



Proposta Metodológica para Elaboração de Projeto Conceitual de Oleodutos Terrestres

Diego Moraes Antunes e  Walber Paschoal da Silva

Versão do autor aceita publicada online: 11 junho 2023

Publicado online: 11 março 2024

¹Engenheiro Mecânico

² Doutorado em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ

Notas dos Autores

Os autores declaram que não há conflitos de interesses.

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA):

Antunes, D. M. & Silva, W. P. (2024, artigo aceito online). Proposta Metodológica para Elaboração de Projeto Conceitual de Oleodutos Terrestres. *Exacta*, artigo aceito online.

<https://doi.org/10.5585/2024.22969>

Resumo

Na indústria do petróleo e gás natural, os benefícios oferecidos pelo transporte por meio de dutos geram importantes ganhos para as operações logísticas, com redução de tempo e custo, quando comparado aos demais modos de transporte. Este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para o desenvolvimento do projeto conceitual de uma faixa de oleodutos terrestres, capaz de auxiliar aqueles responsáveis pelas tomadas de decisão. A metodologia contempla duas etapas principais, a primeira é responsável pelo levantamento de informações relativas ao empreendimento, aos dados do processo e à escolha do traçado preliminar. Para tanto, são identificadas áreas impróprias, a serem evitadas, como, por exemplo, áreas de proteção ambiental, áreas com algum tipo de reserva, ou áreas cujo uso do solo, estabelecido pelo Plano Diretor da cidade, impeça a passagem de oleodutos. A segunda etapa é responsável pela classificação das áreas a partir de normas técnicas e critérios de projeto, onde são levantadas informações sobre as características dos tubos a serem empregados, e da demanda energética capaz de suprir o empreendimento. É proposto, ainda, o uso integrado de um Sistema

de Informações Geográficas como ferramenta de apoio ao processo de produção dos mapas e análises espaciais. A metodologia é aplicada ao estudo da interligação entre o Porto do Açu e o Terminal de Cabiúnas, localizados no estado do Rio de Janeiro. Como resultado, foram identificadas três opções de rota para o projeto conceitual do oleoduto, as quais foram comparadas entre si, sob os pontos de vista econômico e socioambiental.

Palavras-chave: oleoduto terrestre. projeto conceitual. transportes dutoviários.

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR ELABORATION OF A CONCEPTUAL PROJECT FOR ONSHORE PIPELINES

Abstract

In the oil and natural gas industry, the benefits offered by pipeline transport generate important gains for logistical operations, with time and cost reductions when compared to other transportation modes. This work aims to propose a methodology for the development of the conceptual design of a strip of onshore pipelines, capable of helping those responsible for decision-making. The methodology includes two main stages, the first one is responsible for gathering information related to the enterprise, the process data and the choice of the preliminary route. For this purpose, inappropriate areas are identified, to be avoided, such as, for example, environmental protection areas, areas with some type of reserve, or areas whose land use, established by the city's Master Plan, prevents the passage of oil pipelines. The second stage is responsible for classifying the areas based on technical standards and design criteria, where information is collected about the characteristics of the tubes to be used, and the energy demand capable of supplying the enterprise. It is also proposed the integrated use of a Geographic Information System as a tool to support the production process of maps and spatial analysis. The methodology is applied in the study of the interconnection between Porto do Açu and the Cabiúnas Terminal, located in the state of Rio de Janeiro. As a result, three route options were identified for the conceptual design of the pipeline, which were compared with each other, from an economic and socio-environmental point of view.

Keywords: onshore pipeline. conceptual design. pipeline transport.

1 INTRODUÇÃO

Com a expansão das indústrias do petróleo e petroquímica, o surgimento de novos complexos industriais e a expansão dos existentes, há a necessidade de uma maior flexibilidade para operações logísticas, principalmente quando se trata de transporte modal marítimo. Diversas áreas portuárias foram leiloadas com o intuito de modernizar e expandir sua infraestrutura, como, por exemplo, a Petrobras que ofereceu R\$ 558,25 milhões em valor de outorga pelo terminal STS08A de Santos (BRASIL, 2021). Outro exemplo é o Porto do Açu (2017), considerado um dos maiores complexos industriais do Brasil, sendo responsável por 25% das exportações brasileiras de petróleo, além de possuir um parque térmico e ser o terceiro maior porto nacional em movimentação de carga.

A movimentação de petróleo e derivados é caracterizada como atividade primordial e estratégica para o Brasil e para o estado do Rio de Janeiro, sendo, conforme relatório de dados

TERRESTRES

estatísticos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o maior estado produtor de petróleo no território nacional (ANP, 2021). Possíveis interligações entre os complexos industriais, trariam grandes ganhos logísticos, principalmente com a introdução de operações de transporte marítimo na costa brasileira, bem como redução de tempo e custo com a introdução de uma nova, e curta, malha de dutos.

A motivação para construção de oleodutos e gasodutos está diretamente associada aos benefícios oferecidos por esse modal de transporte. A capacidade de transferência é muito superior quando comparada aos demais meios de transporte, ainda que sejam sistemas de alto custo de implantação (OZANNE, 2009, p.50; MEDVEDEVA E PENENKO, 2021, p.153). Com tamanha relevância para a indústria do petróleo e gás natural, o desenvolvimento do projeto executivo é auxiliado por normas e livros, com métodos consolidados, abordando parâmetros técnicos e diretrizes para o desenvolvimento detalhado de traçados, cálculos de espessura e tensões, além do dimensionamento dos equipamentos. No entanto, na fase do planejamento estratégico, os estudos conceituais que antecedem a elaboração do projeto básico de dutos, são pouco abordados pela literatura, deixando uma grande parte das decisões a serem tomadas com base no conhecimento e na experiência do projetista.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para o desenvolvimento do projeto conceitual de uma faixa de oleodutos terrestres, capaz de auxiliar aqueles responsáveis pelas tomadas de decisão, durante essa fase do planejamento estratégico. A metodologia contempla, ainda, o uso integrado de um Sistema de Informações Geográficas como ferramenta de apoio ao processo de produção dos mapas e análises espaciais, durante o desenvolvimento do traçado da nova diretriz dos dutos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento da metodologia está associado ao escopo mínimo necessário para apresentação das informações que compõem o projeto conceitual de dutos terrestres. No entanto, o termo projeto é amplo, e dessa forma, é importante definir com clareza o tipo de projeto e o conteúdo mínimo a ser entregue pelo projetista. Nesse sentido, este capítulo apresenta um levantamento e uma avaliação de normas, artigos, livros técnicos e pesquisas relacionadas ao tema projeto de dutos, com seus principais conceitos e definições.

No que se refere à legislação e à normatização, a lei federal brasileira nº 13.303, de 30 de junho de 2016, define projeto conceitual, sobre o termo anteprojeto de engenharia, e seu

conteúdo mínimo, independentemente das características do empreendimento, como: “peça técnica com todos os elementos de contornos necessários e fundamentais à elaboração do projeto básico, [...]” (BRASIL, 2016, p.16). Já a ANP, através da Regulamentação Técnica de Dutos Terrestres (ANP, 2018), não apresenta nenhuma definição do termo, mas relaciona os documentos que fazem parte do projeto básico de dutos terrestres. A lista de documentos apresentada no RTDT (Ibid.) é extensa e abrangente, cobrindo todas as fases do empreendimento, incluindo a necessidade de procedimento específico para arquivamento da documentação, em sua última revisão, antes da fase da construção e montagem do duto.

As normas brasileiras sobre projeto de dutos, NBR 15280 - 1 (ABNT, 2017) e NBR 12712 (ABNT, 2002), e internacionais, ASME B31.4 (ASME, 2019), ASME B31.8 (ASME, 2018) e CSA Z662 (CSA, 2016), trazem informações e diretrizes para elaboração do projeto executivo, mas também fazem menção aos estudos preliminares necessários. Referências sobre a implantação do traçado de faixas de dutos estão disponíveis nas normas N-2624 (PETROBRAS, 2014), ASME B31.4 (ASME, 2019), ASME B31.8 (ASME, 2018), CSA Z662 (CSA, 2016), e em regulamentações do *Code of Federal Regulations* (CFR) 49, *Part 195* e *Part 192*, emitidas pelo governo dos Estados Unidos para transporte de líquidos e gás natural respectivamente (CFR, 2006). Essas normas e regulamentações expõem as premissas e recomendações necessárias para obter opções possíveis de rota para lançamento de dutos terrestres.

A TRANSPETRO (2019) utiliza o padrão interno EP-3TP-00029-B: Relação de documentos de engenharia por fase de projeto, para identificar os documentos que serão emitidos em cada uma das etapas do empreendimento. Esse padrão utiliza como referência, o nível de maturidade e precisão dos documentos para que seja possível elaborar a estimativa de custo com base nas classificações atribuídas pela *American Association of Cost Engineers* (AACE), através do documento AACE (2005).

Quanto às pesquisas relacionadas ao tema, Rennó e Lemgruber (2009) com base na metodologia de gerenciamento de projeto FEL (*FrontEnd – Loading*), criada pelo IPA (*Independent Project Analysis*), caracterizaram o projeto conceitual de dutos como um documento que deve conter, em linhas gerais, a concepção a ser adota: “O Projeto Conceitual deve conter croquis; esboços; fotos ou desenhos; características dos produtos; parâmetros operacionais; e todas as demais informações necessárias para o desenvolvimento do Projeto Básico.”.

