

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DA RIGIDEZ ESTÁTICA E DINÂMICA EM SUBCABOS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CLAUDIO OMAR ANDRADE KUCHARSKI

RIO GRANDE, RS
2024

CLAUDIO OMAR ANDRADE KUCHARSKI

ESTUDO DA RIGIDEZ ESTÁTICA E DINÂMICA EM SUBCABOS

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, como requisito para a obtenção do título de “Mestre em Engenharia de Mecânica”.

Área de Concentração: Materiais Sintéticos

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Marcos Guilherme

Co-orientador: Prof. Dr. Felipe TempelStumpf

RIO GRANDE, RS

2024

Ficha Catalográfica

K95e Kucharski, Claudio Omar Andrade.
Omar Estudo da rigidez estática e dinâmica em subcabos / Claudio
Andrade Kucharski. – 2024.
65 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande –
FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Rio
Grande/RS, 2024.

Orientador: Dr. Carlos Eduardo Marcos Guilherme.
Coorientador: Dr. Felipe Tempel Stumpf.

1. Material sintético 2. alongamento 3. Deformação I. Guilherme,
Carlos Eduardo Marcos II. Stumpf, Felipe Tempel III. Título.

CDU 621

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
PPMec



Ata nº **5/2024** da Defesa de Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Aos vinte e nove dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e quatro, foi instalada a Banca de Defesa de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, às nove horas, online via web conferência, a que se submeteu o mestrando **Claudio Omar Andrade Kucharski**, nacionalidade brasileira, dissertação ligada a Linha de Pesquisa Engenharia de soldagem e materiais, com o seguinte título: **Estudo Experimental em Subcabos**. Referendada pela Câmara Assessora do Curso, os seguintes Professores Doutores: Carlos Eduardo Marcos Guilherme, Luciano Volcanoglo Biehl, e a convidada Amanda Oliveira sob a presidência do Professor Carlos Eduardo Marcos Guilherme. Analisando o trabalho, os Professores da Banca Examinadora o consideraram:

1. Carlos Eduardo Marcos Guilherme: Aprovado
2. Luciano Volcanoglo Biehl: Aprovado
3. Amanda Oliveira: Aprovado

Foi concedido um prazo de 30 dias para o candidato efetuar as correções sugeridas pela Comissão Examinadora (anexo) e apresentar o trabalho em sua redação definitiva, sob pena de não expedição do Diploma. A ata foi lavrada e vai assinada pelos membros da Comissão.

Assinaturas:

1.

CPF: 732.846.700-25



Documento assinado digitalmente
CARLOS EDUARDO MARCOS GUILHERME
Data: 04/03/2024 16:34:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

2.

CPF: 575.195.100-00



Documento assinado digitalmente
LUCIANO VOLCANOGLO BIEHL
Data: 08/03/2024 08:57:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

3.

CPF: 012.372.664-67



Documento assinado digitalmente
AMANDA DANTAS DE OLIVEIRA
Data: 04/03/2024 17:14:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



Documento assinado digitalmente
CLAUDIO OMAR ANDRADE KUCHARSKI
Data: 12/03/2024 14:34:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Claudio Omar Andrade Kucharski: _____

ESTUDO DA RIGIDEZ ESTÁTICA E DINÂMICA EM SUBCABOS

RESUMO

A pesquisa apresenta um estudo sobre o comportamento de cabos de ancoragem sintéticos destinados a estruturas offshore. Nas últimas décadas, a utilização de materiais sintéticos para a construção de cabos para a fixação de plataformas em águas ultraprofundas se tornou de extrema importância. No passado, o sistema empregado para ancorar estruturas offshore era composto por cabos e correntes de aço, tornando impossível a sua aplicação em águas profundas devido ao elevado peso que comprometeria a fluidez da plataforma. Nos dias atuais, a principal pergunta é: Qual é o tempo de vida de um cabo de ancoragem? Com base nessa pergunta foi proposto um estudo sobre as alterações da rigidez estática, da rigidez dinâmica e do alongamento de subcabos sujeitos a um teste específico. O teste consistiu em cinco repetições de um procedimento baseado em carregamentos reais, com um intervalo mínimo de 4 horas entre cada repetição. Foram utilizadas três amostras de subcabos de diferentes materiais (poliéster, HMPE e vectran). Como resultado, os comportamentos da rigidez estática e dinâmica se mostraram diferentes para cada material, assim como o comportamento do alongamento. O estudo ainda demonstra que, para uma compreensão mais profunda dos comportamentos, existe a necessidade de aumentar o número de amostras e de repetições do teste.

Palavras-chave: Material sintético, alongamento, deformação

STUDY OF STATIC AND DYNAMIC STIFFNESS IN SUBROPES

ABSTRACT

The research presents a study on the behavior of synthetic mooring ropes intended for offshore structures. In recent decades, the use of synthetic materials to construct ropes for mooring platforms in ultra-deep waters has become extremely important. In the past, the system used to anchor offshore structures was made up of steel cables and chains, making their application in deep waters impossible due to the high weight that would compromise the platform's buoyancy. Nowadays, the main question is: What is the lifespan of a mooring rope? Based on this question, a study was proposed on changes in static stiffness, dynamic stiffness and elongation of subropes subjected to a specific test. The test consisted of five repetitions of a procedure based on real loads, with a minimum interval of 4 hours between each repetition. Three samples of subropes made of different materials (polyester, HMPE, vectran) were used. As a result, the static and dynamic stiffness behaviors were different for each material, as was the elongation behavior. The study also demonstrates that, for a deeper understanding of the behaviors, there is a need to increase the number of samples and test repetitions.

Keywords: Synthetic material, elongation, deformation.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação dos Sistemas de Ancoragem	16
Figura 2 - Tenacidade de tipos de multifilamentos.....	17
Figura 3 - Representação esquemática de um cabo de ancoragem	18
Figura 4 - Comparação do sistema catenária x taut-leg	18
Figura 5 - Ensaio de Rigidez de acordo norma ABNT ISO/TS 14909 2013.	24
Figura 6 – Fluxograma experimental.....	26
Figura 7 - Subcabos de HMPE, Vectran e Poliéster.....	27
Figura 8 - Gráfico representativo do ensaio proposto	29
Figura 9 - Identificação espaços disponíveis das amostras	29
Figura 10 - Extensômetro Linear.	30
Figura 11 - Etapas utilizadas para o cálculo da rigidez estática.	31
Figura 12 - Etapas utilizadas para o cálculo de rigidez dinâmica	31
Figura 13 - Verificação da Amostra	32
Figura 14 - Colocação no tanque de água.	33
Figura 15 - Fixação distante da construção dos olhais lado célula.	34
Figura 16 - Fixação distante da construção dos olhais lado cilindro.	34
Figura 17 - Instalação dos extensômetros	35
Figura 18 - Instalação do sistema de molhamento.....	35
Figura 19 - Imagem do equipamento de ensaio.....	39
Figura 20 – Distribuição Bibliográfica	65
Figura 21 – Distribuição por Qualis	65
Figura 22 – Distribuição por Datas	65

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Alongamento e porcentagem do comprimento – HMPE.	42
Tabela 2 - Aumento das mãos e região central – HMPE.	43
Tabela 3 - Alongamento do subcabo de HMPE	43
Tabela 4 - Valores de Rigidez da amostra de HMPE	45
Tabela 5 - Alongamento e porcentagem do comprimento – VECTRAN.....	48
Tabela 6 - Aumentos das mãos e região central – VECTRAN.....	49
Tabela 7 - Alongamento do subcabo de VECTRAN.....	49
Tabela 8 - Valores de Rigidez da amostra de VECTRAN	51
Tabela 9 - Alongamento e porcentagem do comprimento – POLIÉSTER.....	54
Tabela 10 - Aumento das mãos e região central – POLIÉSTER.....	54
Tabela 11 - Alongamento do subcabo de POLIÉSTER.....	55
Tabela 12 - Valores de Rigidez da amostra de POLIÉSTER	57

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Deformação da amostra de HMPE	41
Gráfico 2 - Alongamento da amostra de HMPE.	42
Gráfico 3 - Rigidez da amostra de HMPE	44
Gráfico 4 - Deformação da amostra de VECTRAN	47
Gráfico 5 - Alongamento da amostra de VECTRAN.....	47
Gráfico 6 - Rigidez da amostra de VECTRAN.....	50
Gráfico 7 - Deformação da amostra de POLIÉSTER	52
Gráfico 8 - Alongamento da amostra de POLIÉSTER.....	53
Gráfico 9 - Rigidez da amostra de POLIÉSTER.....	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 SISTEMAS DE ANCORAGEM PERMANENTES COM CABOS DE FIBRA SINTÉTICA.....	15
2.2 PRINCIPAIS FIBRAS UTILIZADAS PARA A CONSTRUÇÃO DE CABOS	16
2.3 CABOS DE ANCORAGEM CONFECCIONADOS EM FIBRA SINTÉTICA	17
2.4 CONSTRUÇÃO DA TERMINAÇÃO DE UM CABO DE ANCORAGEM.....	19
2.5 COMPORTAMENTO MECÂNICO	20
2.6 DEGRADAÇÃO MECÂNICA	21
2.6.1 ENSAIO DE FADIGA	22
2.6.2 ENSAIO DE RIGIDEZ QUASE ESTÁTICA E DINÂMICA	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 MATERIAIS	27
3.2 MÉTODOS.....	28
3.2.1 PREPARAÇÃO	32
3.2.2 EXECUÇÃO DO ENSAIO	36
3.2.3 COLETA DE DADOS	38
4. ANALISE DOS RESULTADOS	40
4.1 HMPE	40
4.1.1 DEFORMAÇÃO HMPE	40
4.1.2 ALONGAMENTO HMPE	41
4.1.3 RIGIDEZ HMPE	44

4.2 VECTRAN.....	46
4.2.1 DEFORMAÇÃO VECTRAN	46
4.2.2 ALONGAMENTO VECTRAN	47
4.2.3 RIGIDEZ VECTRAN	49
4.3 POLIÉSTER.....	52
4.3.1 DEFORMAÇÃO POLIÉSTER	52
4.3.2 ALONGAMENTO POLIÉSTER	53
4.3.3 RIGIDEZ POLIÉSTER	55
5. CONCLUSÃO.....	58
7. REFERÊNCIAS.....	61

1.INTRODUÇÃO

Uma das principais fontes de energia utilizada pela humanidade é petróleo, e no Brasil sua principal localização de exploração está em alto mar. A obtenção desta matéria prima é possível através da utilização de plataformas, e nos dias atuais já se encontram em profundidades que ultrapassam os 1000 metros. As plataformas de petróleo até o início da década de 90 eram ancoradas com o sistema de cabos de aço e correntes, sendo substituído por cabos de material sintético (poliéster) na década de 90. Esta mudança foi motivada devido ao primeiro sistema apresentar um elevado peso morto para estrutura, afetando sua flutuabilidade.

A aplicação da nova técnica para ancoragem de estruturas *offshore*, exigiu a criação de novos métodos e critérios de manuseio para assegurar bom desempenho de fixação das plataformas em alto mar, em regiões de águas ultra profunda. Neste período de adaptação, procurou-se avaliar o desempenho dos materiais e mediante aos resultados realizar correções para obter melhorias com intenção de aumentar a performance do cabo.

A utilização dos materiais sintéticos, como poliéster, vectran (polímero de cristal líquido - LCP) e HMPE (polietileno de alto módulo), são utilizados na construção de cabos de ancoragem para estruturas *offshore*. Primeiramente foi verificado a integridade dos materiais, através do desenvolvimento de procedimentos de testes estáticos e dinâmicos. O foco principal dos ensaios é evitar falha catastrófica, o que acarretaria um enorme dano ambiental, bem como elevados prejuízos econômicos. Com esta preocupação em mente, diferentes metodologias de testes foram propostas nas últimas três décadas.

Os procedimentos elaborados para realização dos ensaios pelas empresas petroleiras ou agências normativas como a ISO ou ABNT, é estruturado nos dados coletados nas estruturas *offshore*. Esta coletânea de informações é baseada na frequência das ondas e no carregamento imposto a estrutura através dos cabos de ancoragem.

As fibras sintéticas disponíveis no mercado hoje são poliéster, HMPE, LCP, poliamida e aramida. Dos materiais sintéticos citados, o poliéster é o mais aplicado

atualmente para o sistema de ancoragem, devido ao custo baixo de produção e propriedades mecânicas satisfatória de maneira geral.

A construção dos cabos de ancoragem inicialmente utilizava-se de poliéster, mas ao longo do tempo novos materiais se colocaram como substituto desse material. A utilização de novos materiais está ligada a profundidade em que os poços de petróleo são perfurados. Neste contexto existe a possibilidade da configuração do cabo ser híbrida, combinando diferentes fibras dentro de um mesmo cabo, estudo abordado em artigo KHALID, Faryal et al. (2020) e que tem se tornado grande interesse para uso atualmente.

Um aspecto a ser salientado, trata-se dos procedimentos envolvidos, pois cada empresa busca informações para seu contexto, embora existam testes que deverão ser realizados conforme norma vigente. O procedimento proposto neste trabalho é sobre rigidez estática e dinâmica e o material a ser utilizado para os corpos de provas são poliéster, HMPE e vectran.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA

Nos dias atuais, inúmeras plataformas estão para ser desativadas, gerando um elevado grau de resíduos de poliéster, material teoricamente em excelente condição, mas por não conhecer o limite do comportamento mecânico, os cabos serão inutilizados. O presente estudo busca verificar o comportamento mecânico dos materiais através de um procedimento específico. Buscando construir uma relação de vida útil e eficiência do material quanto ao tempo de uso, com a intenção de prolongar e reutilizar as linhas de ancoragem.

1.2 OBJETIVOS

A pesquisa apresenta os seguintes objetivos gerais a serem obtidos a partir de uma análise experimental:

- Estudar a rigidez estática e dinâmica em subcabos de materiais sintéticos diferentes.
- Estudar o comportamento do alongamento para subcabos de HMPE, vectram e poliéster.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A análise contará com os seguintes objetivos específicos:

- Cálculo da rigidez baseado na norma ABNT/CB 50 – SC2/CE2
- Coletar comprimento inicial e final do corpo de prova
- Verificar a contração do cabo após procedimento
- Traçar o gráfico deformação versus tempo da região central

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMAS DE ANCORAGEM PERMANENTES COM CABOS DE FIBRA SINTÉTICA

O sistema de ancoragem para estruturas em alto mar foi realizado primeiramente com a utilização de cabos de aço. Devido ao aumento da profundidade da exploração de petróleo, iniciou-se uma nova fase de ancoragem das estruturas utilizando cabos de materiais sintéticos, com a vantagem de possuir uma densidade inferior ao do aço (Rossi, 2002). Sobre o assunto, foram desenvolvidas pesquisas relacionadas a confiabilidade do novo sistema de amarras para estruturas *offshore* (Araújo, 2010 a 2014 e Gonçalves, 2010 a 2013).

