas dos varões de aço, especificamente a resistência à tracção, o limite de escoamento e a ductilidade. Segundo Duggal (2008), o aço deve apresentar um comportamento elástico para suportar cargas sem deformações permanentes, mas também uma transição eficiente para o comportamento plástico em situações de sobrecarga. A

resistência à tracção, que mede a capacidade do material de suportar forças sem se romper, foi um dos parâmetros que demonstraram superioridade nos varões sul-africanos. Estudos como o de Nawy (2010) apontam que a maior resistência à tracção está directamente associada à qualidade do processo de produção do aço, desde a sua composição química até os processos de laminação a quente.

Os resultados obtidos demonstram que os varões de aço sul-africanos possuem uma maior resistência à tracção em comparação aos nacionais, o que sugere que a qualidade do aço produzido na África do Sul é, em média, mais elevada. Amstrong (2013) argumenta que factores como a qualidade da matéria-prima e os avanços tecnológicos nas fábricas sul-africanas contribuem para essa superioridade. No entanto, vale destacar que a resistência à tracção, embora crucial, não é o único parâmetro de avaliação. A ductilidade, ou a capacidade do material de se deformar antes da ruptura, foi significativamente maior nos varões nacionais, conforme apontado no estudo. Zuo e Darwin (2014) defendem que a ductilidade é essencial para o desempenho de estruturas sujeitas a vibrações e cargas cíclicas, como é o caso de áreas sísmicas ou com intensa actividade urbana.

Outro ponto central desta discussão envolve o limite de escoamento dos materiais, que define a tensão máxima que o aço pode suportar antes de se deformar permanentemente (Baker, 2011). Os varões sul-africanos, conforme analisado, apresentaram um limite de escoamento superior, o que indica uma maior capacidade de suportar cargas pesadas sem apresentar falhas estruturais prematuras. Chen e Han (2007) sugerem que varões com alto limite de escoamento são preferíveis em projectos de grande envergadura, como pontes e arranha-céus, onde a integridade estrutural é vital para a segurança pública.

Por outro lado, Neville (2010) argumenta que a presença de ductilidade elevada, como observada nos varões nacionais, pode ser igualmente importante em determinadas situações. Em estruturas sujeitas a deformações cíclicas, como edifícios em zonas sujeitas a ventos fortes ou sismos, a capacidade de absorção de energia proporcionada por materiais mais dúcteis é essencial. Assim, os varões nacionais, embora menos resistentes à tracção, podem ser vantajosos em contextos onde a flexibilidade e a capacidade de deformação são priorizadas, garantindo que a estrutura tenha tempo suficiente para dissipar as tensões sem falhar de forma abrupta.

A análise de percepções sobre o manuseio e durabilidade dos varões de aço também oferece uma dimensão prática importante para a discussão. Ashby (2012) sugere que a

durabilidade dos materiais de construção não se baseia apenas em suas propriedades mecânicas intrínsecas, mas também em como esses materiais reagem ao ambiente em que são usados. Os entrevistados revelaram uma preferência pelos varões sul-africanos em ambientes agressivos, como áreas costeiras, onde a resistência à corrosão é crítica para a durabilidade das estruturas. Este aspecto é respaldado por Timoshenko (2009), que defende que varões de aço com melhor composição química e processos de revestimento anticorrosão apresentam desempenho superior em ambientes corrosivos.

Por outro lado, os varões nacionais foram elogiados pela sua facilidade de manuseio e adaptação no campo, uma qualidade que, segundo Mills (2015), é frequentemente subestimada no processo de selecção de materiais. Em projectos que envolvem modificações frequentes nas obras, como reparações ou ampliações, a facilidade de corte e dobra dos varões pode ser um diferencial importante. Além disso, a percepção de flexibilidade e facilidade de instalação faz dos varões nacionais uma escolha preferida para pequenos empreendimentos e construções com prazos mais curtos.

No contexto da construção civil, a conformidade dos varões de aço com normas internacionais é um factor de grande importância. Smith (2017) enfatiza que a padronização, como a estabelecida pela ISO 6935-2:2019, é essencial para garantir que os materiais usados atendam a requisitos mínimos de qualidade, independentemente de sua origem. Durante o estudo, observou-se que tanto os varões sul-africanos quanto os nacionais cumprem com essas normas, mas a variabilidade nos níveis de resistência à tracção e ductilidade sugere que a fiscalização da conformidade com os padrões pode ser menos rigorosa no mercado nacional.

A escolha entre varões de aço sul-africanos e nacionais, conforme discutido, deve ser feita levando-se em consideração as especificidades de cada projecto. Griffith (2016) destaca que, em projectos onde a carga de trabalho é elevada e as exigências estruturais são extremas, a resistência à tracção e o limite de escoamento elevados dos varões sul-africanos podem ser essenciais para garantir a integridade da construção. No entanto, em estruturas sujeitas a deformações e movimentos, a ductilidade superior dos varões nacionais pode oferecer maior segurança a longo prazo, reduzindo o risco de falhas repentinas.

CAPÍTULO VI: CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusão

Este estudo avaliou a qualidade dos varões de aço nacionais e sul-africanos nas cidades de Maputo e Matola, em 2024, destacando suas propriedades físicas e mecânicas essenciais para a construção civil. Os varões sul-africanos demonstraram melhor resistência à tracção e limites de escoamento, enquanto os varões nacionais se destacaram pela maior ductilidade, sendo mais flexíveis e adequados a estruturas sujeitas a vibrações. Embora os varões sul-africanos sejam superiores em resistência, os nacionais são preferidos pela sua facilidade de manuseio.