TERRESTRES

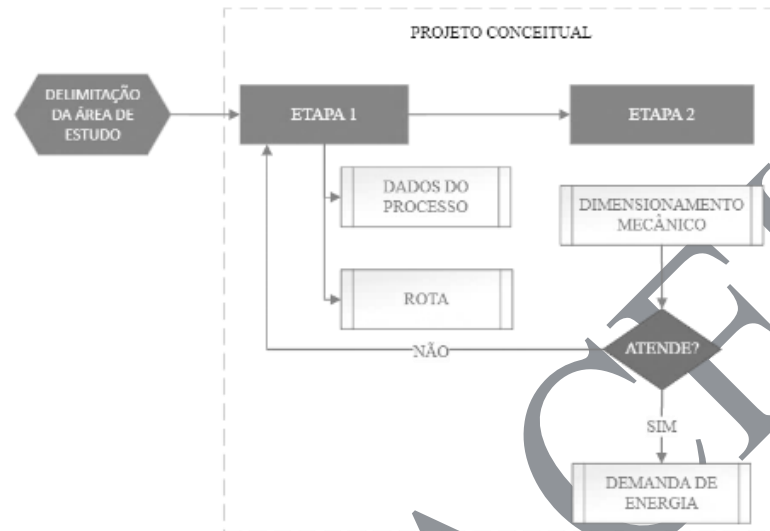
Contudo, além das informações do produto e dos parâmetros operacionais do empreendimento, informações relativas à seleção da rota impactam diretamente no dimensionamento mecânico e sobre a demanda energética. Segundo Freire (2009), as atividades de estudo, escolha, detalhamento e implantação do traçado de um duto terrestre, são as primeiras a serem realizadas. Em relação a seleção da rota, Ozanne (2009, p. 43, tradução nossa) destaca que “uma das etapas mais críticas é determinar quais são as opções possíveis de rota para lançar o duto entre os pontos iniciais e finais”.

Com o objetivo de organizar as atividades que deveram ser executadas pelos projetistas, durante as fases de planejamento, concepção e construção de dutos terrestres, Menon (2011) apresentou esse conteúdo em formato sequencial: Este livro foi preparado para dar aos engenheiros e técnicos conhecimento prático dos processos de planejamento, projeto e construção do sistema de dutos. (MENON, 2011, p.11, tradução nossa).

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve em detalhes os procedimentos para a aplicação da metodologia proposta, e o fluxograma da figura 1, apresenta a sequência e interdependência de suas etapas.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia proposta



Fonte: Próprio autor

A etapa 1 do projeto conceitual está focada em reunir as informações relativas ao empreendimento, aos dados do processo e à escolha do traçado preliminar, fundamentais para que se possa entender o objetivo e até mesmo redefini-lo em uma etapa posterior. O objetivo pode ser alterado em razão das dificuldades de transportar um determinado produto, cujas características físicas imponham elevados custos na aquisição de materiais e equipamentos, em razão das dificuldades de implantação de uma nova faixa de dutos, ou até mesmo na impossibilidade de utilização de faixa existente e principalmente em detrimento de restrições orçamentárias.

Reunidas as informações da etapa 1, dá-se início ao desenvolvimento da etapa 2 que tem a função de levantar informações sobre as características dos tubos que serão empregados e da demanda energética que suprirá o empreendimento. A etapa 2 também tem a função de retroalimentar a etapa 1, visto que o perfil geométrico do duto, constituído na seleção do traçado, influencia diretamente nas características dos tubos e, conseqüentemente, na especificação dos equipamentos e na escolha dos locais de instalação dos mesmos.

Em relação a seleção de rota, mesmo que existam variações entre os códigos, o objetivo central é auxiliar o projetista a selecionar uma rota economicamente viável e com baixo impacto ambiental e social. “É importante identificar que, embora os vários códigos e padrões

TERRESTRES

ofereçam, aparentemente, diferentes abordagens de cálculo e procedimentos para chegar a uma solução específica, essa diferença pode não ser tão significativa.” (ELLENBERGER, 2010, p. 11, tradução nossa).

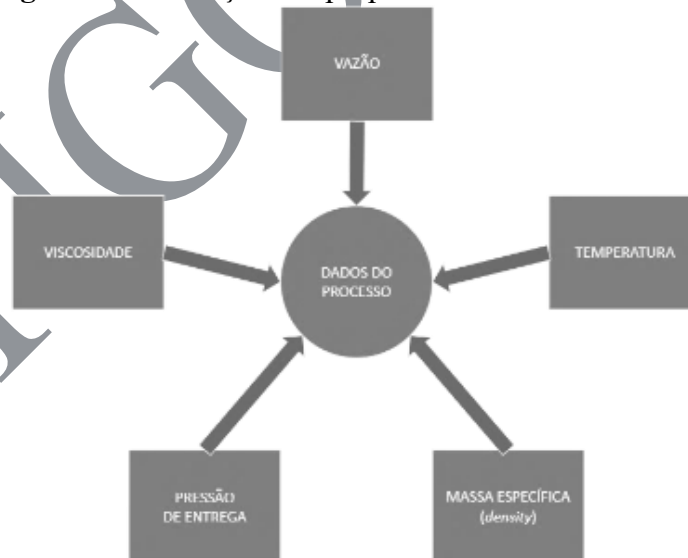
1.1 ETAPA 1 – ATIVIDADES PRELIMINARES

Após concepção do projeto, quando já existe a delimitação da área de estudo cujo empreendimento está submetido, inicia-se a coleta de dados relativos ao processo de transferência de produtos e, depois, é definida a rota de lançamento.

1.1.1 Dados do Processo

Caracterizam-se como dados do processo as informações relativas ao produto que será transportado, como: características físico-químicas, temperatura, vazão e a pressão de entrega requerida. Estas informações devem ser fornecidas para que sirvam como premissas do projeto, sendo determinantes na seleção das normas e legislação que serão empregadas no empreendimento. No entanto, para o projeto conceitual, alguns parâmetros relativos às características do produto devem ser destacados, pois serão utilizados diretamente no cálculo analítico da espessura. Os dados do processo, relativos ao desenvolvimento do projeto conceitual, estão indicados na figura 2.

Figura 2 – Interação das propriedades físicas e do empreendimento



Fonte: Próprio autor

Os parâmetros de vazão e pressão de entrega requeridos afetam diretamente a viabilidade do empreendimento, em função do aumento da potência requerida e das demais funcionalidades do site que abrigam as unidades e estações de bombeio, impactando

diretamente no custo final do empreendimento. Dessa forma, a seleção do diâmetro ideal será assunto discutido na etapa 2 desta metodologia.

1.1.2 Definição do Traçado

A partir da concepção do empreendimento, ou seja, quais produtos serão movimentados e os pontos de partida e chegada, inicia-se o estudo do traçado preliminar do duto. Este estudo leva em consideração uma série de restrições e premissas que devem ser observadas para garantir a redução do custo e dos impactos sociais e ambientais, e suas etapas são apresentadas no fluxograma da figura 3.

Figura 3 - Sequenciamento de etapas para definição do traçado preliminar



Fonte: Próprio autor

Conforme indicado na norma N-2624 (PETROBRAS, 2014, p.5), a partir da cartografia e imagens mais detalhadas da região, deve ser elaborada uma base de dados para o estudo de alternativas de traçado com as seguintes informações:

- cursos d'água;
- divisas municipais, distritais e estaduais;
- lagoas;
- reservatórios;
- rodovias federais, estaduais e municipais;
- ferrovias;
- cidades;
- pistas de pouso;
- linhas de transmissão de energia elétrica;
- faixas de dutos existentes;
- toponímias disponíveis na cartografia convencional;
- curvas de nível e/ou modelo digital de superfície;
- áreas de agricultura ou pastagem;
- unidades de conservação;
- reservas indígenas e de comunidades quilombolas;
- outras informações de interesse às atividades de implantação.

TERRESTRES

O quadro 3 apresenta a lista de recomendações da norma N-2624 (PETROBRAS, 2014) para a definição do traçado, destacando que não estão associadas ao tipo de produto transportado, ou seja, valem tanto para oleodutos quanto para gasodutos, que inclusive podem compor a mesma faixa de dutos.

Quadro 3 – Recomendações para definição do traçado da faixa de dutos

Item da norma N-2624	Descrição do item
5.4.1	Evitar a necessidade de supressão de matas nativas.
5.4.2	Entre mata nativa e reflorestamento, priorizar a supressão de reflorestamento.
5.4.3	Entre reflorestamento e silvicultura, priorizar a supressão de silvicultura.
5.4.4	No caso de não ser possível evitar supressão de vegetação arbórea procurar atingir as áreas com menor densidade.
5.4.5	Mínimizar a movimentação de terra na fase de construção.
5.4.6	Obter o caminhamento com o menor comprimento possível.
5.4.7	Reduzir a quantidade de interferências, desde que atendidos os itens anteriores e atingir o menor número possível de propriedades.
5.4.8	Aproveitar os caminhos internos ou estradas vicinais existentes para facilitar acesso, locando a faixa em suas proximidades, desde que não acarrete maior custo final à instalação.
5.4.9	Situar a lateral da faixa junto às divisas de propriedades.
5.4.10	Evitar local a faixa em áreas de domínio público
5.4.11	Evitar locais com afloramentos rochosos, encostas e terrenos susceptíveis a mecanismos de falha geotécnica.
5.4.12	Evitar locais de brejos e terrenos com baixa suportabilidade. Caso não seja possível, transpor estes trechos sem implantação de curvas.
5.4.13	Nos casos de cruzamentos, priorizar locais planos, onde não exista afloramento de rochas, longe de habitações e de forma ortogonal ao eixo da interferência.
5.4.14	Nos casos de travessias, priorizar os locais com a seção mais próxima da situação ortogonal ao corpo de água, prevendo-se necessidade de área lateral à travessia para os serviços de montagem.
5.4.15	Priorizar locais de travessia que sejam isentos de afloramentos rochosos, sinais de erosão nas margens e áreas de exploração mineral.
5.4.16	Evitar a proximidade de edificações, especialmente moradias e loteamentos atuais ou em projeto.
5.4.17	Evitar a proximidade da faixa com áreas minerárias e ambientais, áreas indígenas e locais de nascente de água.
5.4.18	Evitar áreas de possível expansão urbana e polos industriais.
5.4.19	Evitar paralelismos com linhas de transmissão acima de 69 kV e ferrovias eletrificadas. [Prática Recomendada].