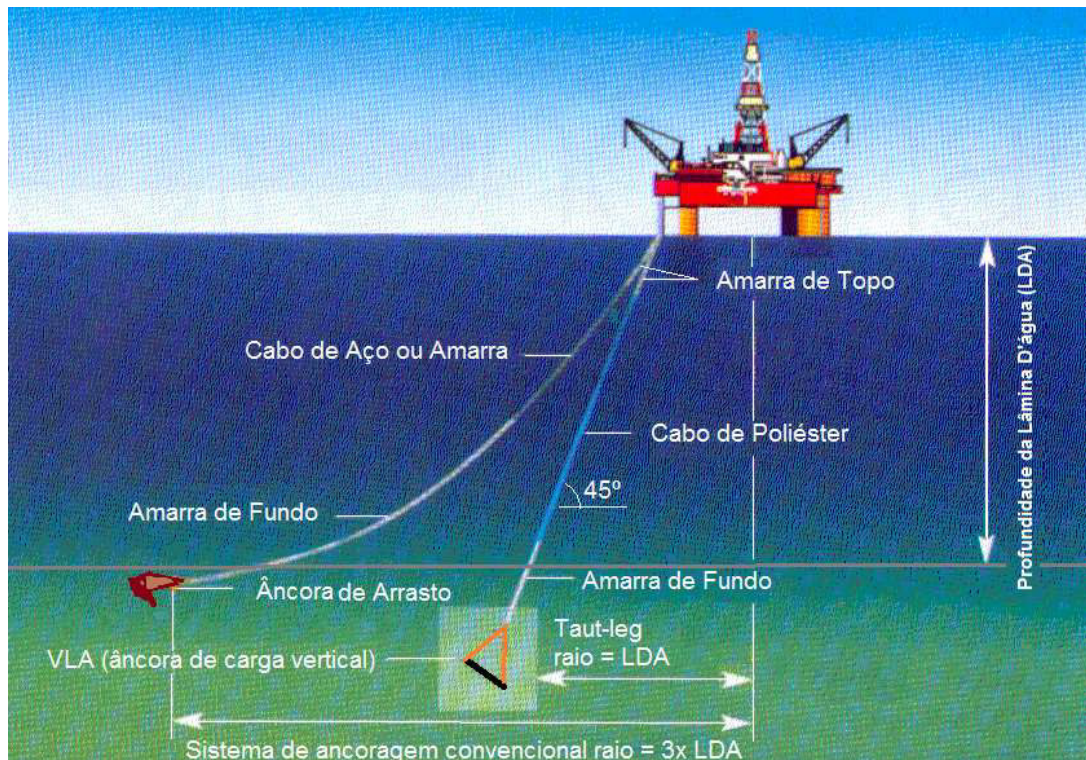
Del Vecchio (1992) com seu trabalho concluiu que cabos de fibra de poliéster podem ser uma solução para sistemas de ancoragem utilizados em profundidades superiores a 1000 m de lâmina d'água. A partir deste momento os cabos de fibras sintéticas começaram a ser utilizados na ancoragem permanente de plataformas petrolíferas, inclusive as sociedades classificadoras passaram a reconhecer o seu uso (AASLAND e SOGSTAD 1999), mas solicitando a verificação periódica.

As linhas de ancoragem também podem ser classificadas com relação à disposição e configuração adotada (Gonçalves, 2003):

- Convencional ou em Catenária: as linhas de ancoragem formam uma catenária, onde o próprio peso exerce a função de restaurar a posição da plataforma – composta por corrente e cabos de aço (figura 1).

- Tautleg*: as linhas de ancoragem estão mais tracionadas e o carregamento possui um componente vertical, a grande vantagem é a diminuição do raio de ancoragem se comparado com o arranjo em catenária – cabos de material sintético (figura 1).

Figura 1 – Comparação dos Sistemas de Ancoragem



Fonte: Adaptado de SUDAIA, 2015 (figura 2, pag 28)

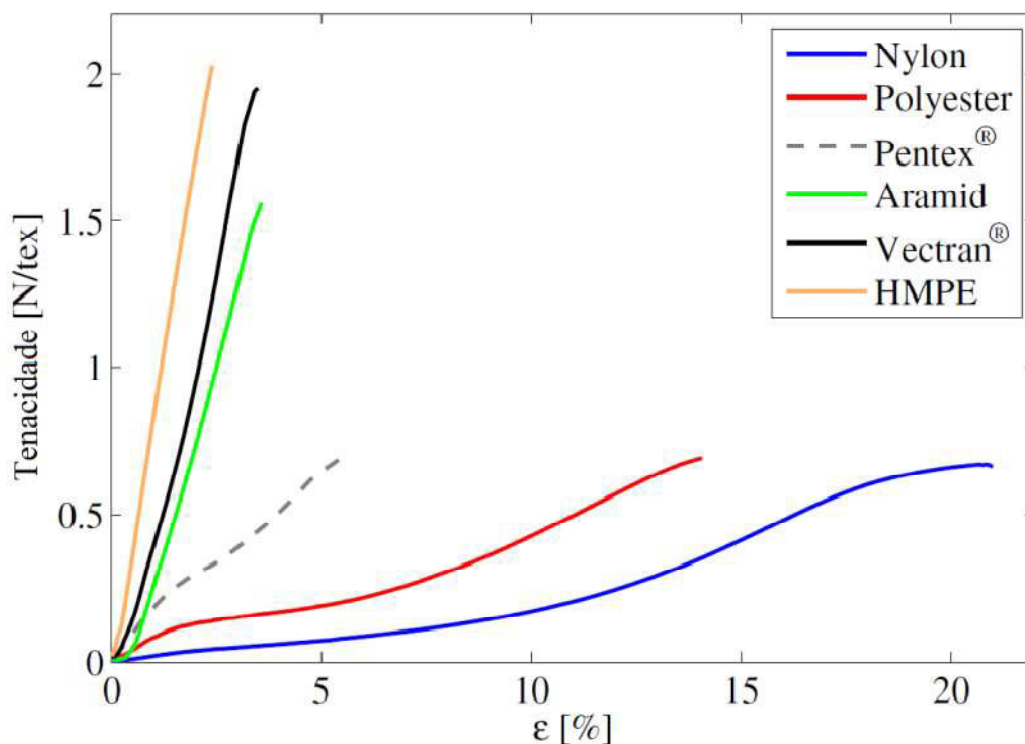
Atualmente, sistemas de ancoragem utilizando cabos de poliamida são empregados para a instalação de plataforma de geração de energia eólica, (Weller, 2015). Estes sistemas estão instalados próximos a costa, e devido a este motivo o material que melhor responde as expectativas é a poliamida, com capacidade de se alongar aproximadamente de 20% do seu comprimento inicial.

2.2 PRINCIPAIS FIBRAS UTILIZADAS PARA A CONSTRUÇÃO DE CABOS

O trabalho pioneiro do Del Vecchio (1992) concluiu que o cabo de fibra de poliéster é uma solução mais eficiente para a ancoragem de unidades de produção devido a suas propriedades mecânicas e baixo custo da fibra. Outros materiais sintéticos ao longo do tempo foram propostos, tais como LCP, aramida e HMPE como alternativa para substituição do poliéster. A figura2 apresenta um gráfico

comparando as tenacidades das fibras com grande potencial para uso em linhas de ancoragem comparadas com a fibra de poliéster.

Figura 2 - Tenacidade de tipos de multifilamentos

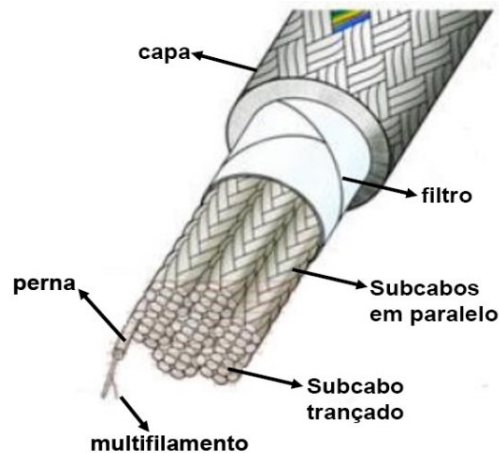


Fonte: Adaptado de SUDAIA, 2015 (figura 33, pagina 59).

2.3 CABOS DE ANCORAGEM CONFECCIONADOS EM FIBRA SINTÉTICA

A construção de um cabo de ancoragem é apresentada na figura 3, em que o mesmo é constituído por uma capa, filtro, subcabos. Os subcabos são formados por pernas e as pernas por multifilamento. A disposição e a quantidade das pernas nos subcabos e a própria quantidade de subcabos é determinado em função da carga de solicitação imposta no sistema de ancoragem, visando atender aos requisitos de resistência mecânica com a menor quantidade de fios e com uma construção mais paralela possível das pernas dos subcabos.

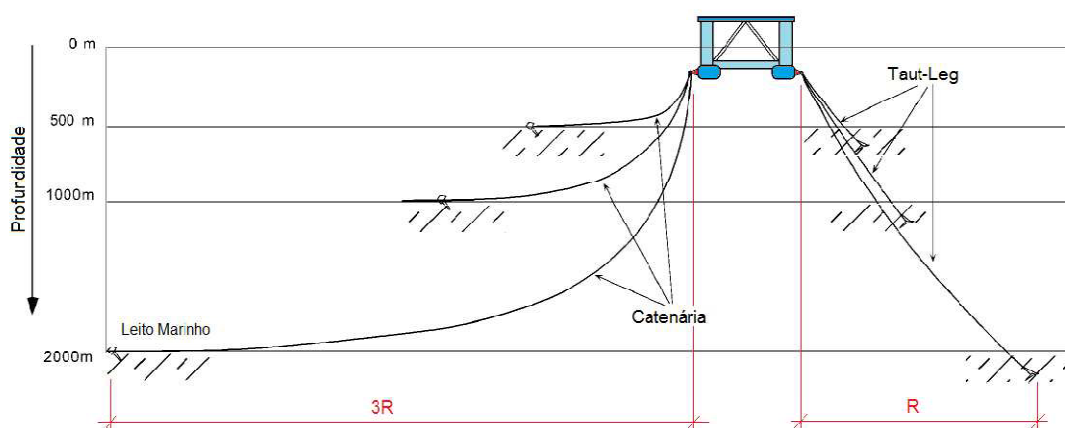
Figura 3 - Representação esquemática de um cabo de ancoragem



Fonte: Adaptado de Haach, Poitevin e Bastos, (2010).

Com a diminuição do raio de ancoragem, conforme pode ser visualizado na figura 4, um sistema com um raio curto de instalação das âncoras evita que a linha passe sobre outros equipamentos no fundo do mar. Além disso, como atualmente os reservatórios em profundidades superiores a 2000 metros são economicamente viáveis, o sistema de ancoragem tornou-se um detalhe estratégico para a instalação de plataformas nesta profundidade (Sudaia, 2015).

Figura 4 - Comparação do sistema catenária x taut-leg



Fonte: Adaptado de SUDAIA, 2015 (figura 9, pagina 37)

Outra grande vantagem do uso de cabos de fibra é a facilidade de ancoragem em um local congestionado, isto é, onde existem vários equipamentos submarinos e

dutos já instalados. Com a diminuição do raio de ancoragem, conforme pode ser visualizado na figura 4, um sistema com um raio curto de instalação das âncoras, evita que a linha passe sobre outros equipamentos no fundo do oceano (Sudaia, 2015).

Para grandes profundidades, uma linha convencional (catenária) com amarras é inviável tecnicamente, pois o peso das linhas de ancoragem consumiria a capacidade de flutuação da plataforma. Cabos de material sintético tornam-se viáveis, contudo a sua rigidez deve ser tal que o seu alongamento quando submetido aos esforços das condições ambientais permita que a estrutura *offshore* se mova dentro de um espaço predeterminado, tal modo não sobrecarregando as linhas flexíveis de produção. Esta alteração da posição original da plataforma deve ser em torno de 10% da profundidade onde está instalada (DEL VECCHIO e SILVA, 2012).

2.4 CONSTRUÇÃO DA TERMINAÇÃO DE UM CABO DE ANCORAGEM

O cabo de ancoragem é finalizado com a construção da sua mão, onde serão instaladas as terminações para a instalação do cabo na linha de ancoragem. Esta é uma etapa que deve ser realizada com cuidado e atenção, pois a mão é construída artesanalmente, onde cada perna é trançada sobre si mesma e posteriormente finalizada com a colocação de filtro e capa, similar a um cabo e acrescido de uma camada de poliuretano. Os trabalhos de Leech e Flory (2001) e Rowley e Leitte (2010) apresentam o estudo para mensurar e otimizar esse trançado, que depende também o atrito entre as fibras.

De acordo com a orientação da ABNT/CB-50 – Comitê Brasileiro de Materiais e estruturas Oceânicas para a Indústria de Petróleo e Gás Natural (Haach, 2009 – 2015) a construção da mão está associada ao atrito entre as fibras, que influencia o comprimento trançado, e ao contato com o rolete, que não pode ser pequeno ao ponto de forçar mais as fibras no contato.

Atualmente, com a possibilidade do uso de outros materiais sintéticos, a forma como o trançado é realizado tende a ser alterado, pois cada fibra possui um

coeficiente de atrito. As fibras de alto módulo e alta tenacidade possuem uma resistência à abrasão elevada, medida principalmente pela resistência de fricção de fio contra fio, conforme a ASTM D3412. O comprimento da trança tende a aumentar para evitar o deslizamento entre as fibras (HAACH, 2009 a 2015).

2.5 COMPORTAMENTO MECÂNICO

Dependendo da resposta ao estímulo mecânico, o material pode ser classificado como elástico ou viscoso. Para um sólido perfeitamente elástico ou Hookiano a deformação é proporcional à tensão aplicada, segundo a lei de Hooke. Um material viscoso ideal obedece à lei de Newton, que estabelece que a tensão e a taxa de cisalhamento estão relacionadas através de uma característica intrínseca que é a viscosidade (Wunderlich, 1997; Wetton, 1986).

Materiais poliméricos apresentam comportamento mecânico elástico e viscoso ao mesmo tempo, sendo denominados viscoelásticos. Quando um polímero é analisado, alguns fatores devem ser levados em conta, sendo eles: a temperatura e tempo de ensaio (Canevarolo, 2006).