Durante o estudo, foram examinadas as propriedades físicas e mecânicas dos varões de aço de diferentes bitolas (6 mm, 8 mm, 10 mm e 12 mm), conforme padrões internacionais de qualidade. As comparações feitas entre os produtos sul-africanos e nacionais revelaram diferenças importantes em parâmetros críticos como resistência à tracção, limite de escoamento e ductilidade.

O estudo conclui que a escolha entre os dois deve depender das necessidades específicas de cada projecto, e recomenda pesquisas adicionais sobre a variabilidade das propriedades ao longo do tempo, contribuindo para a melhoria das práticas de construção e o desenvolvimento sustentável nas cidades de Maputo e Matola.

Se o foco estiver na resistência máxima à tracção e em suportar cargas elevadas, o varão sul-africano pode ser a escolha preferida, oferecendo maior segurança em situações extremas. Por outro lado, se a capacidade de deformação e absorção de tensões for priorizada, o varão nacional, com sua melhor ductilidade, pode ser mais indicado, especialmente em estruturas sujeitas a movimentos ou vibrações.

6.2. Recomendações

Com base nas análises realizadas e nos resultados observados, foram formuladas as seguintes recomendações para otimizar os processos, melhorar a qualidade e mitigar os problemas identificados:

- Investir em pesquisas de desenvolvimento que podem levar à descoberta de novos métodos de fabricação ou ligas de aço que aumentem a resistência à tracção e os limites de escoamento, sem comprometer a ductilidade. Isso pode envolver a

adição de ligas específicas ou o ajuste da composição química do aço para melhorar suas propriedades mecânicas;

- Já foi comprovado neste estudo que, apesar de os varões de aço sul-africanos apresentarem uma superioridade em termos de resistência à tracção e limites de escoamento, os varões nacionais se destacam pela sua maior ductilidade e flexibilidade, características importantes para a segurança das estruturas. Dessa forma, é fundamental promover o bom nome do varão nacional, destacando seus pontos fortes e o seu papel crucial na construção civil local;
- Promover programas de capacitação técnica para os profissionais da construção civil, garantindo que engenheiros, arquitectos e trabalhadores compreendam melhor as especificidades dos materiais utilizados, como varões de aço, e suas implicações para a segurança e durabilidade das estruturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Institute of Steel Construction. (2016). *Manual of Steel Construction*. Chicago: American Institute of Steel Construction.

Amstrong, D. (2013). *Steel production and structural integrity*. Engineering Materials Journal.

Ashby, M. (2012). *Materials selection in mechanical design*. Butterworth-Heinemann.

Baker, A. (2011). *Strength of Materials*. Springer.

Bento, D. B. P. (2014). *Aço em varão para betão armado - Caracterização do material e enquadramento actual*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. ISEL.

Callister, W. (2014). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John Wiley & Sons.

Chen, W. F., & Han, D. J. (2007). *Plasticity for structural engineers*. Springer.

CMM. (2024). Disponível em: <http://www.cmmaputo.gov.mz/?page_id=119#>. Acesso em: 03 jul. 2024.

Coutinho, J. S. (2004). *Apontamentos Materiais de Construção 1 – ‘Capítulo 2 – O aço para betão armado’*. FEUP, Porto.

Coutinho, J. S. (2005). *Apontamentos Materiais de Construção 1*. FEUP, Porto.

Duggal, S. K. (2008). *Building materials*. New Age International.

Filho, C. H. M. A. (2004): *Análise da Influência da Taxa de Resfriamento no Gradiente Microestrutural de Barras Laminadas a Quente Tratadas Termicamente*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba. Brasil.

Griffith, P. (2016). *Structural Engineering and Materials*. Pearson.

Lourenço, J. P. F. (2012). *Estudo do comportamento de varões de aço para betão obtidos através do processo “Tempcore”*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

Mendes, R. A. C. (2016). *Ductilidade das Armaduras de Aço para Betão Armado: Influência do Método de Ensaio na Determinação da Extensão Total na Força Máxima*. Dissertação submetida no Instituto Politécnico de Setúbal para obtenção do grau de

Mestrado em Engenharia Civil, Área de Especialização: Estruturas. Instituto Politécnico de Setúbal. Setúbal.

Mills, R. (2015). *Construction project management*. McGraw Hill.

Nawy, E. G. (2010). *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*. Prentice Hall.

Neville, A. M. (2010). *Properties of Concrete*. Pearson Education.

Portal do Governo da Província de Maputo. 2018. Disponível em: <<https://www.pmmaputo.gov.mz/>>. Acesso em: 03 jul. 2024.

Relatório 331/2009 - DE/NCE (2009). *Avaliação das incertezas associadas aos resultados dos ensaios de tração realizados no Laboratório de Ensaios de Produtos Metálicos*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

LEM. 2017. “CADERNO DE ENCARGOS DE CONTROLO DE QUALIDADE DE MATERIAIS.” 2017. <http://www.lem.co.mz/Caderno-de-Encargos-de-Materiais.pdf>.

Rocha, J. (2009). *Aços de Ductilidade Especial em Estruturas de Betão Armado – Aplicação ao Dimensionamento de Ponte Rodoviária*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 6935-2:2019 – Steel for the reinforcement of concrete – part2: Ribbed bars*. Geneva: ISSO, 2019.

Santos, D. B. F., Almeida, I. G. S & Cruz, C. P. T. (2022). *Estudo Comparativo Entre os Vergalhões de Aço e Polímero Reforçado com Fibra de Vidro*. Artigo apresentado à Universidade Potiguar, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Smith, J. (2017). *ISO Standards for Construction*. International Standards Organization.

Timoshenko, S. P. (2009). *Mechanics of Materials*. Prentice Hall.

Zuo, J., & Darwin, D. (2014). *Steel Reinforcement in Concrete*. ASCE Publications.