Fonte: Adaptado da norma N-2624 (PETROBRAS, 2014, p.5).

Sobre a base de dados da seção 6.1.2 da norma N-2624 (PETROBRAS, 2014), devem ser elaboradas, no mínimo, 3 alternativas de traçado consideradas técnico e ambientalmente viáveis, que levem em consideração as práticas recomendadas e quaisquer requisitos legais. Nesse processo, destaca-se a importância de selecionar a rota que atenda ao empreendimento, evitando impactos sobre áreas restritas (áreas de proteção permanente, áreas com uso do solo inapropriado, etc.) e sobre a dificuldade de executar o lançamento do duto em regiões que contenham travessias sobre ferrovias ou rodovias.

Mas, destaca-se que, uma rota nas proximidades de uma rodovia permite o rápido acesso ao duto para inspeção e manutenção, um caminho mais curto reduz a quantidade de tubos necessários. Observa-se, ainda, que deve ser analisada o conjunto de fatores, pois há situações em que pode ser necessário que a rota atravessasse uma área de proteção ambiental (APP), mesmo sendo algo a se evitar, por exemplo, quando ao se desviar de uma APP a rota ficasse com uma cota muito superior à do nível do mar, aumentando a dificuldade da construção e o custo associado. Observa-se ainda que, para a seção 5.4.18, das recomendações do quadro 3, é fundamental que a identificação dessas áreas esteja em consonância como o Plano Diretor de cada cidade cortada pela faixa de dutos.

1.1.3 Dimensionamento Mecânico

O dimensionamento mecânico, como parte da etapa 2, se inicia após a delimitação da área de estudo, a coleta dos dados e a definição das opções de traçado preliminar. As fórmulas para desenvolvimento do estudo hidráulico e para determinação da espessura mínima estão relacionadas a seguir. A seleção do diâmetro inicial deve ser feita com base na velocidade do escoamento, dentro da faixa comumente utilizada no escoamento de oleodutos, que ocorrem entre 1 e 2 m/s (BAHADORI, 2017). A viscosidade também é um fator determinante nessa escolha, pois está diretamente relacionada a perda de energia. Primeiro verifica-se a ordem de grandeza da velocidade do escoamento, em função da vazão requerida pelo empreendimento e da área da seção interna (equação 1).

$$Q = V/A \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão volumétrica;

V = velocidade do fluxo;

A = área relativa ao diâmetro interno.

Velocidades elevadas provocam grandes perdas de carga, sendo necessário o aumento das dimensões do tubo, resistindo ao aumento de pressão do bombeio, para superar essa perda. Em seguida, calcula-se o número de Reynolds (equação 2) e, com esse valor, é possível saber em qual regime o escoamento se encontra. Esse regime pode ser classificado como laminar ($R < 2000$), transiente ($2000 < R < 4000$) ou turbulento ($R > 4000$).

$$R = VD\rho/\mu \quad (2)$$

Onde:

TERRESTRES

R = número de Reynolds;
 V = velocidade do fluxo;
 D = diâmetro interno;
 ρ = massa específica;
 μ = viscosidade cinemática.

O número de Reynolds é função da velocidade, do diâmetro, da massa específica e da viscosidade cinemática. Essa relação também pode ser transformada para utilização da viscosidade absoluta. Com o número de Reynolds e a rugosidade relativa, calculada através da equação 3, é possível determinar o fator de atrito provocado pelo fluido na parede do duto.

$$\varepsilon = t/D \quad (3)$$

Onde:

ε = rugosidade relativa;
 t = espessura do tubo;
 D = diâmetro interno.

Para realizar o cálculo do fator de atrito no regime laminar utiliza-se a equação 4, e para o regime turbulento utiliza-se a equação 5. Para a região de transição é complexo e não usual a utilização de fórmulas. Segundo Menon (2004, p. 44), para essa região de transição, o número de Reynolds fica entre 2000 e 4000, e a maioria dos projetistas se baseia no fluxo turbulento para calcular o valor do fator de atrito.

$$f = 64/R \quad (4)$$

Onde:

f = fator de atrito;
 R = número de Reynolds.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\left(\frac{\varepsilon}{3,7D} \right) + \frac{2,51}{(R\sqrt{f})} \right] \quad (5)$$

Onde:

f = fator de atrito;
 ε = rugosidade relativa;
 D = diâmetro interno;
 R = número de Reynolds.

Deste modo, pode-se calcular a perda de carga ao longo do duto. O número de Reynolds e o fator de atrito são fundamentais para compor a perda de carga, sendo fundamental verificar se os dados encontrados estão condizentes com a ordem de grandeza esperada pelo

projetista.

$$h=f(L/D) \left(V^2/2g \right) \quad (6)$$

Onde:

h = perda de carga por atrito;
f = fator de atrito;
L = comprimento do duto;
V = velocidade do fluxo;
g = aceleração da gravidade.

No desenvolvimento do projeto conceitual não são consideradas as perdas atribuídas às válvulas e conexões flangeadas, pois têm pouca representatividade quando comparadas com a perda do atrito ao longo de sua extensão (Menon, 2015).

Por fim, calcula-se a espessura mínima necessária dos tubos, além de verificar se a espessura pré-selecionada é razoável, ou se o cálculo hidráulico necessita ser revisto. A espessura mínima leva em consideração a pressão de projeto, o que inclui todas as perdas de carga do sistema. Na equação 7, conforme indicado pela NBR 15280 (ABNT, 2017), deve ser incluído, para o cálculo da espessura total da parede ou da pressão de projeto, o acréscimo de espessura para compensar a corrosão.

$$t = pD/2SEF + t_c \quad (7)$$

Onde:

p = pressão de projeto;
D = diâmetro externo do duto;
S = tensão de escoamento do tubo;
E = fator de junta;
F = fator de projeto.

Antes de iniciar a inserção dos dados na equação 7 deve-se, com base nos dados pré-selecionados, calcular a pressão máxima suportada pelo duto. Esta informação é importante para que seja possível comparar se pressão máxima está compatível com a pressão imposta pelo processo, caso contrário, caberá ao projetista adequar os dados mecânicos do tubo.

Concluídas as análises, utilizando a espessura total e os dados do material, calcula-se a pressão máxima operação admissível (PMOA). Com o cálculo hidráulico preliminar concluído, é possível calcular a potência requerida pelo motor da bomba e, conseqüente, a demanda energética. Para o cálculo da potência hidráulica é necessário conhecer as pressões de

TERRESTRES

entrada e saída da bomba para a vazão requerida. Em seguida, é possível calcular a potência requerida pelo motor

$$P_w = (p_2 - p_1)Q / \eta_b \tag{8}$$

Onde:

- P_w = potência hidráulica requerida;
- p_2 = pressão de descarga;
- p_1 = pressão de sucção;
- Q = vazão volumétrica;
- η_b = eficiência da bomba.

$$P_d = P_w / (\eta_d \phi) \tag{9}$$

Onde:

- P_d = potência do motor;
- P_w = potência hidráulica requerida;
- η_d = eficiência do motor;
- ϕ = fator de potência.

4 APLICAÇÃO

Neste capítulo a metodologia é aplicada e testada na interligação entre o Porto do Açú ao Terminal de Cabiúnas, duas importantes áreas industriais localizadas no estado do Rio de Janeiro.