O HMPE (polietileno de alto módulo) é um polímero altamente resistente a tração, possui alto módulo em combinação com baixo peso. Sua tenacidade é alta, comparado com as outras fibras e chega a ser 10 vezes maior que a de um aço carbono. O alongamento na ruptura é relativamente baixo e devido à alta tenacidade, a energia para quebrar é alta.

Pelo fato do seu alto módulo combinado com o alongamento até a ruptura, as fibras HMPE podem absorver uma grande quantidade de energia, propriedade interessante para o uso balístico. Porém, o material possui uma estrutura com baixa interação lateral (van der Waals) entre as cadeias adjacentes. Isso resulta que, em contraste com sua alta resistência à tração, as fibras têm uma baixa resistência à compressão, cerca de 2 a 3% de sua resistência à tração, limitando sua aplicabilidade em compósito (VanDingenen, 2000).

A fibra tem sensibilidade a cargas estáticas de longo prazo, esse fenômeno é geralmente conhecido como fluência e é um processo no qual as longas cadeias

moleculares deslizam umas sobre as outras (Van Dingenen, 2000). Além disso, em altas taxas de deformação ou a baixas temperaturas, o comportamento do HMPE muda de maneira significativa. Este material foi ensaiado por Da Cruz, et. al, 2022, avaliando à ruptura sob diferentes condições.

Essa avaliação das propriedades mecânicas, pode ser avaliada através de ensaios de forma estática ou dinâmica. Além disso, a caracterização do comportamento pode ser feita atingindo ou não a ruptura do material (Canevarolo, 2006).

Para a caracterização mecânica do material no presente trabalho, foram utilizados os ensaios de tração, fadiga e fluência, com o objetivo de determinar a rigidez quase estática e dinâmica, utilizando especificações técnicas adaptadas da norma ABNT ISO/TS 14909:2013.

2.6 DEGRADAÇÃO MECÂNICA

A iniciação da degradação de polímeros por esforço mecânico tem sido avaliadas em inúmeros trabalhos, como exemplo o caso em que o material foi submetido à impactos por cargas axiais repentinas (DaSilvaBelloni, et. al, 2022). Este estudo avaliou a tração, fadiga e fluência, pré e pós os eventos de impacto. Foi observado uma melhora em sua integridade dos filamentos notando uma diminuição em seu diâmetro devido a deformação longitudinal.

O estudo desenvolvido por Vannucchi, et. al, 2016, correlaciona os níveis de força e ciclos de fadiga, com intuito de prever e comparar taxa de degradação do material. No trabalho de Duarte, et. al, 2016, foi abordado o efeito da hidrólise acelerada em materiais sintéticos, sendo este material colocado em contato direto com a água do mar em um tanque em alta temperatura. O objetivo final do trabalho foi determinar o tempo de vida dos materiais, aplicando a equação Arrhenius.

De Paoli, 2008, afirma que modificações químicas induzidas por esforço de tração ou por cisalhamento, combinado com a reação química e com estiramento frio, o polímero apresenta alinhamento das cadeias na direção da força de tração aplicada. As ligações próximas às extremidades da cadeia polimérica têm muito

menos probabilidade de serem quebradas durante a degradação mecânica do que as ligações mais próximas ao centro da cadeia.

O estudo de Hahn, et. al. 2022, avaliou a tração no multifilamento de material sintético após ser aplicado uma degradação mecânica no material por meio de impacto direto.

A pesquisa realizada por TempelStumpf, et. al, 2022, tem objetivo de desenvolver técnicas numéricas para o dimensionamento e determinação da vida útil da linha de ancoragem. No estudo realizado busca determinar a tensão e a deformação adquirida pelo material sintético.

No estudo realizado por Cruz,et. al, 2023, o estudo busca diferentes modelos de energia de deformação que sejam capazes de representar o comportamento viscoelástico do poliéster. Os resultados obtidos neste trabalho, são confrontados entre si.

2.6.1 ENSAIO DE FADIGA

A *American Society for Testing and Materials*, por meio da norma ASTM E1823 (2002), define a fadiga como sendo um processo de alteração estrutural permanente, progressivo e localizado. Este fenômeno ocorre em um material sujeito a condições que produzem tensões e deformações cíclicas em um ponto ou em vários pontos, e que podem culminar em trincas ou fratura completa após um número suficiente de ciclos. O ensaio de fadiga consiste em provocar um esforço cíclico no corpo de prova e analisar o número de ciclos suportadas até a ruptura do espécime, o qual é designado por N (Fredel,et.al, 2015).

Louzada, et. al, 2016 avaliou alteração na vida em fadiga de fios de poliéster após ser submetido a uma carga de impacto. O resultado obtido foi a redução substancial do número de ciclos em relação a amostra virgem.

Com a finalidade de estudar a caracterização mecânica de cargas de impacto em fibras de poliamida, Cruz,et. al, 2023, analisou os ciclos de impacto até a ruptura. As amostras estavam na condição a seco, imerso há 6 horas em água e imerso a 24

horas em água. Os resultados mostraram que o aumento de tempo imerso diminuiu a resistência à ruptura e aos ciclos de impacto.

2.6.2 ENSAIO DE RIGIDEZ QUASE ESTÁTICA E DINÂMICA

A rigidez quase estática (QSS) tenta avaliar a perda de rigidez do cabo devido ao regime de fluência o qual ele é submetido durante sua vida útil. Enquanto, a rigidez dinâmica (DS) é a relação entre a variação na carga e a variação na deformação sob carregamento cíclico (STUMPF et al., 2016).

Segundo a norma ABNT ISO/TS 14909:2013 o procedimento do ensaio consiste em duas fases:

- Primeira fase:

- a) rampa para a carga de 30% YBL, em um período de 2 minutos a 6 minutos.
- b) manter a carga de 30% YBL durante 30 minutos.
- c) reduzir a carga de 30% YBL para 10% YBL e manter por mais 30 minutos.

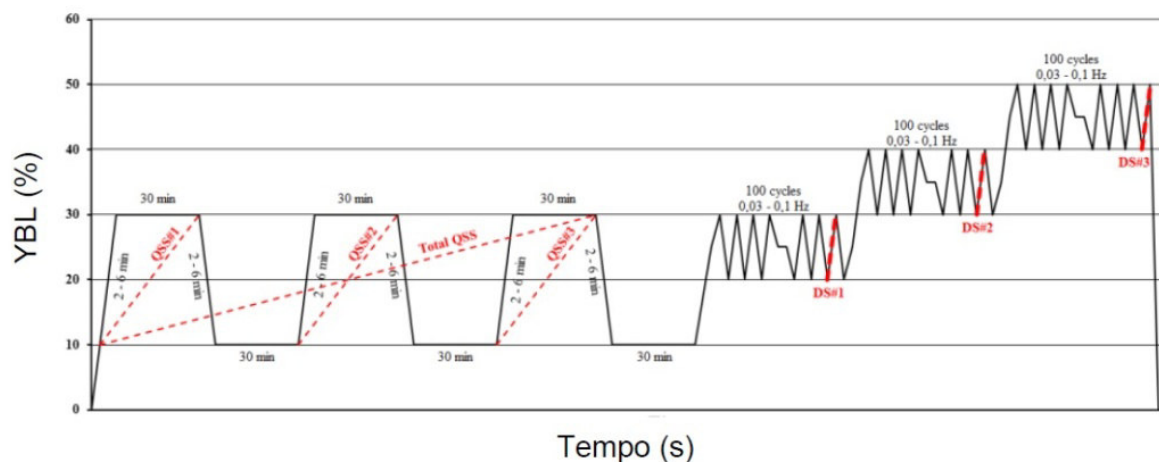
Este ciclo deverá ser repetido 3 vezes.

-Segunda fase, com uma frequência entre 0,03 e 0,1 Hz:

- a) 100 ciclos entre 20% YBL a 30% YBL.
- b) 100 ciclos entre 30% YBL e 40%YBL.
- c) 100 ciclos entre 40% YBL e 50 YBL.

A figura 5 apresenta o esquema de ensaio.

Figura 5 - Ensaio de Rigidez de acordo norma ABNT ISO/TS 14909 2013.



Fonte: STUMPF et al., (2016).

Neste trabalho, o cálculo para a rigidez quase estática e dinâmica, utilizamos a equação 1, também prevista na norma ABNT ISO/TS 14909:2013.

$$Q_{SS,DS} = \frac{\frac{Fy-Fx}{Ly-Lx}}{Ly} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que: $(F_x - F_y)$ é a variação da carga registrada, $(L_y - L_x)$ é a variação do alongamento registrado, L_0 é o comprimento inicial e MBL a carga de ruptura do cabo.

A rigidez quase estática (QSS) tenta avaliar a perda de rigidez do cabo devido ao regime de fluência, o qual ele é submetido durante sua vida útil. Enquanto, a rigidez dinâmica (DS) é a relação entre a variação na carga e a variação na deformação sob carregamento cíclico (Stumpf et al., 2016).

Melhorar os métodos para projetos seguros e confiáveis de sistemas de amarração de cabos de fibra tem sido o objetivo nas pesquisas, A prática normal e conservadora de projeto para sistemas de ancoragem de cabos de poliéster é usar uma rigidez axial limitada superiormente. O uso de uma prática de design mais avançada, permite um design mais otimizado. (Falkenberg, et.al, 2017)

A resposta da força versus alongamento para um cabo de material sintético é não linear, depende do caminho da carga de tração, e apresenta comportamento

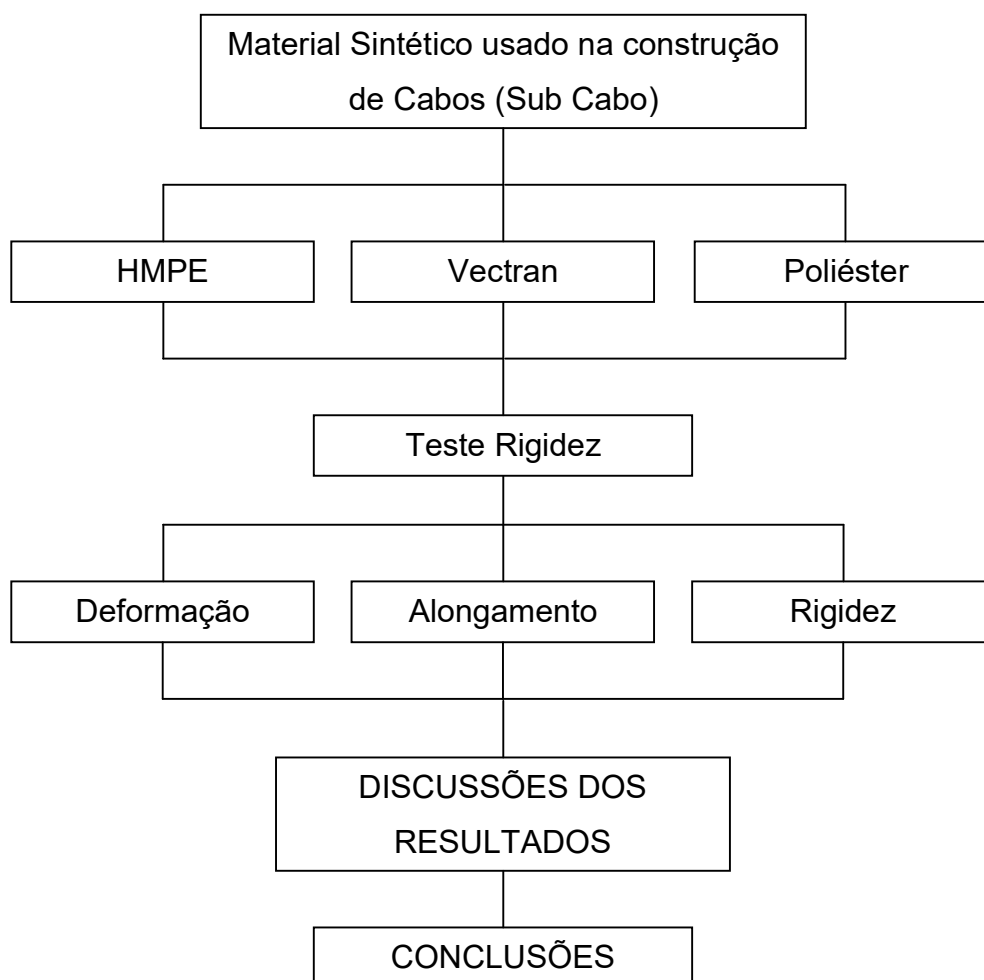
diferente no descarregamento do cabo. Desta forma o comprimento varia com a taxa e a duração do carregamento, Falkenberg, et. al, 2018.

A forma como a corda de poliéster muda seu comprimento em resposta à força aplicada, é frequentemente representada usando um modelo estático-dinâmico com parâmetros para rigidez linear dupla, com base em testes de acordo com procedimentos definidos. Isto não é o suficiente para a análise de amarração, uma vez que a resposta ao alongamento à tração dos cabos de fibra não é linear (Falkenberg, et. al, 2019).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção é apresentado o procedimento de ensaio, detalhando as cargas aplicadas, tempo de duração e a frequência aplicada nos carregamentos dinâmicos, bem como os tipos de materiais selecionados. Além destas informações, figuras ilustrativas demonstram claramente as condições de contorno do problema e a coleta de dados.

Figura 6 – Fluxograma experimental



Fonte: Próprio Autor.

3.1 MATERIAIS

O material analisado no estudo se constitui de um subcabo que faz parte da união de subcabos usados e novo na construção de um cabo único para ser utilizado em ancoragem de estruturas *offshore*. A análise do subcabo é realizada em três diferentes materiais, que são poliéster, HMPE e Vectran (figura 7).

Os mesmos se se diferenciam tanto em diâmetro do subcabo como comprimento e na capacidade de carga. Os subcabos são submetidos cinco vezes ao mesmo procedimento de ensaio, permitindo assim confrontar os resultados obtidos e analisar o comportamento do cabo de forma mais próxima da realidade.

Figura 7 - Subcabos de HMPE, Vectran e Poliéster.