1.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

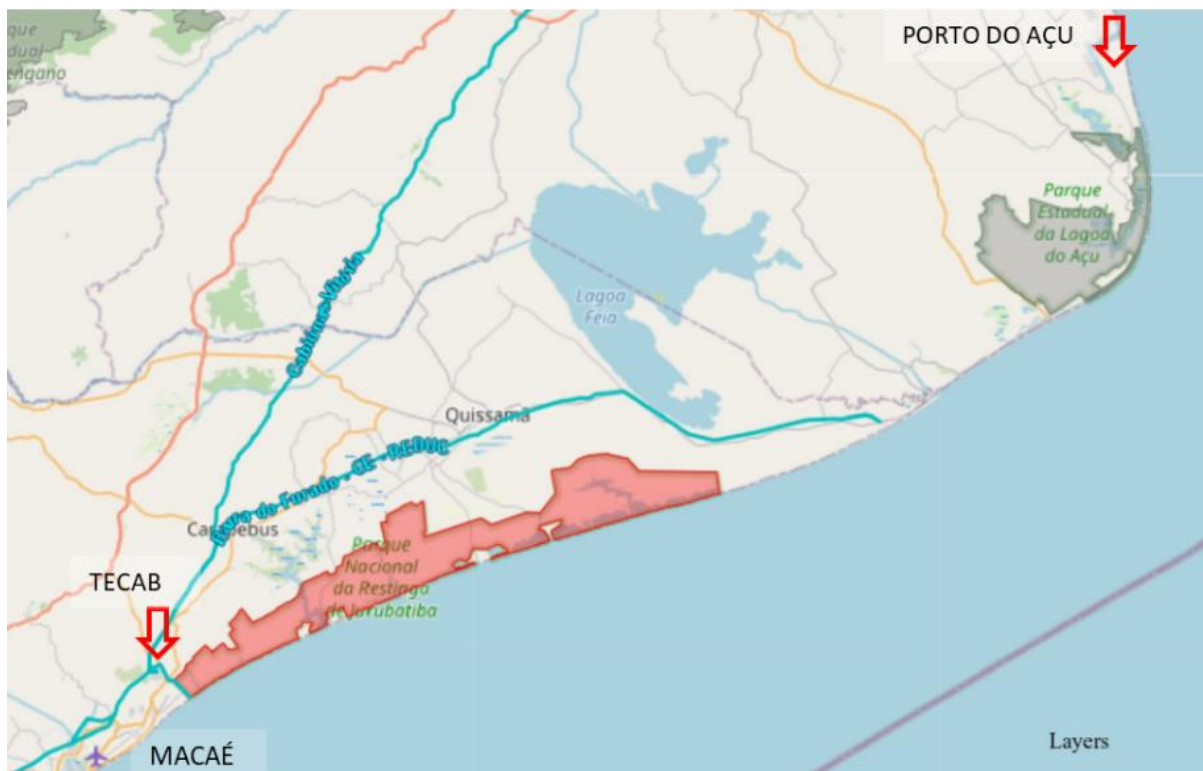
Na delimitação da área de estudo devem ser definidos os pontos de origem e destino e o que será transportado, conforme apresentado no quadro 4 e na figura 4.

Quadro 4 – Localização dos complexos industriais que serão interligados

Complexos Industriais		Localização (Município)	Coordenadas SIRGAS 2000 UTM – Zona 24S
Ponto de partida	Porto do Açú	Barra de São João	291021,0000 ; 7581059,000
Ponto de chegada	Terminal de Cabiúnas (TECAB)	Macaé	219379,4735 ; 7533286,712

Fonte: Próprio autor

Figura 4 – Localização geográfica dos pontos de interligação e demarcação das regiões de proteção ambiental dentro das possíveis áreas de criação da nova faixa de dutos



Fonte: TRANSPETRO (2021)

1.3 DADOS DO PROCESSO

Na sequência, é realizada a coleta dos dados requeridos, como as características físicas do produto e informações complementares sobre vazão e pressão no ponto de entrega, conforme apresentado nos quadros 5 e 6. O produto selecionado foi petróleo cru, comumente extraído das reservas petrolíferas oriundo da Bacia de Campos, e os dados foram obtidos da ficha de identificação de produtos químicos Pb0113g_p, versão 0.5p (PETROBRAS, 2019).

Quadro 5 – Dados físicos do produto

Produto	Densidade (15°C)	Faixa de viscosidade (cSt)	
		40°C	50°C
Petróleo RONCADOR 28 (28,3° API)	0,98	13,2	9,95

Fonte: Adaptado PETROBRAS (2019)

Considerando a necessidade de completar a tancagem de um tanque de armazenamento atmosférico que possui 86m de diâmetro e altura útil de 14 metros, dentro do período ininterrupto de 24 horas, estima-se a vazão de entrega em 3388 m³/h. Considera-se que a pressão mínima de entrega requerida deva ser suficiente para completar o nível útil da tancagem (quadro 6).

TERRESTRES

Quadro 6 – Vazão e pressão mínima de entrega requerida

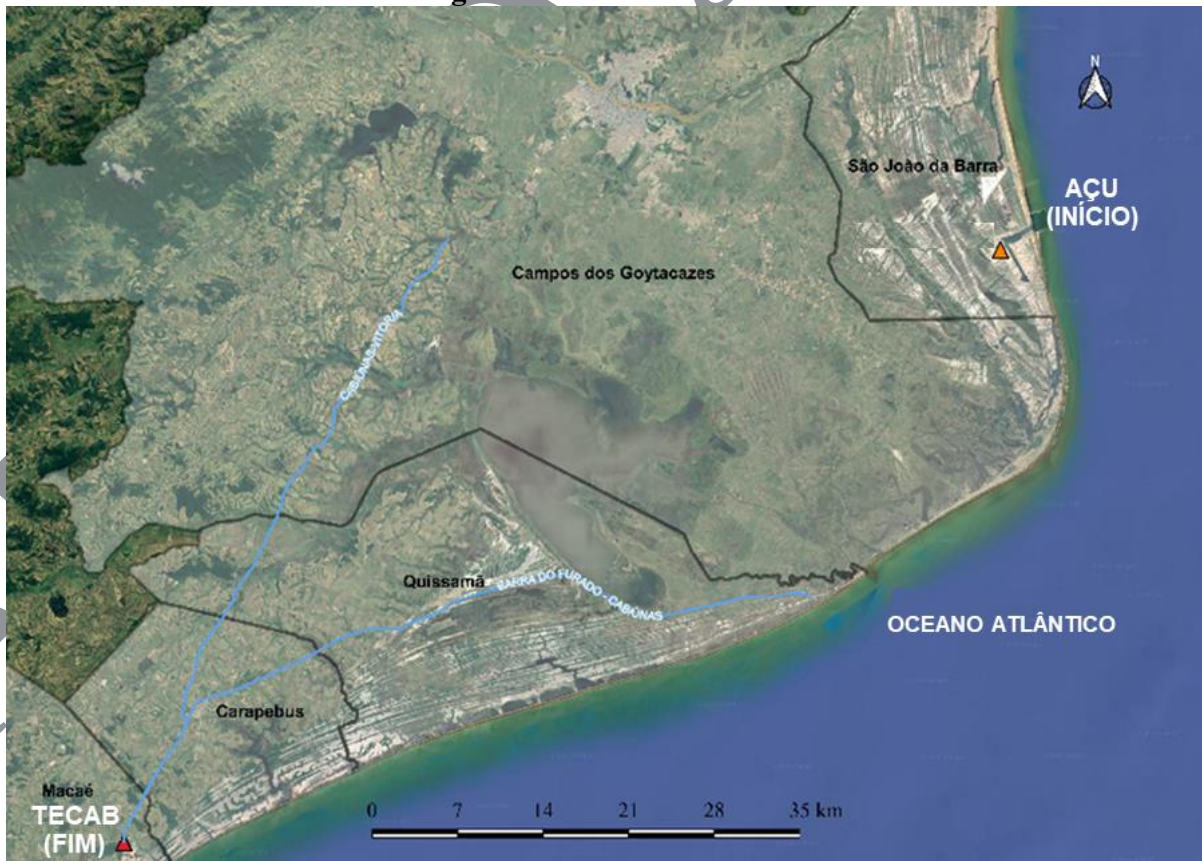
Vazão (m³/h)	Pressão mínima de entrega (kgf/cm²)
3388	1,217