Fonte: Autor

Amostra de HMPE:

Comprimento entre centro dos olhais = 12.747 mm

Diâmetro da secção = Ø 40 mm

Carga de Ruptura = 95.350 kgf

Número de pernas = 8

Número de PSA = 28

Multifilamentos em um PSA = não é possível determinar o número de multifilamentos

Amostra de VECTRAN:

Comprimento entre centro dos olhais = 9.412 mm

Diâmetro da secção = Ø 38 mm

Carga de Ruptura = 105.000 kgf

Número de pernas = 12

Multifilamentos em uma perna = 110

Amostra de Poliéster:

Comprimento entre centro dos olhais = 9.224 mm

Diâmetro da secção = Ø 70 mm

Carga de Ruptura = 138.000 kgf

Número de pernas = 12

Multifilamentos em uma perna = 535

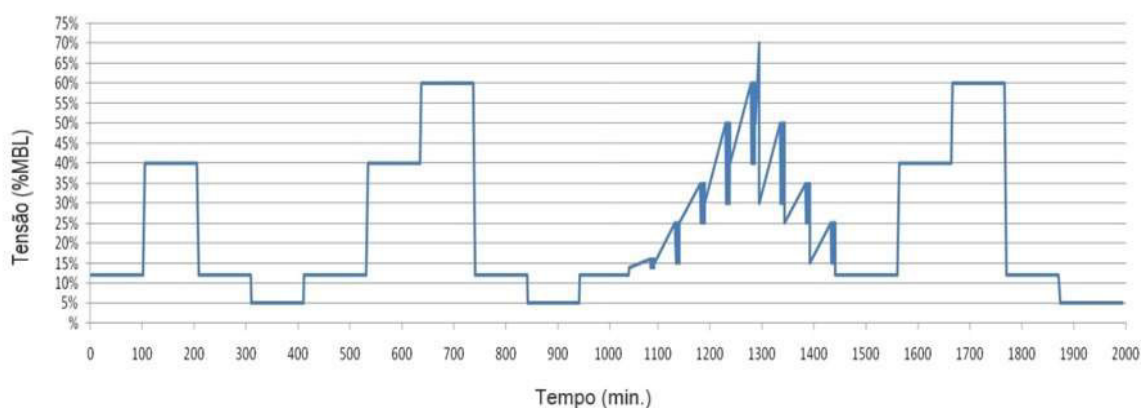
3.2 MÉTODOS

Com o interesse de analisar os comportamentos de rigidez estática e dinâmica, foi executado um método que agrupa em um modelo sequencias de rampas, holds e fadigas demonstrado na figura 6. Para cada material a ser testado, o valor de MBL (minimum break load) foi definido em ensaio de ruptura realizado em

três amostras, dado este aplicado para determinar o valor para cada situação do procedimento proposto.

Os ensaios realizados executaram a sequência descrita completa e ao final mantiveram a amostra sob uma tensão mínima de 2% MBS por um tempo suficiente para seu recomeço (figura 8). O procedimento foi realizado no mesmo corpo de prova por mais 4 vezes.

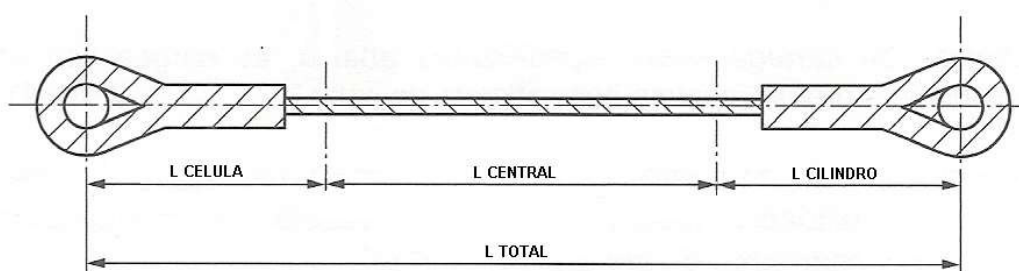
Figura 8 - Gráfico representativo do ensaio proposto



Fonte: Próprio Autor.

O cálculo da rigidez estática e dinâmica estão baseados no carregamento e no comprimento da região central (L central), dimensão definida na figura 9. O espaço existente para medição, tem seu limite definido pela distância formada de 3x o diâmetro da secção da amostra, distante do ponto onde finaliza a construção da alça (mão), em ambas extremidades do corpo de prova.

Figura 9 - Identificação espaços disponíveis das amostras



Fonte: Adaptado de ABNT ISO/TS 14909.

Nas regiões das emendas foram instalados extensômetros lineares (figura 10), para verificar o comportamento neste local.

Figura 10 - Extensômetro Linear.



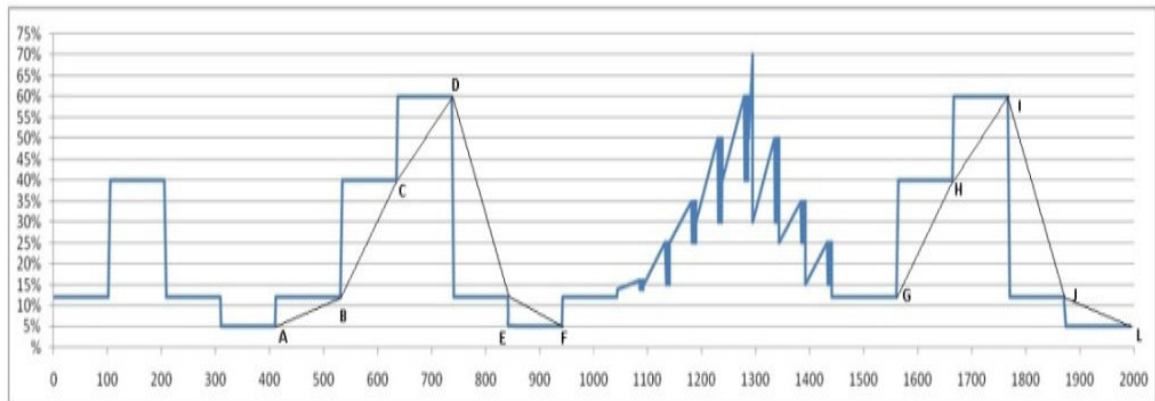
Fonte: Próprio Autor

O equipamento registra em um arquivo os dados de força (kgf), deslocamento do atuador, deslocamento dos extensômetros e tempo transcorrido de ensaio [s]. Com os dados coletados e auxílio de planilhas eletrônica, são construídos gráficos, tabelas de alongamento e deformação. Em um formulário padrão é registrado data, horário, comprimento total do cabo, comprimento das emendas e região central.

O ensaio empregado é composto por uma sequência de etapas para análise da rigidez estática e dinâmica, figura 11, sendo o procedimento realizado por cinco vezes no mesmo corpo de prova. Entre as repetições, o material fica submetido a uma carga de 2% por um tempo aleatório, tempo este suficiente para o corpo de prova se contrair. O teste foi concluído após cinco repetições do procedimento, sendo denominado cada procedimento como série 1, série 2, série 3, série 4 e série 5.

A rigidez estática é determinada para carregamentos ascendentes e descendentes, com o objetivo de compreender o comportamento do cabo. Neste ponto do trabalho é importante ressaltar que tanto a rigidez estática como a dinâmica são adimensionais.

Figura 11 - Etapas utilizadas para o cálculo da rigidez estática.

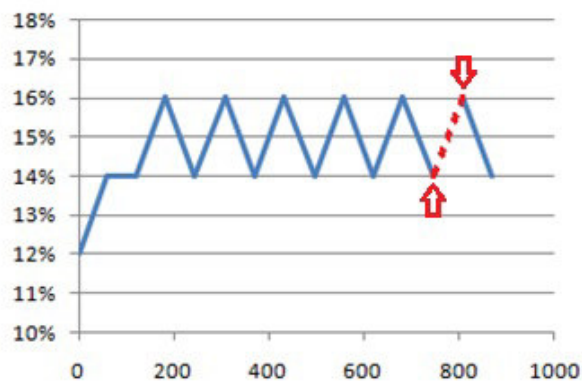


Fonte: Próprio Autor.

Demonstrado na figura 11, o cálculo de rigidez estática é determinado nas etapas contidas ao longo do ensaio, que são: AB, BC, CD, DE, EF, AD, DF, GH, HI, IJ, JL, GI e IL. O ponto utilizado para o cálculo se refere ao valor do início da rampa que desloca para a carga em que o material ficará em repouso (*“hold”*), e o último valor obtido no término do referido repouso (*“hold”*).

A figura 12 é apenas ilustrativa, demonstrando os pontos coletados para o cálculo da rigidez dinâmica no último ciclo (linha vermelha). O ponto inferior é o mínimo e o superior é o ponto máximo.

Figura 12 - Etapas utilizadas para o cálculo de rigidez dinâmica



Fonte: Próprio Autor.

Com os dados coletados, o cálculo da rigidez estática e dinâmica é realizado aplicando a equação 1.

3.2.1 PREPARAÇÃO

Os subcabos escolhidos para o teste são identificados e cada corpo de prova é colocado sobre a mesa para verificação visual, figura 7. Neste momento é realizada a marcação identificando o alinhamento de sua confecção para garantir que sua montagem no equipamento de teste não apresente torção do corpo de prova.

Figura 13 - Verificação da Amostra



Fonte: Próprio Autor.

A figura 14 ilustra a amostra submersa em água limpa e mantida por um prazo mínimo de 4 horas, garantindo assim que o corpo de prova esteja completamente encharcado.

Figura 14 - Colocação no tanque de água.



Fonte: Próprio Autor.

Realizado a verificação do procedimento do ensaio, é dado início a instalação do corpo de prova, posicionando o mesmo nas garras do equipamento e observando o alinhamento de construção para que o mesmo não apresente torção. O próximo passo é submeter o corpo de prova a carga de 2% definida como pré-tensão, ficando submetido pelo tempo que for necessário ao operador, para que:

1º - Identificar e marcar no material o ponto distante do final de construção da emenda dos olhais de fixação, um comprimento relativo à três vezes o diâmetro da secção do material, determinando os pontos de referência para colocação dos equipamentos de medição (extensômetro). Em ambas as extremidades do corpo de prova, coletar as respectivas distâncias dos mesmos aos centros dos pinos nos olhais.

Figura 15 - Fixação distante da construção dos olhais lado célula.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 16 - Fixação distante da construção dos olhais lado cilindro.



Fonte: Próprio Autor.

2º - Instale os extensômetros (lado da mão direita e esquerda) e fixe as hastes de modo que se possa ter os deslocamentos dos sensores e por estes obter os alongamentos que haverá durante o ensaio.

Figura 17 - Instalação dos extensômetros



Fonte: Próprio Autor.

3º - Instalar e ligar o sistema de molhamento para manter o corpo de prova molhado durante todo o procedimento do ensaio.

Figura 18 - Instalação do sistema de molhamento.



Fonte: Próprio Autor.

3.2.2 EXECUÇÃO DO ENSAIO

Após a montagem da amostra com os instrumentos e sistema de molhamento, é realizada a verificação do procedimento e o processo é iniciado com uma pré-carga de 2% MBS. Neste momento os instrumentos são zerados e realizado a medição do corpo de prova, de pino a pino.

Abaixo seguem as etapas que compõem o ensaio:

- 1 - Rampa 1 – Rampa Crescente: 12% MBS – Tempo: 2 min.
- 2 - Hold 1 – Tempo: 100min.
- 3 - Rampa 2 – Rampa Crescente: 40% MBS – Tempo 3,5 min.
- 4 - Hold 2 – Tempo: 100 min.
- 5 - Rampa 3 – Rampa Decrescente: 12% MBS – Tempo 3,5 min.
- 6 - Hold 3 – Tempo: 100 min.
- 7 - Rampa 4 - Rampa Decrescente 5% MBS – Tempo 1 min.
- 8 - Hold 4 – Tempo 100 min.
- 9 - Rampa 5 – Rampa Crescente 12% MBS – Tempo 1 min.
- 10 - Hold 5 – Tempo 120 min.
- 11 - Rampa 6 – Rampa Crescente: 40% MBS – Tempo: 2 min.
- 12 - Hold 6 – Tempo: 100min.
- 13 - Rampa 7 – Rampa Crescente: 60% MBS – Tempo 3,5 min.
- 14 - Hold 7 – Tempo: 100 min.
- 15 - Rampa 8 – Rampa Decrescente: 12% MBS – Tempo 4 min.
- 16 - Hold 8 – Tempo: 100 min.
- 17 - Rampa 9 - Rampa Decrescente 5% MBS – Tempo 1 min.
- 18 - Hold 9 – Tempo 100 min.
- 19 - Rampa 10 – Rampa Crescente 12% MBS – Tempo 1 min.
- 20 - Hold 10 – Tempo 120 min.
- 21 - Rampa 11 – Rampa Crescente 14% MBS – Tempo 1 min.
- 22 - Hold 11 – Tempo 1 min.
- 23 - Fadiga 1 – 20 Ciclos – 0,008 Hz – 14% ~ 16% MBS
- 24 - Fadiga 2 – 30 Ciclos – 0,067 Hz – 14% ~ 16% MBS
- 25 - Rampa 12 – Rampa Crescente 15% MBS – Tempo 1 min.

- 26 - Hold 12 – Tempo 1 min.
- 27 - Fadiga 3 – 20 Ciclos – 0,008 Hz – 15% ~ 25% MBS
- 28 - Fadiga 4 – 30 Ciclos – 0,067 Hz – 15% ~ 25% MBS
- 29 - Rampa 13 – Rampa Crescente 25% MBS – Tempo 1 min.
- 30 - Hold 13 – Tempo 1 min.
- 31 - Fadiga 5 – 20 Ciclos – 0,008 Hz – 25% ~ 35% MBS
- 32 - Fadiga 6 – 30 Ciclos – 0,067 Hz – 25% ~ 35% MBS
- 33 - Rampa 14 – Rampa Crescente 25% MBS – Tempo 1 min.
- 34 - Hold 14 – Tempo 1 min.
- 35 - Fadiga 7 – 20 Ciclos – 0,008 Hz – 30% ~ 50% MBS
- 36 - Fadiga 8 – 30 Ciclos – 0,067 Hz – 30% ~ 50% MBS
- 37 - Rampa 15 – Rampa Crescente 40% MBS – Tempo 1 min.
- 38 - Hold 15 – Tempo 1 min.
- 39 - Fadiga 9 – 20 Ciclos – 0,008 Hz – 40% ~ 60% MBS
- 40 - Fadiga 10 – 30 Ciclos – 0,067 Hz – 40% ~ 60% MBS
- 41 - Rampa 16 – Rampa Crescente 50% MBS – Tempo 1 min.
- 42 - Hold 16 – Tempo 1 min.
- 43 - Fadiga 11 – 30 Ciclos – 0,067 Hz – 50% ~ 70% MBS
- 44 - Rampa 17 – Rampa Crescente 30% MBS – Tempo 1 min.
- 45 - Hold 17 – Tempo 1 min.
- 46 - Fadiga 12 – 20 Ciclos – 0,008 Hz – 30% ~ 50% MBS
- 47 - Fadiga 13 – 30 Ciclos – 0,067 Hz – 30% ~ 50% MBS
- 48 - Rampa 18 – Rampa Crescente 25% MBS – Tempo 1 min.
- 49 - Hold 18 – Tempo 1 min.
- 50 - Fadiga 14 – 20 Ciclos – 0,008 Hz – 25% ~ 35% MBS
- 51 - Fadiga 15 – 30 Ciclos – 0,067 Hz – 25% ~ 35% MBS
- 52 - Rampa 19 – Rampa Crescente 15% MBS – Tempo 1 min.
- 53 - Hold 19 – Tempo 1 min.
- 54 - Fadiga 16 – 20 Ciclos – 0,008 Hz – 15% ~ 25% MBS
- 55 - Fadiga 17 – 30 Ciclos – 0,067 Hz – 15% ~ 25% MBS
- 56 - Rampa 20 – Rampa Crescente 12% MBS – Tempo 1 min.
- 57 - Hold 20 – Tempo 1 min.
- 58 - Rampa 21 – Rampa Crescente: 40% MBS – Tempo: 3,5 min.

- 59 - Hold 21 – Tempo: 100min.
- 60 - Rampa 22 – Rampa Crescente: 60% MBS – Tempo 2,5 min.
- 61 - Hold 22 – Tempo: 100 min.
- 62 - Rampa 23 – Rampa Decrescente: 12% MBS – Tempo 4 min.
- 63 - Hold 23 – Tempo: 100 min.
- 64 - Rampa 24 - Rampa Decrescente 5% MBS – Tempo 4 min.
- 65 - Hold 24 – Tempo: 100 min
- 66 - Rampa 25 – Rampa Decrescente 2% MBS – Tempo 2 min
- 67 –Hold 25 -- Tempo: 4 horas

O ensaio é finalizado após a repetição de 5 séries completas.(, os dados de ensaio são gravados automaticamente pelo equipamento em uma pasta nomeada pela informação colocada no software no início do processo,)

3.2.3 COLETA DE DADOS

Os dados são coletados durante o ensaio obtendo pontos com as seguintes frequências:

- Rampa: a aquisição de pontos ocorre na frequência de 0,5 Hz
- Hold: a aquisição de pontos ocorre na frequência de 0,5 Hz
- Fadiga: a aquisição de pontos ocorre na frequência de 2 Hz

O equipamento utilizado faz parte do Laboratório de Análise de Tensões da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Rio Grande (figura 19).

Figura 19 - Imagem do equipamento de ensaio.



Fonte: Próprio Autor.

Os ensaios foram realizados no equipamento com capacidade de tração de 160 toneladas e possui um pistão que promove um deslocamento máximo de 1 metro. Os testes são realizados com o sistema de molhamento, com objetivo de não danificar o corpo de prova e o mesmo é equipado com extensômetros.

4. ANALISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na análise do ensaio de cada material, é possível observar os resultados de rigidez estático e dinâmico entre si, permitindo realizar uma comparação de valores. Para cada repetição do procedimento, observaram-se pequenas variações dos valores de rigidez em todas as fases durante a sequência do procedimento aplicada.

Embora as amostras tenham materiais, comprimentos, passo de trança, número de multifilamento por perna diferente entre si, devido ao formato de confecção, procurou-se verificar e analisar esse comportamento quanto a proporcionalidade do tamanho de material no seu espaço livre central. Então cálculo da rigidez estática ou dinâmica e os valores de deformações analisados neste trabalho está baseada no comprimento livre central do subcabo, e os valores de alongamento tratam da análise das partes e do corpo de prova por inteiro, sendo verificado as mãos e a região central.

Os valores de rigidez estática são designados como AB, BC, CD, DE, EF, AD, DF, GH, HI, IJ, JL, GI e IL. Para rigidez dinâmica é identificado pela letra “F”.

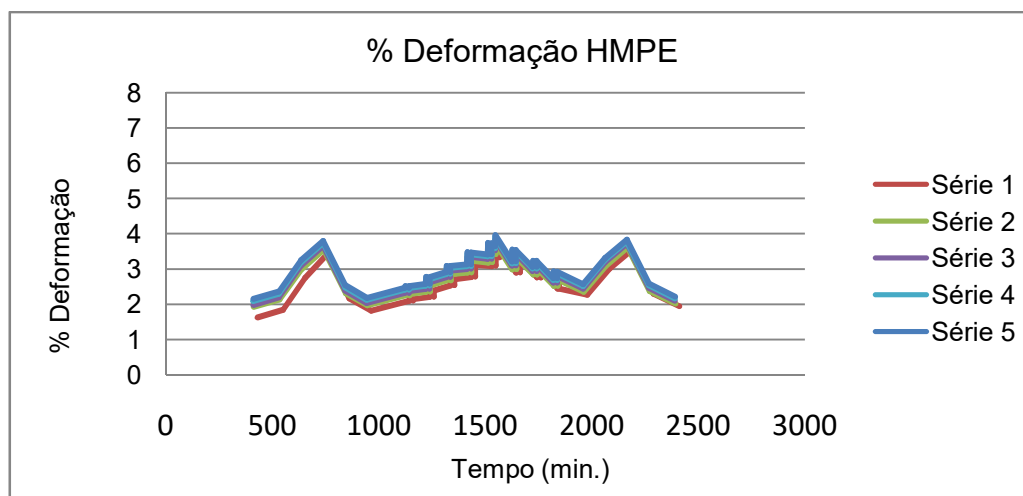
4.1 HMPE

Neste caso a amostra inicialmente possui um comprimento de cabo central disponível que corresponde a 43,6% do seu tamanho total, e as extremidades com tamanhos de 28,25% e 28,15%, respectivamente.

4.1.1 DEFORMAÇÃO HMPE

No Gráfico 1, é possível notar a deformação correspondente a região central da amostra, realizado na bateria de ensaios, com 5 séries de repetição.

Gráfico 1 - Deformação da amostra de HMPE



Fonte: Próprio Autor.

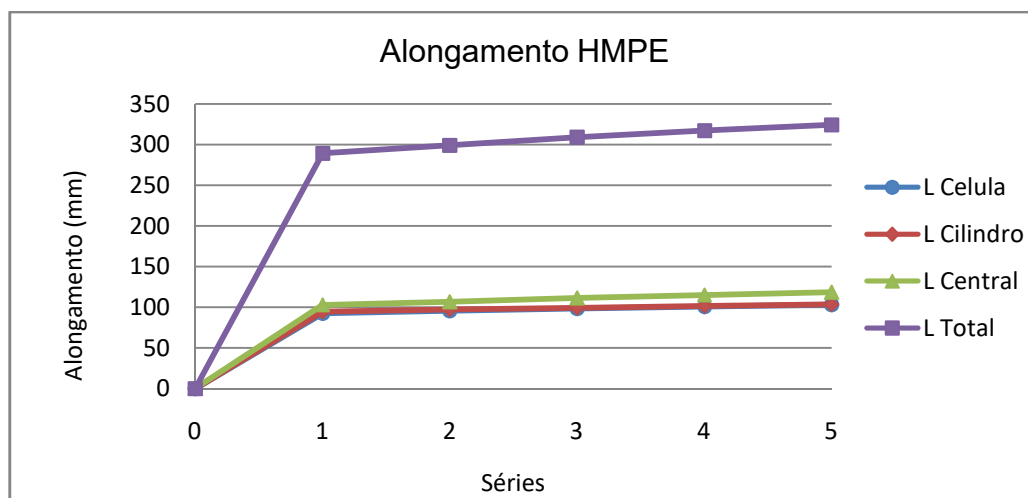
É possível notar que a amostra teve ao final o seu tamanho acrescido com a deformação ao longo das 5 séries de ensaios realizados. Lembrando que entre cada série de ensaio existiu uma pausa, tempo suficiente para o subcabo tentar recuperar o comprimento inicial.

4.1.2 ALONGAMENTO HMPE

A amostra de HMPE utilizada apresentou um tamanho total ao ser montada no equipamento de 12.747 mm, dispondo de um comprimento central livre para análise de 5.559 mm e o restante do corpo de prova pertence à região das mãos. O comportamento do alongamento do subcabo de HMPE é verificado no gráfico 2.

Foi observado nas leituras realizadas que nas emendas (extremidades) não apresentaram escorregamento, isto é, as regiões de amarra das mãos não deslizaram. Este fato constatado é observado na tabela 1, em que trata das parcelas de porcentagens das mãos e da região central ao longo do teste desenvolvido. O alongamento total representa a diferença entre o comprimento inicial e final da bateria de 5 ensaios executados continuamente.

Gráfico 2 - Alongamento da amostra de HMPE



Fonte: Próprio Autor.

Nas cinco séries de ensaios realizados, é possível observar que o alongamento mais expressivo ocorreu na primeira série, e a partir da segunda série o alongamento não foi tão expressivo como da primeira série. Esta constatação pode ser observada na tabela 1, e este efeito é devido ao alinhamento entre os multifilamentos do subcabo.

Tabela 1 - Alongamento e porcentagem do comprimento – HMPE

Comprimento da Amostra HMPE							
	L Célula		L Cilindro		L Central		L Total
	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	
Tamanho inicial	3601	28,25%	3587	28,14%	5559	43,61%	12747
Final Série 1	3687	28,33%	3675	28,24%	5653	43,43%	13015
Final Serie 2	3688	28,33%	3676	28,24%	5654	43,43%	13018
Final Série 3	3693	28,33%	3680	28,23%	5661	43,43%	13035
Final Série 4	3696	28,34%	3683	28,24%	5665	43,43%	13043
Final Série 5	3697	28,34%	3683	28,23%	5666	43,43%	13046

Fonte: Próprio Autor.

Com os valores de alongamento adquiridos no ensaio, representados na tabela 1, podemos constatar que, neste material a parte central não acompanha a variação adquirida pelas partes extremas da amostra. Ao longo de cinco séries de

ensaios executadas, e com uma pausa entre cada série, foi observado que o comportamento do subcabo não se alterou. Este fato é constatado na tabela 1, em que a porcentagem total de cada região não foi alterada ao longo da série de procedimento executado.

Com os resultados obtidos para o subcabo de HMPE é possível observar o comportamento do corpo de prova, em que o material na região central (L central) teve um alongamento menor do que nas regiões das extremidades (L célula e L cilindro), tabela 2.

Tabela 2 - Aumento das mãos e região central – HMPE

HMPE	L Célula	L Cilindro	L Central	L Total
Variação S1	2,39%	2,45%	1,69%	2,10%
Variação S2	0,03%	0,03%	0,02%	0,02%
Variação S3	0,14%	0,11%	0,13%	0,13%
Variação S4	0,08%	0,08%	0,07%	0,06%
Variação S5	0,03%	0,00%	0,02%	0,02%
Variação total	2,67%	2,68%	1,92%	2,35%

Fonte: Próprio Autor

A tabela 3 apresenta a variação do alongamento nas extremidades, na região central e total acumulado no corpo de prova, após a bateria de ensaios realizados.

Tabela 3 - Alongamento do subcabo de HMPE

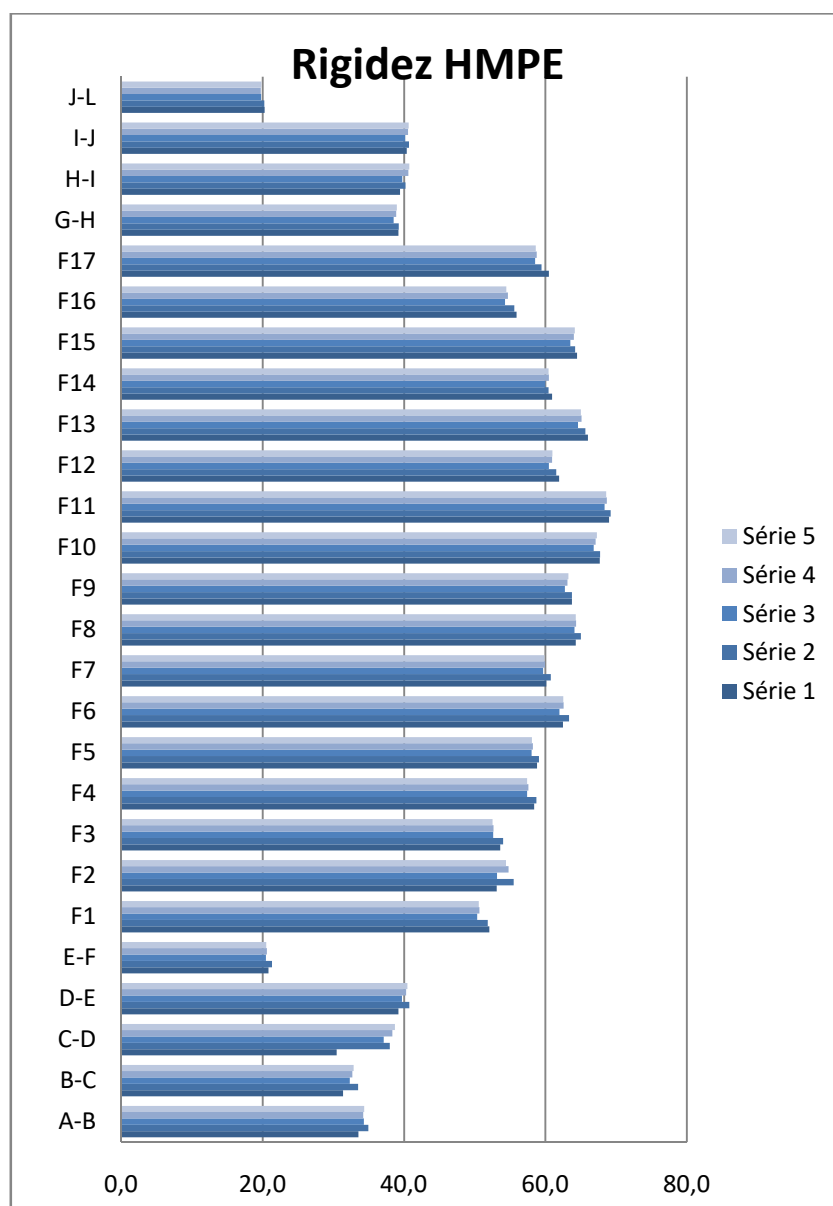
HMPE	L Célula		L Cilindro		L Central		L Total
	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	(mm)
Diferença	96	32,11%	96	32,11%	107	35,79%	299

Fonte: Próprio Autor.

4.1.3 RIGIDEZ HMPE

Nos resultados obtidos para a rigidez estática como para rigidez dinâmica, ocorreu de forma global uma leve redução em seus valores a cada repetição executada do procedimento proposto

Gráfico 3 - Rigidez da amostra de HMPE



Fonte: Próprio Autor.