Fonte: Próprio autor

1.4 DEFINIÇÃO DO TRAÇADO

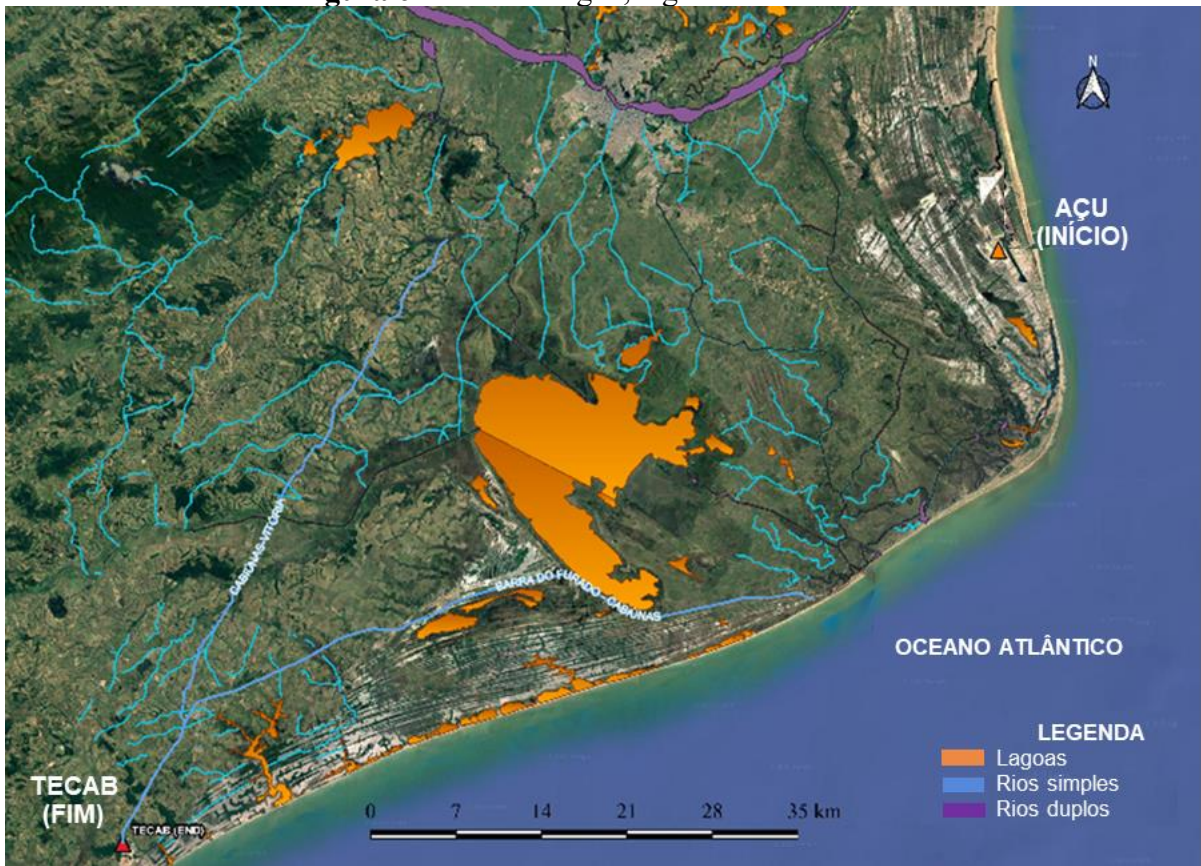
Nesta fase inicia-se a seleção da rota, ou seja, o traçado preliminar do duto, interligando o ponto de partida ao ponto de entrega, observando-se as premissas e restrições indicadas nas normas e na literatura indicada na revisão bibliográfica proposta. Para composição preliminar do traço, conforme indicado na norma N-2624 (PETROBRAS, 2014), utiliza-se a base de dados disponível no *Google Earth* para identificação e georreferenciamento das possíveis interferências e das características morfológicas da região onde se pretende executar a construção da faixa de duto e posterior lançamento do oleoduto. Seguindo as recomendações da N-2624 (PETROBRAS, 2014, p.5), estão identificados nas figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10, os elementos indicados pela norma. Para facilitar o entendimento, todas as figuras incluem as faixas de duto existentes. As fontes relacionadas às *layers* utilizadas para a composição dos mapas indicados, nas figuras 5 a 10 foram obtidas do IBGE (2022) e do INEA (2022).