Os valores de rigidez dinâmica ficaram em um intervalo acima dos valores obtidos em rigidez estática, e a equação para o cálculo da rigidez é adimensional. A

hipótese para esta observação da rigidez pode estar ligada ao fato do material HMPE apresentar fluência.

Tabela 4 - Valores de Rigidez da amostra de HMPE

RIGIDEZ HMPE					
	Série-1	Série-2	Série-3	Série-4	Série-5
A-B	33,6	35,0	34,3	34,2	34,4
B-C	31,4	33,5	32,3	32,7	32,9
C-D	30,4	38,0	37,1	38,3	38,7
D-E	39,2	40,7	39,7	40,3	40,5
E-F	20,8	21,3	20,5	20,6	20,5
F1	52,1	51,9	50,3	50,7	50,6
F2	53,1	55,5	53,1	54,8	54,4
F3	53,6	54,0	52,6	52,7	52,5
F4	58,4	58,7	57,4	57,6	57,4
F5	58,8	59,1	58,0	58,2	58,1
F6	62,5	63,3	62,0	62,6	62,5
F7	60,1	60,8	59,7	60,0	59,8
F8	64,3	65,0	64,1	64,3	64,3
F9	63,8	63,8	62,8	63,1	63,2
F10	67,7	67,7	66,8	67,1	67,3
F11	69,0	69,2	68,4	68,7	68,6
F12	61,9	61,5	60,5	60,9	61,0
F13	66,0	65,7	64,6	65,1	65,0
F14	61,0	60,4	60,0	60,5	60,4
F15	64,5	64,2	63,5	64,0	64,2
F16	55,9	55,6	54,3	54,7	54,5
F17	60,5	59,5	58,5	58,8	58,6
G-H	39,2	39,3	38,5	38,9	39,0
H-I	39,4	40,2	39,8	40,6	40,8
I-J	40,4	40,7	40,2	40,6	40,7
J-L	20,3	20,2	19,8	19,7	19,8
A-D	31,1	35,0	34,0	34,6	34,8
D-F	35,3	36,6	35,6	36,0	36,1
G-I	39,2	39,5	38,9	39,5	39,6
I-L	35,9	36,2	35,6	35,9	36,0

Fonte: Próprio Autor.

Os valores de rigidez estático e dinâmico obtidos em cada etapa na bateria de ensaios realizados, estão demonstrados na tabela 4 e representados no gráfico 3.

Sob esta condição, é possível considerar a hipótese de que o material está perdendo tenacidade, isto é, capacidade de absorver energia e se deformando permanentemente.

Na primeira bateria há uma variação demonstrada no gráfico 3, o material ao receber as primeiras elevações de carga promove uma distribuição de forças entre seus conjuntos de filamentos que o compõem, forçando um alinhamento e na maioria das vezes, ocorre uma acomodação. Fato observado e constatado somente nesta coleta de dados referente ao deslocamento ocorrido em uma das mãos da amostra (deslizamento), demonstrado na tabela 4 referente ao valor CD na série 1 comparado as demais séries.

4.2 VECTRAN

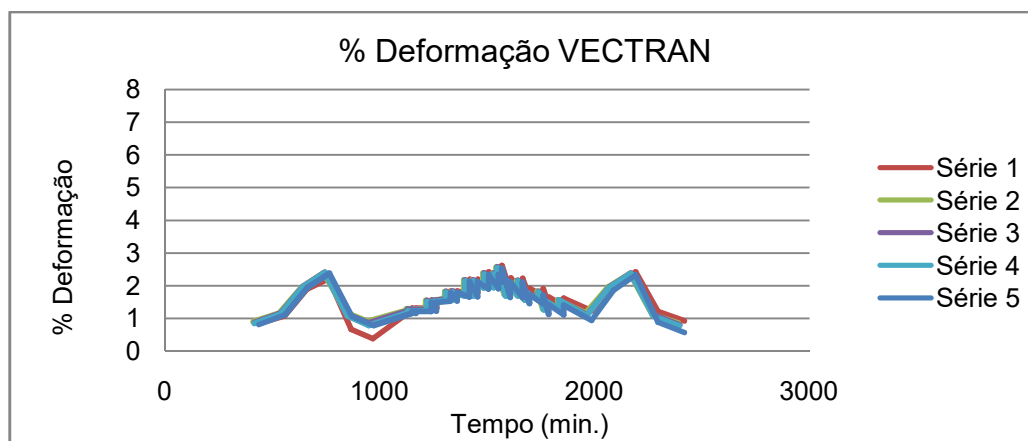
A Amostra de Vectran utilizada apresentou um tamanho total ao ser montada no equipamento de 9.412 mm e um comprimento central livre de 4.917 mm.

4.2.1 DEFORMAÇÃO VECTRAN

Com os extensômetros instalados na região central, o comportamento deste material na parte central pode ser verificado no gráfico 4.

Após a realização de 5 séries de ensaios, com intervalos de parada diferentes, foi verificado que o material teve uma diminuição do seu comprimento inicial, diferentemente do material de HMPE, pois este não apresenta fluência. Durante a primeira série de ensaio, foi constatado uma acomodação no trançado no subcabo, o qual ocasionou uma alteração no comprimento da amostra. O fato relatado é observado no gráfico 4.

Gráfico 4 - Deformação da amostra de VECTRAN

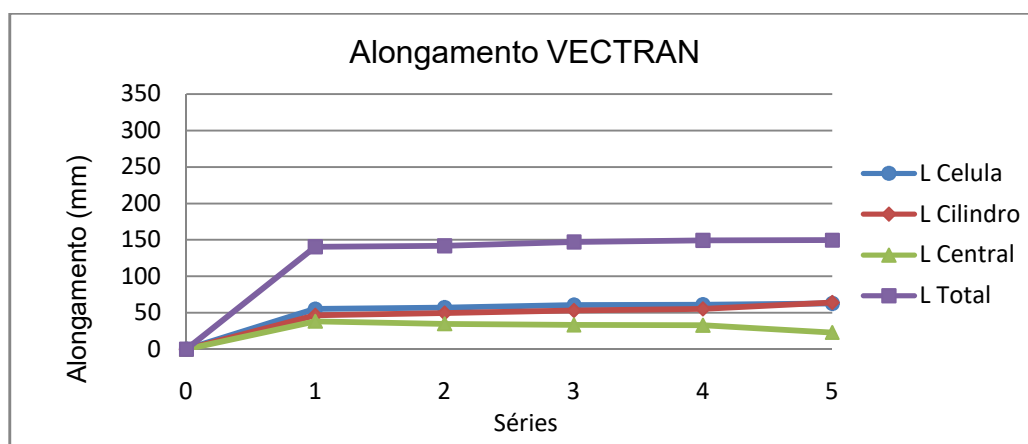


Fonte: Próprio Autor.

4.2.2 ALONGAMENTO VECTRAN

No Gráfico 5, é possível notar que embora o comprimento da amostra com 52,25% representando a parte central, 24,1% a extremidade da mão do lado do cilindro (L cilindro) e 23,65% a extremidade da mão do lado da célula de carga (L célula), após registrar um alongamento na primeira série executada, somente a parte central demonstrou diminuição no alongamento ao longo de cada serie executada. A amostra de uma maneira geral, apresentou um leve acréscimo em cada série de teste executada, conforme observado no gráfico abaixo.

Gráfico 5 - Alongamento da amostra de VECTRAN



Fonte: Próprio Autor.

Observando os valores de comprimento da amostra na tabela 5 referente às emendas (L célula e L cilindro), nota-se que a cada série do procedimento executada existe um aumento da mão. Esse comportamento pode estar acontecendo devido ao acomodamento da amostra nas emendas, pois o coeficiente de atrito do material é baixo, ou existe o alongamento do material neste ponto influenciado por algum fator que até o momento não foi constatado neste tipo de material.

As regiões das emendas são importantes ressaltar que tem o dobro de material do que a região central. Para o subcabo construído com o material de vectran, apenas com 5 séries é insuficiente de realizar uma discussão mais profunda, pois o comportamento das emendas é diferente da região central.

Tabela 5 - Alongamento e porcentagem do comprimento – VECTRAN

Comprimento da Amostra VECTRAN							
	L Célula		L Cilindro		L Central		L Total
	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	(mm)
Tamanho Inicial	2227	23,66%	2268	24,10%	4917	52,24%	9412
Final Série 1	2282	23,90%	2313	24,22%	4953	51,87%	9549
Final Serie 2	2283	23,91%	2316	24,26%	4948	51,83%	9547
Final Série 3	2286	23,94%	2320	24,29%	4944	51,77%	9550
Final Série 4	2287	23,94%	2323	24,31%	4946	51,76%	9555
Final Série 5	2289	23,95%	2332	24,40%	4935	51,64%	9556

Fonte: Próprio Autor.

A tabela 6 demonstra a variação de comprimento de cada região ao longo dos ensaios realizados. Nesta amostra foi observado que inicialmente apresentou uma diferença significativa entre as duas emendas, e devido à acomodação do cabo após cinco baterias de ensaio esta variação pode ser desconsiderada.

Tabela 6 - Aumentos das mãos e região central – VECTRAN

VECTRAN	L Célula	L Cilindro	L Central	L Total
Variação S1	2,47%	1,98%	0,73%	1,46%
Variação S2	0,04%	0,13%	-0,10%	-0,02%
Variação S3	0,13%	0,18%	0,55%	0,03%
Variação S4	0,04%	0,13%	0,59%	0,05%
Variação S5	0,09%	0,40%	0,37%	0,01%
Variação total	2,76%	2,8%	0,38%	1,52%

Fonte: Próprio Autor

A tabela 7 mostra o alongamento total e por região do subcabo. Como já observado, as emendas estão contribuindo mais significativamente com o aumento do comprimento da amostra do que a região central. Com base nos ensaios realizados, não foi possível levantar uma discussão mais detalhada.

Tabela 7 - Alongamento do subcabo de VECTRAN

VECTRAN	L Célula		L Cilindro		L Central		L Total
	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	
Diferença	62	43,06%	64	44,44%	18	12,50%	144

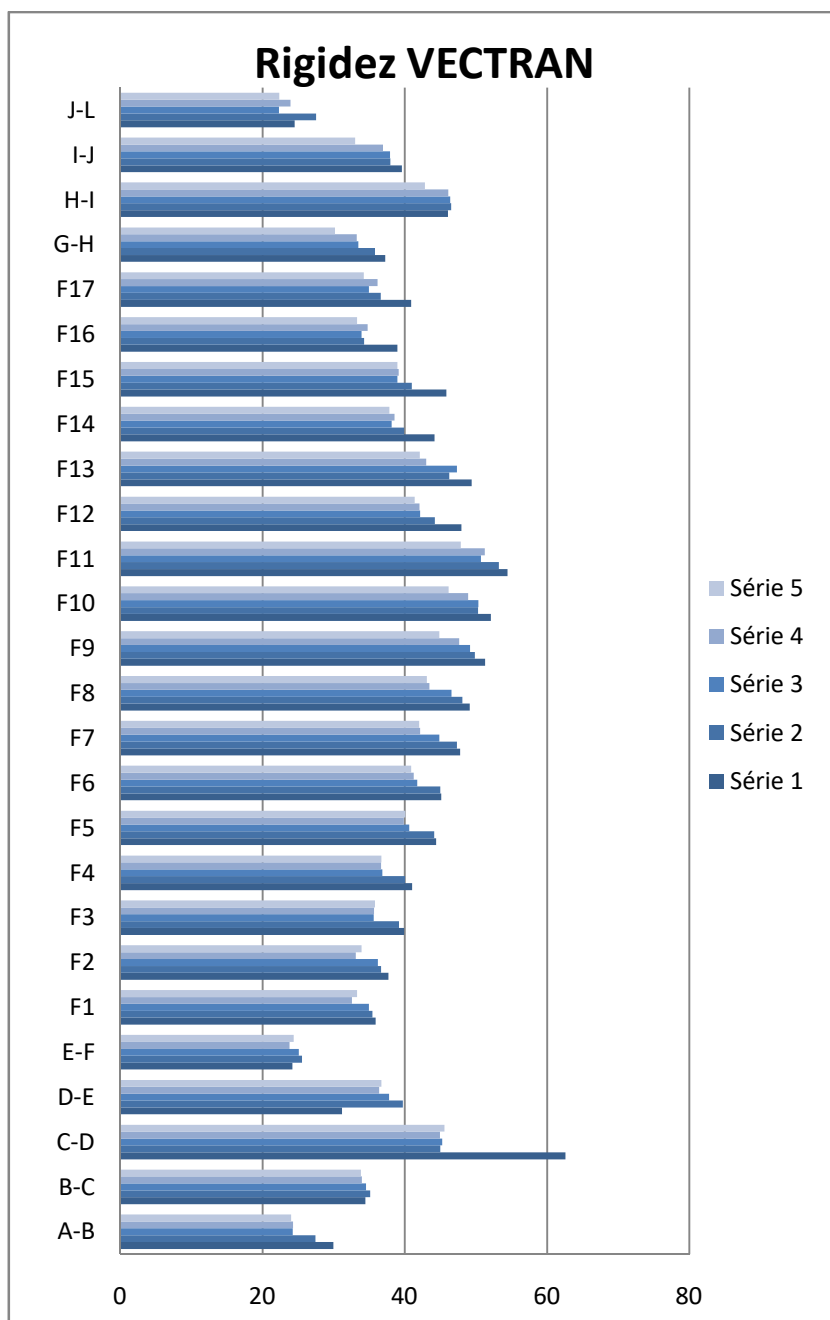
Fonte: Próprio Autor.

4.2.3 RIGIDEZ VECTRAN

Quando analisado o material Vectran, verificou-se ter uma rigidez menor quando comparado com o material HMPE e uma diminuição significativa do valor a cada repetição. A amostra apresentou valores de rigidez dinâmica que ficaram no mesmo intervalo da rigidez estática.

Para este corpo de prova foi observado uma acomodação no início da primeira fase influenciando diretamente o valor da rigidez observado no gráfico 6 e demonstrado na tabela 8. A hipótese para esta possível acomodação pode ser ligada ao alinhamento das pernas que compõem o subcabo.