Figura 5 - Cidades e divisas



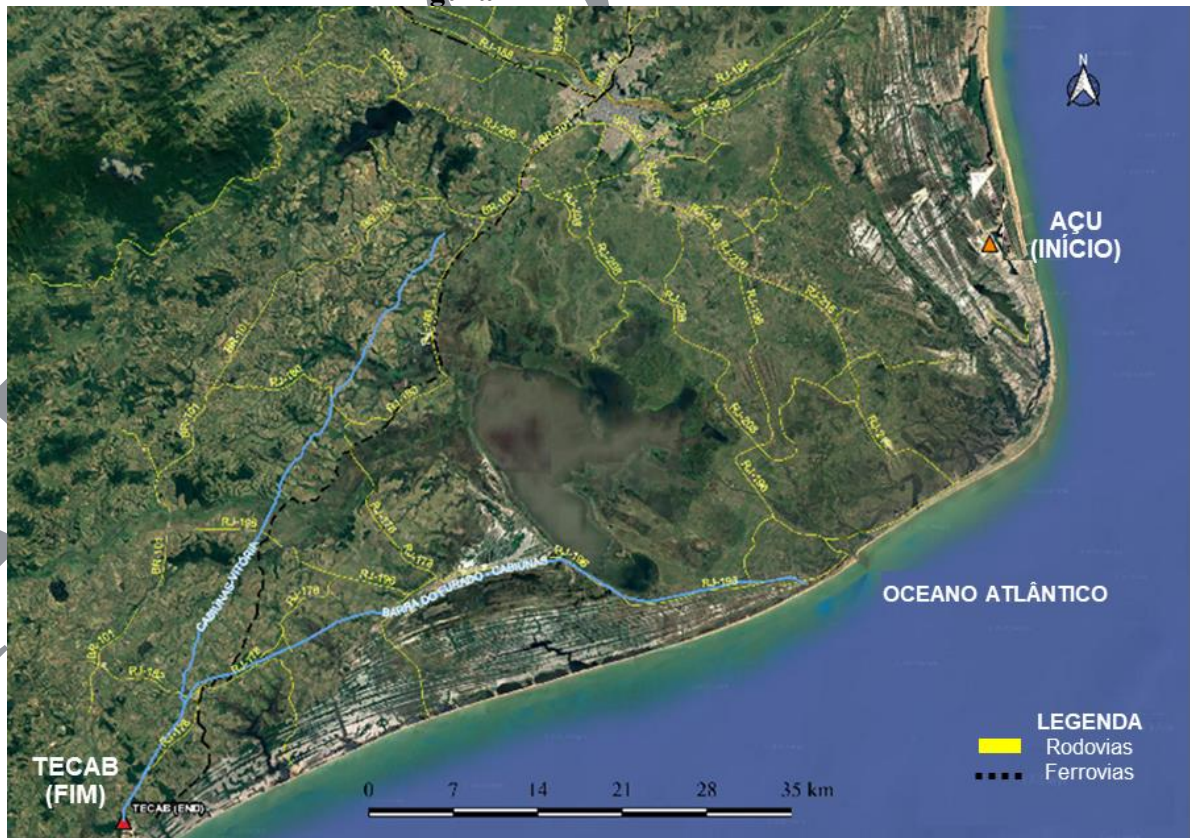
Fonte: Próprio autor

Figura 6 - Cursos d'água, lagoas e reservatórios



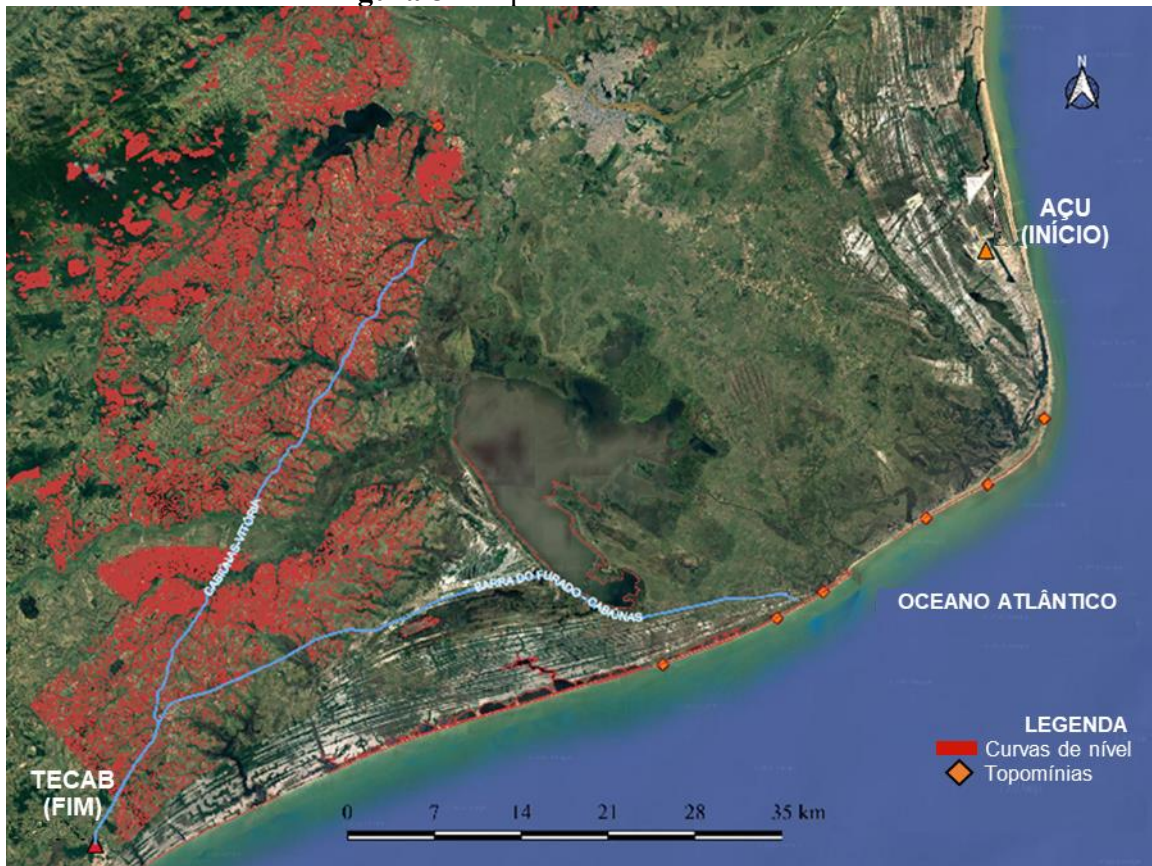
Fonte: Próprio autor

Figura 7 – Ferrovias e rodovias



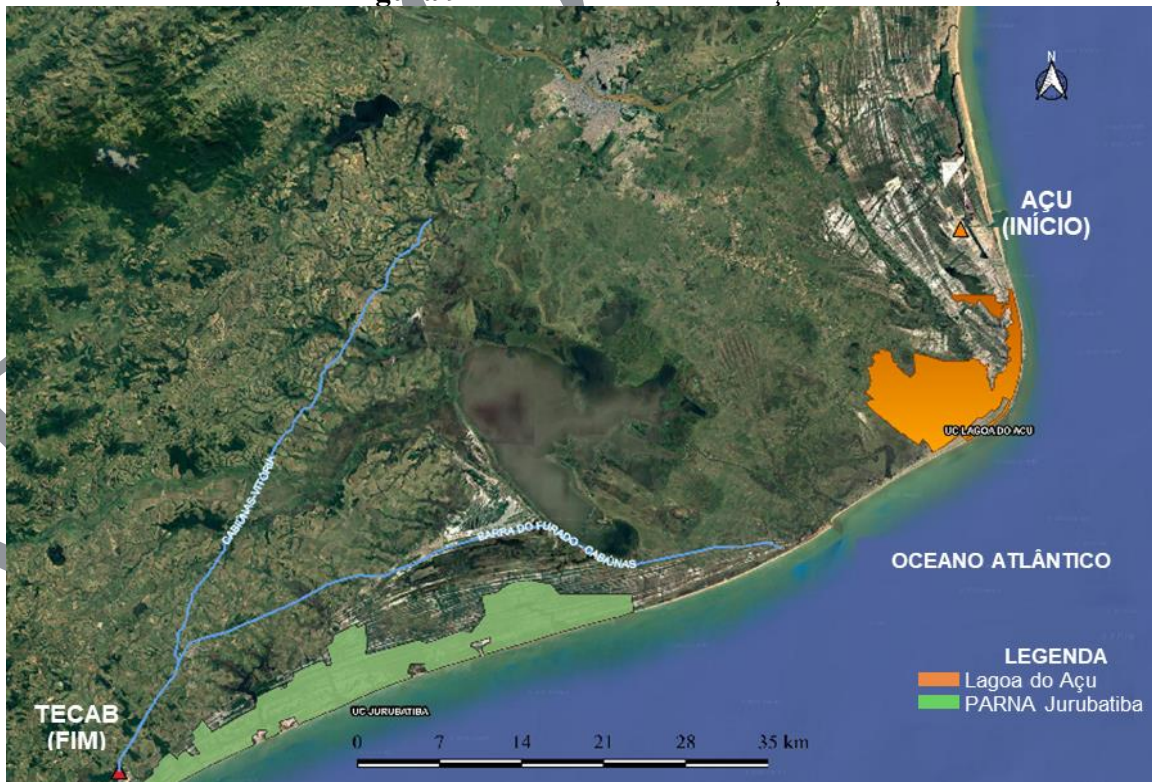
Fonte: Próprio autor

Figura 8 – Toponímias e curvas de nível

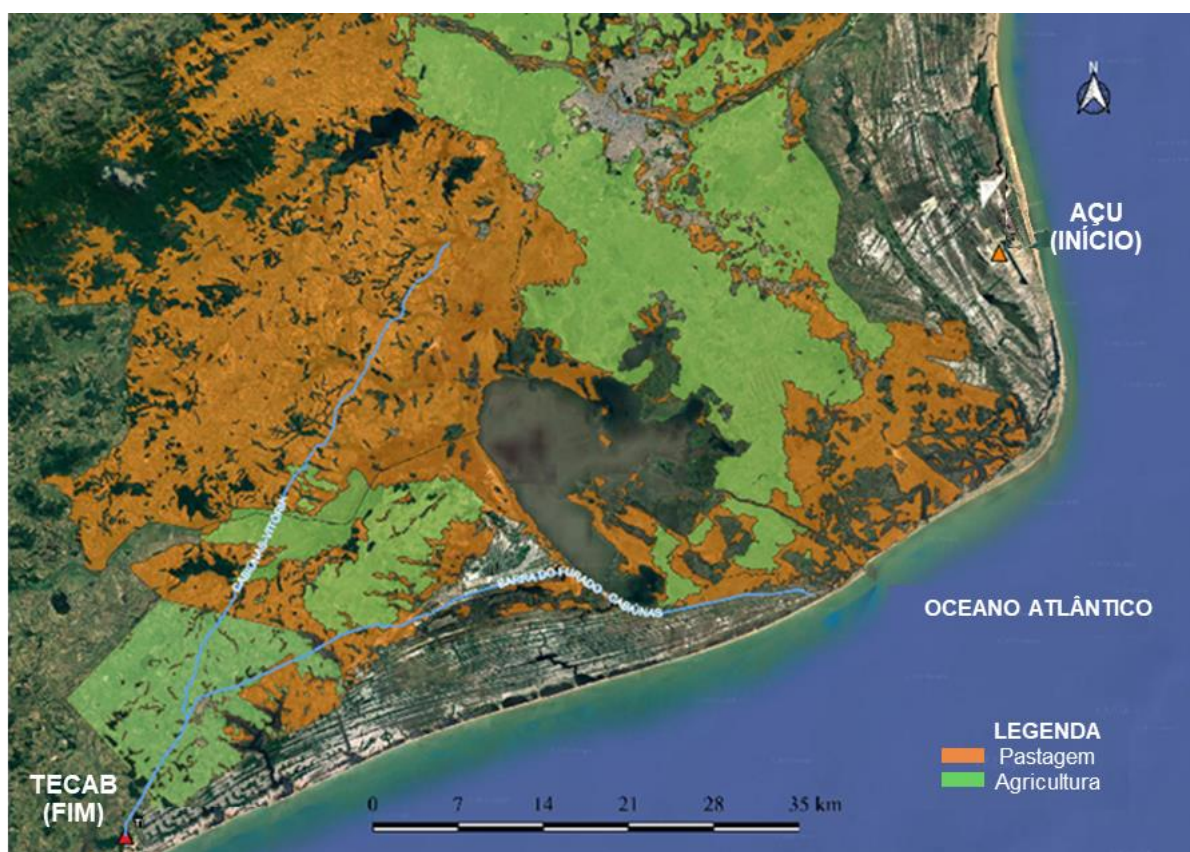


Fonte: Próprio autor

Figura 9 - Unidades de conservação



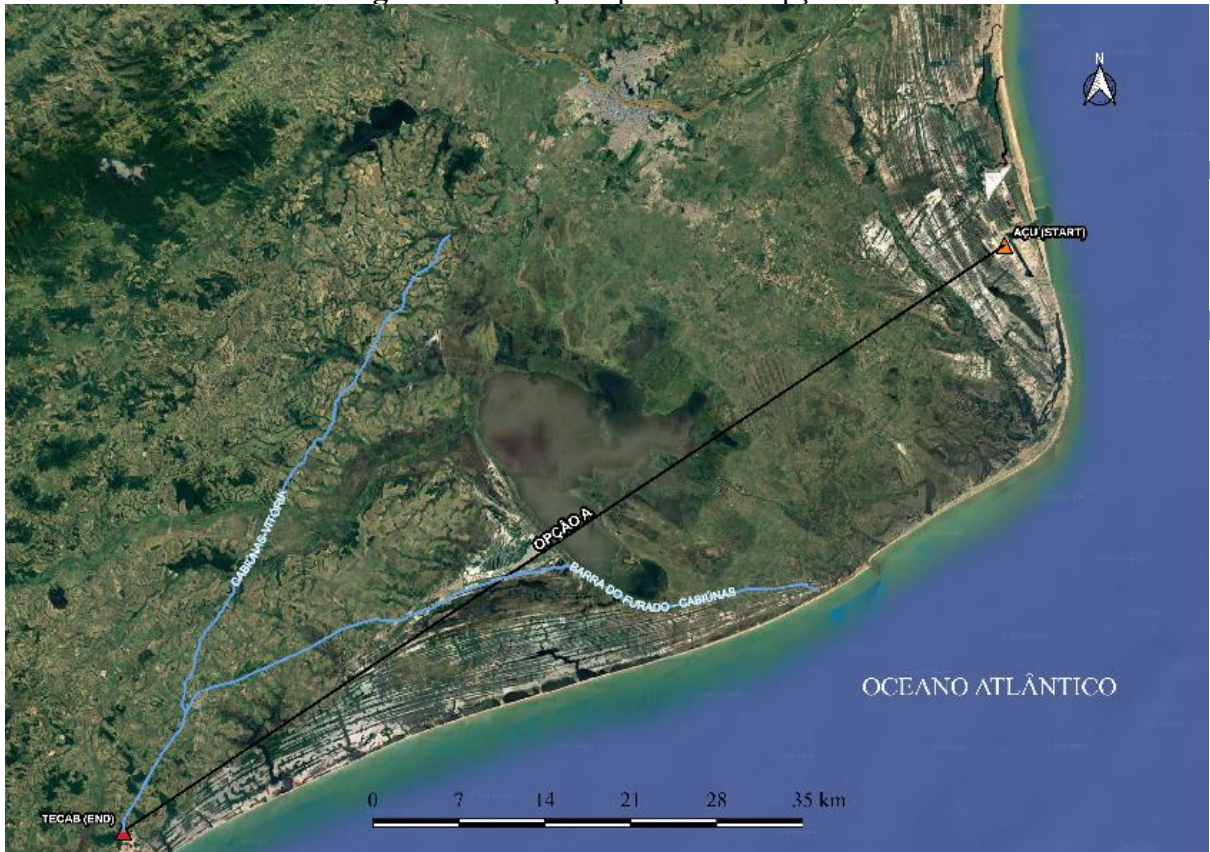
Fonte: Próprio autor



Fonte: Próprio autor

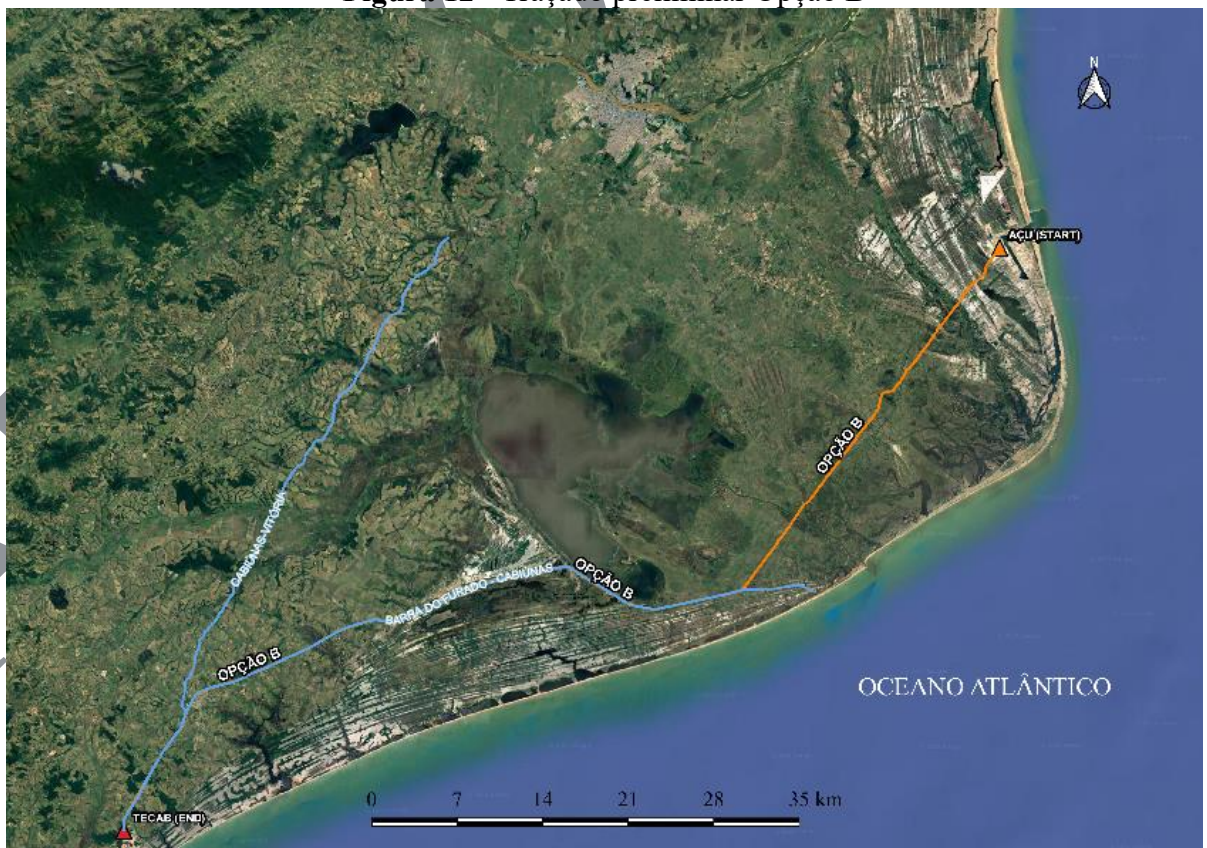
Desta forma, foram escolhidas três possíveis rotas para construção da faixa e lançamento do oleoduto. Nas figuras 11, 12 e 13, estão representadas as três opções de rotas interligando o Porto do Açú ao Terminal de Cabiúnas. No entanto, cabe ressaltar que a quantidade de rotas que serão apresentadas pelo projetista, podem ser estabelecidas previamente pelo cliente, podendo ser superior ou inferior a quantidade indicada na norma N-2624 (PETROBRAS, 2014).

Figura 11 – Traçado preliminar Opção A



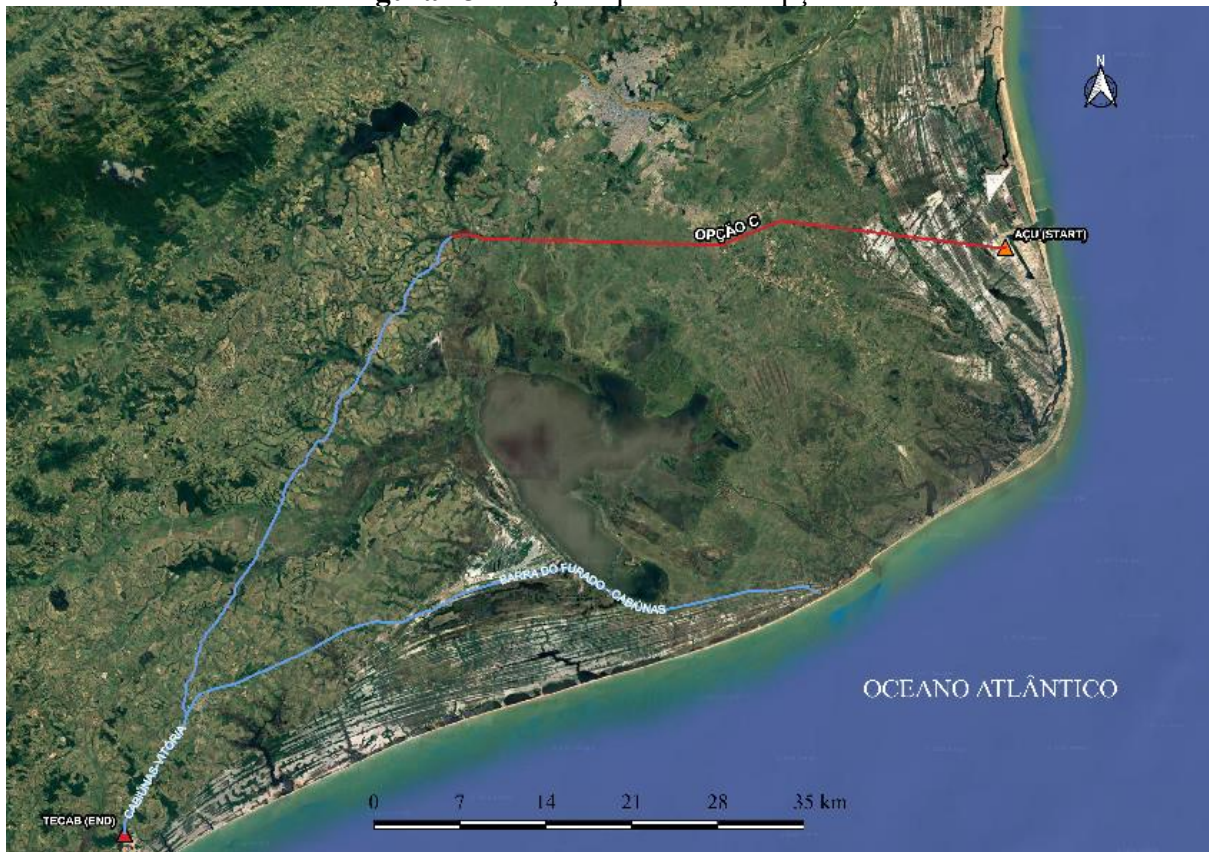
Fonte: Próprio autor

Figura 12 - Traçado preliminar Opção B



Fonte: Próprio autor

Figura 13 - Traçado preliminar Opção C



Fonte: Próprio autor

Além disso, deve-se propor ao cliente dados quantitativos e/ou qualitativos para auxiliar na seleção da melhor rota. Caso seja necessário, modificações na rota são possíveis durante o desenvolvimento do projeto básico, desde que sejam utilizadas as premissas informadas no projeto conceitual, salvo quando indicado um erro não verificado antes da aprovação do projeto.

1.4.1 Perfil do Oleoduto

Uma vez que as informações sobre o traçado preliminar foram consolidadas, inicia-se a construção do perfil do duto, a fim de se obterem informações sobre o comprimento total e as cotas mínimas e máximas para que seja possível prosseguir com o dimensionamento mecânico. Com os dados georreferenciados de posição da diretriz selecionada e das cotas dos pontos próximos, é possível que se obtenha o perfil aproximado do duto. Esta informação será utilizada para obter as pressões necessárias relativas à perda de carga e coluna de produto.