Gráfico 6 - Rigidez da amostra de VECTRAN



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 8 - Valores de Rigidez da amostra de VECTRAN

RIGIDEZ VECTRAN					
	Série-1	Série-2	Série-3	Série-4	Série-5
A-B	30,2	27,7	24,5	24,5	24,2
B-C	34,8	35,6	34,9	34,4	34,2
C-D	63,8	45,9	46,1	45,8	46,4
D-E	31,8	40,7	38,7	37,3	37,6
E-F	24,4	25,9	25,4	24,1	24,7
F1	36,0	35,8	35,3	32,8	33,5
F2	38,5	37,4	36,9	33,7	34,6
F3	40,7	40,0	36,3	36,4	36,5
F4	41,9	40,9	37,6	37,4	37,4
F5	45,5	45,2	41,5	40,8	41,0
F6	46,2	46,1	42,7	42,2	41,8
F7	49,0	48,5	45,9	43,2	43,0
F8	50,4	49,3	47,7	44,5	44,1
F9	52,7	51,2	50,5	48,9	46,1
F10	53,6	51,7	51,7	50,2	47,4
F11	56,1	54,8	52,2	52,7	49,2
F12	49,2	45,3	43,1	43,1	42,4
F13	50,7	47,4	48,5	44,0	43,1
F14	45,3	40,8	39,0	39,4	38,7
F15	47,0	42,0	39,8	40,0	39,8
F16	39,8	35,0	34,6	35,5	33,9
F17	41,8	37,4	35,6	36,9	34,9
G-H	37,7	36,2	33,8	33,6	30,5
H-I	47,0	47,4	47,3	47,0	43,6
I-J	40,6	38,9	38,8	37,8	33,8
J-L	24,8	27,9	22,6	24,2	22,6
A-D	40,6	37,1	36,0	35,6	35,6
D-F	30,7	38,0	36,4	34,9	35,3
G-I	41,0	40,1	38,3	38,0	34,8
I-L	37,6	37,1	35,7	35,4	31,9

Fonte: Próprio Autor.

Os valores de rigidez estática global observado na tabela 8 referente aos pontos “AD” e “DF” antes da fadiga, nas duas últimas séries de ensaios, tendem a se

estabilizar. Esta tendência somente pode ser confirmada se o número de séries de testes fosse maior do que 5.

Para a rigidez estática dos pontos “GI” e “IL” após a fadiga, apresentam continuamente um decréscimo no valor da rigidez. Assim confirmando a hipótese da necessidade de aumentar o número de repetições do procedimento.

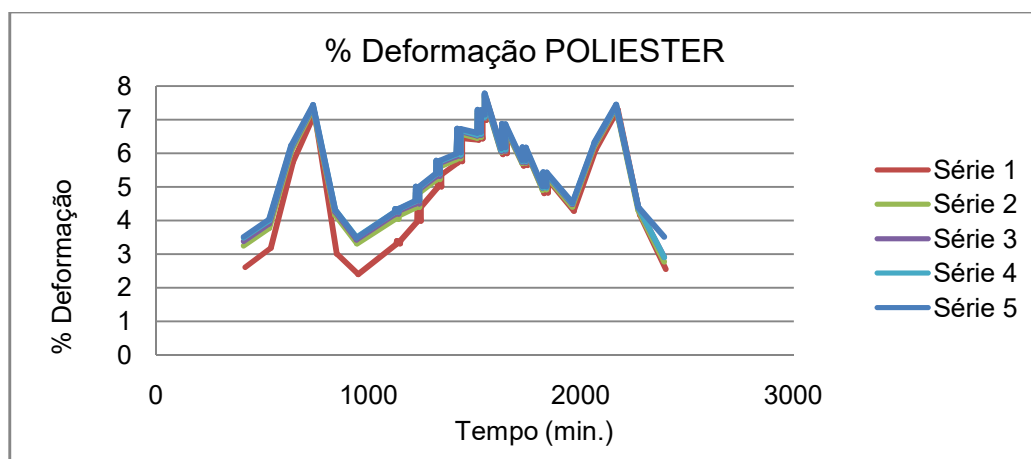
4.3 POLIÉSTER

A amostra registrou o comprimento total entre os olhais de 9.224 mm e teve disponível um comprimento central 2.720 mm utilizado no cálculo em questão.

4.3.1 DEFORMAÇÃO POLIÉSTER

No gráfico 7, foi observado um aumento do tamanho na região central a cada série executada, e o fato é constatado nas tabelas 9,10 e 11.

Gráfico 7 - Deformação da amostra de POLIÉSTER



Fonte: Próprio Autor.

O gráfico 7 mostra um salto da primeira para segunda série do ensaio, mas estando relacionado à acomodação do material, pois quando aplicado a primeira

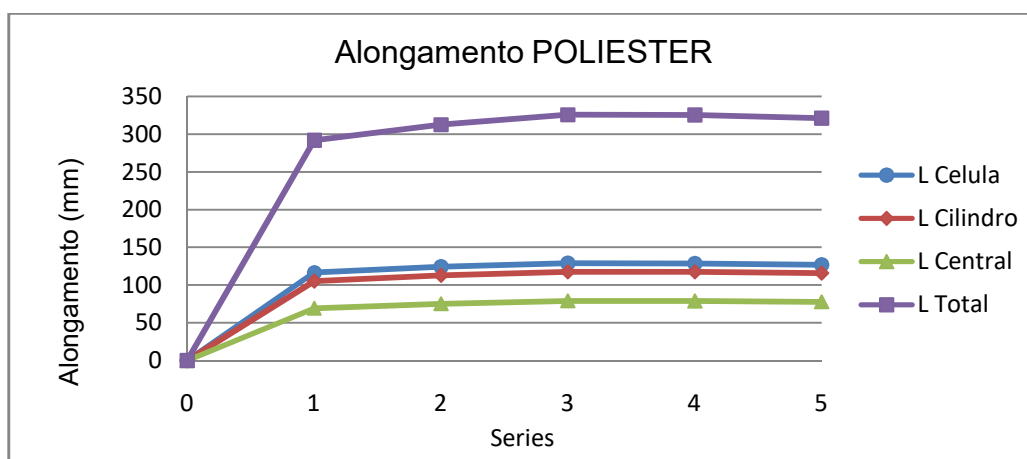
parcela de carga, ocorre o alinhamento entre os multifilamentos do subcabo. O segundo salto observado da primeira série em relação as outras séries de ensaio executadas, foi causado pela falta de energia elétrica. De maneira geral é possível afirmar que o comportamento da amostra se repetiu entre séries consecutivas.

4.3.2 ALONGAMENTO POLIÉSTER

Nesta amostra o comprimento da parte central representa 29,5% do comprimento total, sendo menor que o comprimento das extremidades (região da mão ou emenda) que tem 35,3% e 35,2% respectivamente. Para a amostra de poliéster durante a execução do ensaio não se observou acomodação de suas fibras durante aplicação das cargas que implicasse no aumento repentino do comprimento do subcabo.

No gráfico 8 foi observado para a primeira série do ensaio ocorreu o maior alongamento, e nas 4 séries seguintes, este alongamento não foi pronunciado. O comportamento da amostra de poliéster está relacionado ao fato de não possuir o fenômeno da fluência.

Gráfico 8 - Alongamento da amostra de POLIÉSTER



Fonte: Próprio Autor.

A tabela 9 mostra a relação de comprimento de cada região da amostra, e foi observado que a contribuição do comprimento nas três diferentes regiões permanece praticamente inalterada, somente existindo uma mudança significativa da primeira série para segunda série de teste. Provavelmente este comportamento permaneça independente do número de ensaios realizados. Novamente ressaltando que o poliéster não apresenta fluência, e que os alongamentos durante os ensaios repetitivos são ser muito pequenos ou insignificantes.

Tabela 9 - Alongamento e porcentagem do comprimento – POLIÉSTER

Comprimento da Amostra POLIÉSTER							
	L Célula		L Cilindro		L Central		L Total
	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	(mm)
Inicial	3245	35,18%	3259	35,33%	2720	29,49%	9224
Final Série 1	3362	35,33%	3364	35,35%	2789	29,31%	9516
Final Serie 2	3369	35,32%	3372	35,35%	2795	29,30%	9537
Final Série 3	3374	35,32%	3377	35,36%	2799	29,30%	9550
Final Série 4	3374	35,33%	3377	35,36%	2798	29,30%	9549
Final Série 5	3372	35,32%	3375	35,35%	2798	29,31%	9545

Fonte: Próprio Autor.

A tabela 10 demonstra os valores de cada região do cabo, do comprimento total e a variação total no final de cada uma das cinco séries executadas,

Tabela 10 - Aumento das mãos e região central – POLIÉSTER

POLIÉSTER	L Célula	L Cilindro	L Central	L Total
Variação S1	3,61%	3,22%	2,54%	3,17%
Variação S2	0,21%	0,24%	0,22%	0,22%
Variação S3	0,15%	0,15%	0,14%	0,14%
Variação S4	0,00%	0,00%	-0,04%	-0,01%
Variação S5	-0,06%	-0,06%	0,00%	-0,04%
Variação total	3,91%	3,55%	2,87%	3,48%

Fonte: Próprio Autor.

A tabela 11 demonstra o comportamento global da amostra, mostrando para cada região o alongamento ocorrido após 5 séries de ensaio.

Uma importante observação a ser ressaltada nos valores de comprimento total da amostra, se trata na redução do comprimento do cabo da terceira série para quarta e quinta série de ensaio.

Tabela 11 - Alongamento do subcabo de POLIÉSTER

POLIÉSTER	L Célula		L Cilindro		L Central		L Total
	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	
Diferença	127	39,57%	116	36,13%	78	24,30%	321

Fonte: Próprio Autor

4.3.3 RIGIDEZ POLIÉSTER

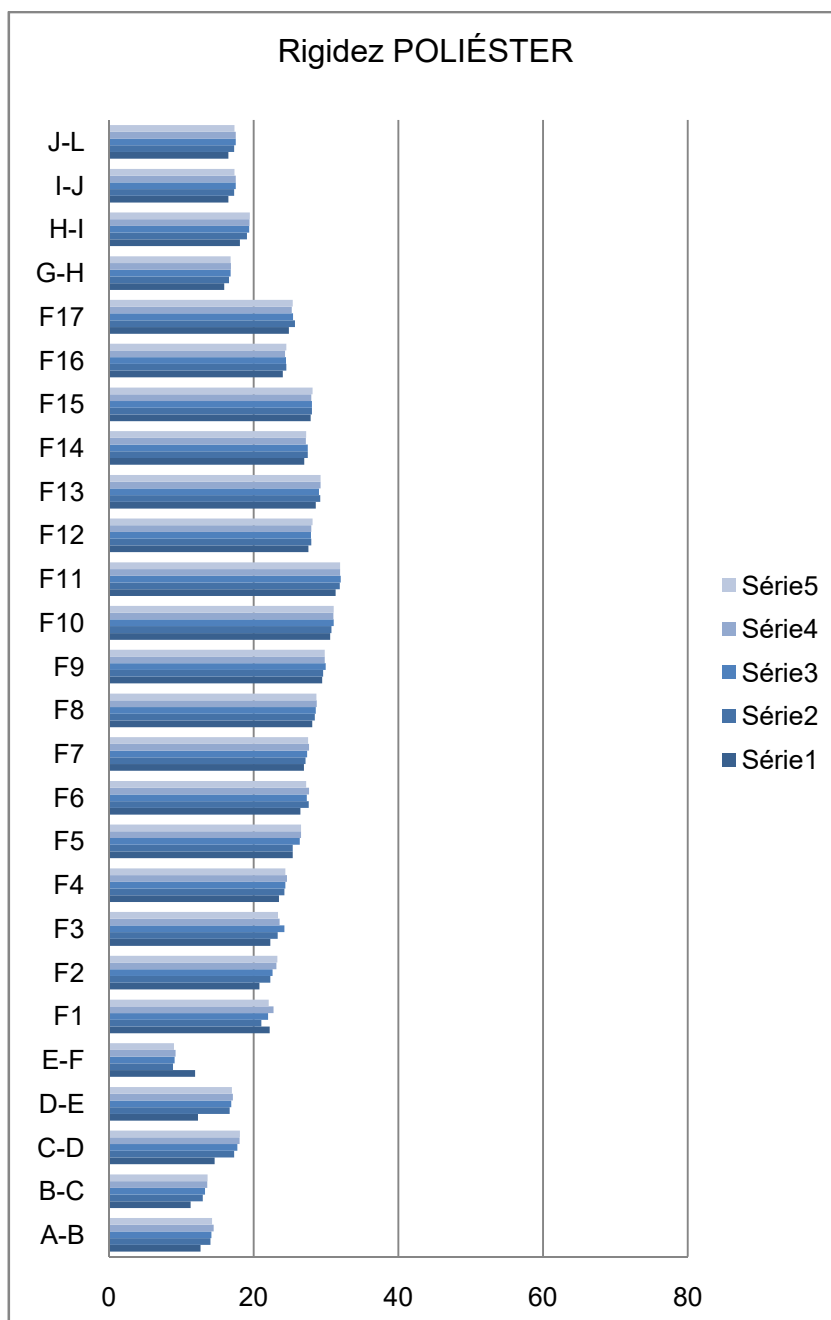
Referente à rigidez dinâmica na amostra, o gráfico 9 mostra que nas primeiras 3 faixas de fadiga, apresenta um salto no valor da rigidez quando comparado a rigidez estática. Este valor elevado que apresentou primeiramente, nas próximas faixas de fadiga apresenta uma redução. Esta observação acompanha as 5 séries de ensaios.

Na amostra de poliéster após algumas horas de ensaio houve uma interrupção de energia elétrica quase ao final da fase “DE”, ocorrido na primeira série, o qual ocasionou uma variação no valor da rigidez no ponto “DE” e “EF”. Após este acontecimento, o teste ocorreu de forma normal, não influenciando o resultado de rigidez estática e dinâmica, conforme demonstrado no gráfico 9 e tabela 12.

Na tabela 12, os valores de rigidez estática global “AD” e “DF” antes da fadiga e os pontos “GI” e “IL” depois da fadiga, apresentaram um aumento no valor da rigidez, que deve ser investigada referente ao tempo de hold em que fica exposta. De forma geral, a rigidez estática como a rigidez dinâmica apresentam um valor crescente ao longo de todas as 5 séries de ensaio executada.

A hipótese possível é estar ligada ao fator temperatura ambiente, o qual não foi verificado no decorrer de nenhum ensaio realizado. Durante o ensaio a amostra é constantemente molhada, mas a temperatura da água não é controlada e nem o ambiente é propício a este tipo de controle.

Gráfico 9 - Rigidez da amostra de POLIÉSTER



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 12 - Valores de Rigidez da amostra de POLIÉSTER

RIGIDEZ POLIESTER					
	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5
A-B	12,7	14,0	14,2	14,5	14,3
B-C	11,3	13,0	13,3	13,6	13,6
C-D	14,6	17,3	17,7	18,1	18,1
D-E	12,3	16,7	16,9	17,1	17,0
E-F	11,9	8,8	9,1	9,2	9,0
F1	22,2	21,1	22,0	22,7	22,1
F2	20,8	22,3	22,6	23,1	23,3
F3	22,3	23,3	24,2	23,6	23,4
F4	23,5	24,3	24,4	24,6	24,4
F5	25,4	25,4	26,4	26,6	26,6
F6	26,4	27,6	27,3	27,6	27,3
F7	26,9	27,2	27,4	27,6	27,5
F8	28,1	28,4	28,6	28,7	28,7
F9	29,4	29,6	30,0	29,8	29,8
F10	30,6	30,7	31,1	31,0	31,1
F11	31,3	31,9	32,0	32,0	32,0
F12	27,6	27,9	27,9	27,9	28,1
F13	28,6	29,2	29,0	29,2	29,2
F14	27,0	27,5	27,5	27,2	27,3
F15	27,9	28,1	28,0	27,9	28,1
F16	24,0	24,5	24,4	24,3	24,5
F17	24,9	25,7	25,5	25,3	25,4
G-H	15,9	16,6	16,8	16,8	16,8
H-I	18,1	19,1	19,4	19,4	19,5
I-J	16,5	17,3	17,5	17,5	17,4
J-L	16,5	17,3	17,5	17,5	17,4
A-D	12,3	14,3	14,6	14,9	14,9
D-F	12,3	15,1	15,3	15,5	15,3
G-I	16,6	17,4	17,7	17,7	17,7
I-L	12,4	13,2	13,5	13,4	15,4

Fonte: Próprio Autor.

5. CONCLUSÃO

A amostras de materiais diferentes, HMPE, vectran e poliéster, utilizados neste trabalho são constituídos de polímeros, porém se diferenciam na tecnologia empregada na sua obtenção. Por esta razão as características de comportamento mecânico das amostras se diferenciam, agregando vantagens e desvantagens entre si.

Mediante aos resultados individuais, trata-se neste estudo o comportamento resultante da rigidez estática e dinâmica e o alongamento das amostras. As três amostras foram submetidas ao mesmo procedimento proposto pela empresa Euronte – Lankhorst, o qual nos forneceu os corpos de provas.

Amostra de HMPE de forma geral manteve os valores de rigidez estática e dinâmica, se observando uma leve alteração nos valores. Este comportamento pode estar ligado ao efeito da fluência que o material possui.

E da mesma forma, o fenômeno da fluência age diretamente no alongamento da amostra. As três regiões verificadas apresentaram aumento no comprimento e de forma global para a amostra, obteve um aumento de 299 mm no comprimento do subcabo, resultando uma deformação de aproximada de 2,34%.

Amostra de vectran ao contrário da amostra de HMPE, os valores de rigidez estática e rigidez dinâmica tem uma tendência decrescente de forma geral. Este fato para ser comprovado é necessário realizar uma bateria de ensaios com o número maior de repetições do procedimento. Com os dados que serão obtidos torna-se possível confirmar esta observação.

Em se tratando do alongamento, a amostra de vectran tem um comportamento parecido com a amostra de poliéster, isto é, apresenta um alongamento pronunciado na primeira série e após este alongamento é pequeno ou inexistente. Para esta amostra o alongamento total foi de 144 mm, com uma deformação de 1,52%, menor do que amostra de HMPE.

Referente à amostra de poliéster ao contrário das outras amostras de HMPE e vectran, a rigidez estática e rigidez dinâmica aumentaram o valor consecutivamente em cada série de ensaios realizados. O material de poliéster não apresenta fluência.

Para o material de poliéster que não tem fluência, o comportamento do alongamento ficou igual ao material de vectram. O alongamento principal ocorreu na primeira série de ensaio, sendo os próximos alongamentos das séries seguintes muito menores ou desprezíveis.

Uma importante observação a ser realizado referente aos três tipos de amostras foi que um espaço mínimo de 4 horas é suficiente para que amostra relaxe, não retornando ao comprimento inicial.

6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros é sugerido que o número séries seja aumentado, no mínimo dobrando a quantidade de séries realizada, e que se tenham no mínimo dois corpos de provas do mesmo material. A segunda sugestão é obter as amostras de diferentes materiais com a mesma carga de ruptura, passo trança idêntico e comprimento de corpo de prova, assim facilitando as comparações.

A terceira sugestão é realizar “n” repetições do procedimento, coletar os valores de deformação nos devidos patamares e confrontar com o gráfico de fluência (carga constante versus tempo), para realizar possível comparação do comportamento mecânico do subcabo.

7. REFERÊNCIAS

7.1 Referencias Nominais

ALBRECHT, Carl Horst. Algoritmos evolutivos aplicados à síntese e otimização de sistemas de ancoragem. **Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil: Tese de Doutorado–Programa de Pós Graduação de Engenharia em Ciências Oceânica- Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2005.

ARAÚJO, R. T. (2009 a 2015) ABNT/CB-50 – Comitê Brasileiro de Materiais e estruturas Oceânicas para a Indústria de Petróleo e Gás Natural.

AASLAND, Michael; SOGSTAD, Bjørn E. Certificação de cabos de fibra para amarração offshore. In: **Conferência de Tecnologia Offshore**. OTC, 1999. pág. OTC-10911-MS.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3412. Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Yarn, 2013.

ASTM E1823 – 13. Standard Terminology Relating to Fatigue and Fracture Testing.

ABNT ISO/TS 14909:2013. Cabos de fibra para ancoragem de estruturas oceânicas – Polietileno de alto módulo (HMPE).

CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. Artiber editora, São Paulo, v. 24, 2002.

CRUZ, D. et al. Estudo experimental do comportamento de multifilamentos de poliamida submetidos a cargas de impacto em diferentes condições de encharcamento. **Engenharia Mecânica dos Sólidos**, v. 1, pág. 23-34, 2023.

DA CRUZ, Daniel Magalhães et al. Avaliação de modelos de energia para simulação numérica do comportamento mecânico de multifilamentos de poliéster. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 9, n. 1, p. 15321-01e, 2023.

DA CRUZ, DanielMagalhães ; CLAIN, FernandaMazuco ; GUILHERME, Carlos Eduardo Marcos . Experimental study of the torsional effect for yarn break load test of polymeric multifilaments, ActaPolytechnica, v. 62, p. 538-548, **2022**.

DA SILVA BELLONI, Eduarda et al. Fadiga e carga de impacto: Investigação experimental do comportamento mecânico de fios de polietileno de alto módulo. **Polímeros e Compósitos Poliméricos** , v. 30, p. 09673911221103934, 2022,

DE PAOLI, Marco Aurelio. Degradação e estabilização de polímeros, 2009

DEL VECCHIO, César José Moraes. **Materiais leves para amarrações em águas profundas** . 1992. Tese de Doutorado. Universidade de Leitura.

DUARTE, Juliano Picanço et al. Previsão da vida útil de fios de aramida aplicados à amarração offshore devido à degradação puramente hidrolítica. **Polímeros e Compósitos Poliméricos** , v. 27, n. 8, pág. 518-524, 2019.

FALKENBERG, Erik; ÅHJEM, Vidar; YANG, Limin. Melhores práticas para análise de sistemas de amarração com cabos de poliéster. In: **Conferência de Tecnologia Offshore** . Percentil Scopus: 35%, One Petro OTC, pág. D031S034R006., ., 2017.

FALKENBERG, Erik; YANG, Limin; ÅHJEM, Vidar. The Syrope method for stiffness testing of polyester ropes. In: International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Percentil Scopus: 31%, American Society of Mechanical Engineers, 2018. p. V001T01A067.

FALKENBERG, Erik; YANG, Limin; ÅHJEM, Vidar. Spring-Dashpot Simulations of Polyester Ropes: Validation of the Syrope Model. In: International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Percentil Scopus: 31%, American Society of Mechanical Engineers, 2019. p. V001T01A050.

FLORY, John F.; BANFIELD, Stephen J. Fiber rope myths. In: OCEANS'11 MTS/IEEE KONA. IEEE, 2011. p. 1-8.

FREDEL, Marcio C.; ORTEGA, Patricia; BASTOS, Edson. Propriedades mecânicas: Ensaio fundamentais. Vol. I.[s. L.]: Cermat Cerâmica, 2015.

GONÇALVES, R. C. F. Análise do processo de inspeção de linhas de ancoragem de unidades flutuantes de produção de hidrocarbonetos. 2003. 50 f Monografia (Pós-

Graduação Lato Sensu em Sistemas Offshore)–COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

GONÇALVES, R. C .(2010 à 2013) ABNT/CB-50 – Comitê Brasileiro de Materiais e estruturas Oceânicas para a Indústria de Petróleo e Gás Natural.

HAACH, L. F.(2009 à 2015) ABNT/CB-50 – Comitê Brasileiro de Materiais e estruturas Oceânicas para a Indústria de Petróleo e Gás Natural.

HAHN, Gabriela ; MONTEIRO DA FONSECA THOMÉ DA SILVA, Antônio Henrique ; TEMPEL STUMPF, Felipe ; MARCOS GUILHERME, Carlos Eduardo . Evaluation of residual strength of polymeric yarns subjected previous impactloads. ActaPolytechnica, v. 62, p. 473-478, 2022.

KHALID, Faryal et al. Evaluating mooring line test procedures through the application of a round Robin test approach. Journal of Marine Science and Engineering, Percentil Scopus: 57% v. 8, n. 6, p. 436, 2020.

LEECH, C. M.; FLORY, J. Analysis of splices used in large synthetic ropes. In: Offshore Technology Conference, Percentil Scopus: 35% OnePetro, 2001.

LOUZADA, EmilioLuizVieira ; GUILHERME, Carlos Eduardo Marcos ; STUMPF, Felipe Tempel . EVALUATION OF THE FATIGUE RESPONSE OF POLYESTER YARNS AFTER THE APPLICATION OF ABRUPT TENSION LOADS. Acta Polytechnica CTU Proceedings, v. 7, p. 76, 2016.

LEITE, Sergio; SA, LankhorstRopes.PercentilScopus: 35% OTC 20844-PP. 2010.

Ma, W., Huang, K., Lee, M.-Y., Albuquerque, S., & Palazzo, F. G. On the Design and Installation of an Innovative Deepwater Taut-Leg MooringSystem.Offshore Technology Conference, Houston - Texas (1999).

ROSSI, Ronaldo Rosa. Cabos de poliéster para Ancoragem de Plataformas Oceânicas em Águas Ultraprofundas. Orientador: António Carlos Fernandes. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.

SILVA, Franco Tedesco da. Verificação das constantes constitutivas transversalmente isotrópicas para cabos de ancoragem. 2012.26 f .Monografia do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia.

STUMPF, Felipe Tempel; GUILHERME, Carlos Eduardo Marcos; CHIMISSO, Fulvio Enrico Giacomo. Preliminary assessment of the change in the mechanical behavior of synthetic yarns submitted to consecutive stiffness tests. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, v. 3, p. 75-77, 2016.

SUDAIA, David Pascoal Avaliação do efeito do processo de envelhecimento de diferentes tipos de fibras sintéticas com aplicação em cabos de ancoragem permanente. 2015.321 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano, Programa de Pós-Graduação em Ciencia e Tecnologia de Polimeros, 2015.

TEMPEL STUMPF, Felipe ; MARCOS GUILHERME, Carlos Eduardo ; MAGALHÃES DA CRUZ, Daniel ; MONTEIRO DA FONSECA THOMÉ DA SILVA, Antônio Henrique ; BRIGUET BASTOS, Milton . A general constitutive model for the numerical simulation of different synthetic fibres used in offshore mooring. *Ships and Offshore Structures*, v. 1, p. 1-7, 2022.

VAN DINGENEN, J. L. J. Gel-spun high-performance polyethylene fibres. *High performance fibres*, v. 3, p. 62-73, 2001.

VANNUCCHI DE CAMARGO, Felipe et al. Análise de tensões cíclicas de fios de poliéster, aramida, polietileno e polímeros de cristal líquido. **Acta Politécnica** , v. 5, pág. 402-408, 2016.

WELLER, S. D. et al. Synthetic mooring ropes for marine renewable energy applications. *Renewable energy*, Percentil Scopus: 90% v. 83, p. 1268-1278, 2015.

WELLER, S.D.et al. Tension-tension testing of a novel mooring rope construction. In: International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Percentil Scopus: 31%, American Society of Mechanical Engineers, 2017. p. V001T01A078.

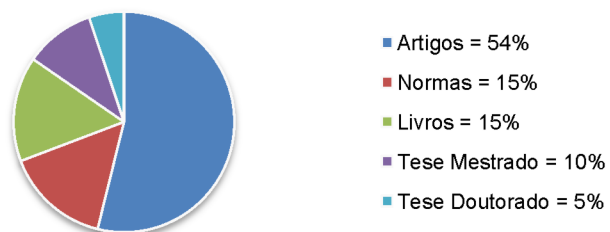
WETTON, R. E. Dynamic mechanical thermal analysis of polymers and related systems. *Developments in polymer characterization*, v. 5, p. 179-221, 1986.

WUNDERLICH, B. Thermal characterization of polymeric materials. In: *The basis of thermal analysis*. Toronto: Academic Press, 1997. p. 206-483.

7.2 Referencia por Extrato

Figura 20 – Distribuição Bibliográfica

Distribuição Bibliográfica por estrato

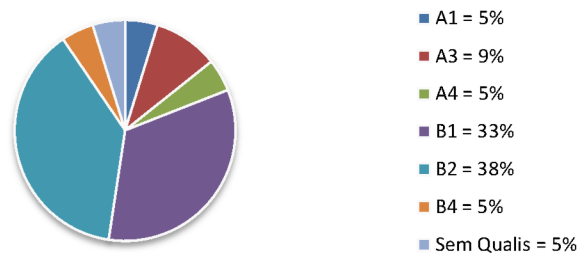


Fonte: Próprio Autor.

7.3 Referencias por Qualis

Figura 21 – Distribuição por Qualis

Distribuição dos Artigos por Qualis

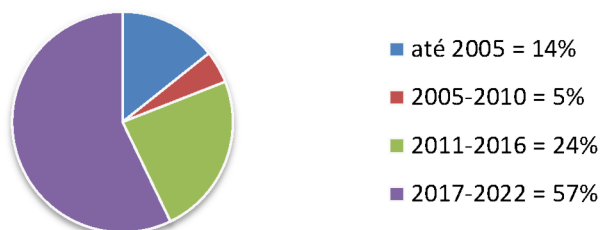


Fonte: Próprio Autor.

7.4 Referencias por Data dos Artigos

Figura 22 – Distribuição por Datas

Distribuição por Datas dos Artigos



Fonte: Próprio Autor.