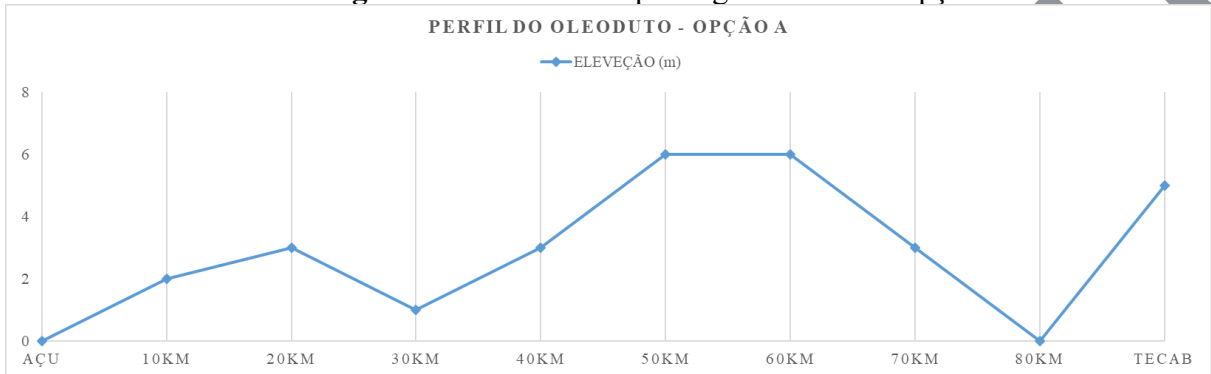
1.5 DIMENSIONAMENTO MECÂNICO

Concluídas as atividades da etapa 1, iniciam-se aos cálculos para determinar a perda de carga e a espessura mínima. Informações importantes para análise de projeto devem ser

TERRESTRES

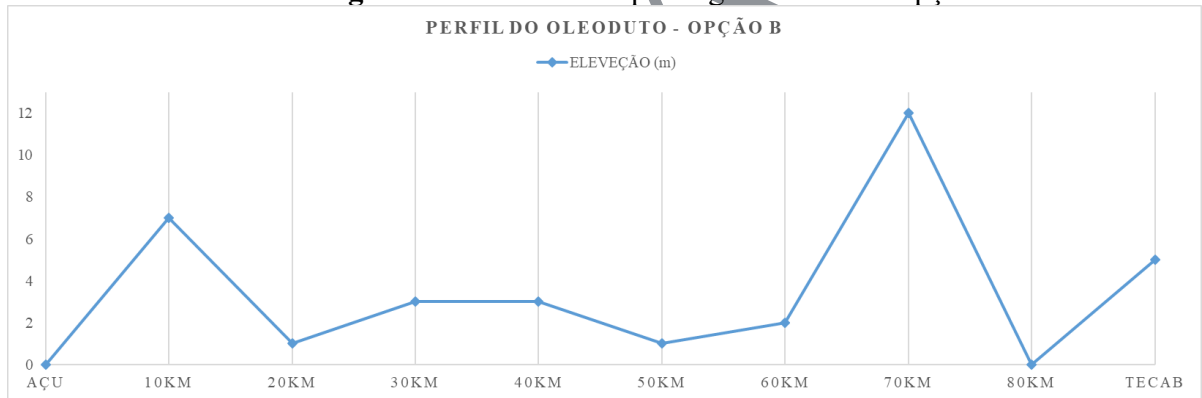
observadas nestes itens, pois podem impactar diretamente nos dados do processo selecionados preliminarmente pela projetista ou pelo próprio cliente. Atenção especial deve ser dada ao uso das unidades no sistema internacional ou no sistema imperial, ficando a cargo do projetista converter as unidades antes de inserir os dados. A seguir, nas figuras 14, 15 e 16, estão representados os modelos dos perfis geométricos.

Figura 14 – Modelo do perfil geométrico da opção A



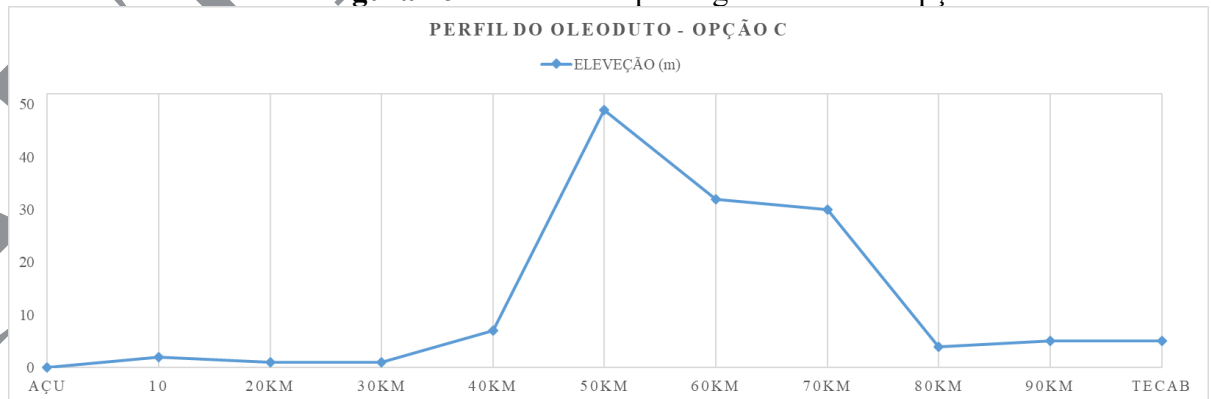
Fonte: Próprio autor

Figura 15 – Modelo do perfil geométrico da opção B



Fonte: Próprio autor

Figura 16 – Modelo do perfil geométrico da opção C



Fonte: Próprio autor

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O desenvolvimento do projeto conceitual está associado ao estudo de viabilidade econômica, sendo que a variação dos dados de entrada acarreta em impactos diretos sobre o custo do projeto conceitual, principalmente em relação a número de traçados preliminares requeridos e do diâmetro ótimo, ou seja, aquele que trará maior eficiência ao processo com o menor custo. Na tabela 1, os dados relativos ao processo tratam exclusivamente da variação do empreendimento sobre o perfil geométrico do oleoduto, seguindo a diretriz da norma N-2624 (PETROBRAS, 2014), mantendo o diâmetro nominal e a espessura, pré-selecionadas pelo projetista, fixas.

Tabela 1 – Comparativo entre as opções de rota

Dados do duto	Opção A	Opção B	Opção C
Diâmetro nominal (polegadas)	36	36	36
Espessura mínima (polegadas)	0,500	0,562	0,625
Material (API 5L)	Gr.B	Gr.B	Gr.B
Tensão de escoamento – SYMS (psi)	35.000	35.000	35.000
Comprimento desenvolvido (km)	86,112	96,676	104,078
Fator de projeto	0,72	0,72	0,72
Eficiência da junta soldada	1,00	1,00	1,00
Tensão máxima admissível (kgf/cm ²)	49,21	55,30	61,50
Dados do escoamento	Opção A	Opção B	Opção C
Velocidade (m/s)	1,516	1,527	1,538
Número de Reynolds (Re)	3026	3030	3047
Fator de atrito (f)	0,0446	0,0445	0,0445
Perda de carga por atrito (kgf/cm ²)	43,87	50,08	54,834

Fonte: Próprio autor

No quadro 7, são comparadas as interferências a que cada uma das opções está submetida, em função das informações contidas nas figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

Quadro 7 – Interferências por opção de rota

Descrição da interferência	Opção A	Opção B	Opção C
Travessias rodoviárias	x	x	x
Travessias ferroviárias	x	x	x
Rios	x	x	x
Lagoas	x	-	-
Áreas de conservação/proteção ambiental	-	-	-
Áreas de agricultura e pastagem	x	x	x

Fonte: Próprio autor

Na opção A, ainda que possua o menor comprimento (86 km) e fosse possível reavaliar a espessura mínima selecionada (0,500”), em função da espessura mínima calculada (0,463”), haveria a necessidade de executar a passagem do oleoduto pela Lagoa Feia (figura 6) através da técnica de furo direcional, elevando os custos do empreendimento em função da própria técnica, bem como pelo aumento da espessura nesse trecho em razão de restrições normativas

TERRESTRES

impostas pela NBR 15280 (ABNT, 2017, p.6). No entanto, compete ao projetista efetuar a revisão dos cálculos e propor a espessura comercial ideal para redução dos custos, caso seja possível. Neste caso, seria usada a espessura comercial imediatamente superior (0,469”) excluindo a travessia pela Lagoa Feia e demais cruzamento que impusessem espessuras superiores. Além disso, uma nova faixa de dutos foi necessária em toda a extensão do comprimento, causando impactos adicionais ao empreendimento, como, aumento do custo de taxas e indenizações sobre o uso da terra quando requerido.

Na opção B, o comprimento é 12% superior à opção A, totalizando aproximadamente 96 km. Não foram identificadas obras especiais de grande dificuldade, como indicado na opção A, estando exposta a travessias de rodovias e de uma ferrovia. Também não se observou grandes diferenças entre as elevações do terreno reduzindo significativamente as dificuldades durante a etapa de construção e montagem. Com o intuito de reduzir o impacto sobre supressão vegetal e impactos sociais, utilizando grande parte de uma da faixa de duto Cabiúnas-Vitória, já instalada na região interesse.

Em relação à espessura pré-selecionada houve correção do valor, uma vez que a tensão máxima admissível para 0,500” (49,21 kgf/cm²) é inferior à pressão devido à perda de carga (51,68 kgf/cm²). Desta forma, foi selecionada a espessura comercial imediatamente superior (0,562”) cuja a tensão máxima admissível é 55,3 kgf/cm², superior a perda de carga recalculada de 52,52 kgf/cm².

Já a opção C, o comprimento é 20% superior à opção A e 7% superior a opção B, totalizando 104 km. Não foram identificadas obras especiais de grande dificuldade, como indicado na opção A, estando exposta a travessias de rodovias e de uma ferrovia. No entanto, observou-se grandes diferenças entre as elevações do terreno. Com o intuito de reduzir o impacto sobre supressão vegetal e impactos sociais, utilizando grande parte da faixa de duto Barra do Furado-Cabiúnas, também instalada na região interesse.

Uma vez que o comprimento do duto é superior ao da opção B, espera-se um aumento em relação à espessura selecionada. Assim sendo, a espessura selecionada foi 0,625”, imediatamente superior aos 0,562” da opção B, cuja a tensão máxima admissível é 61,5 kgf/cm², superior a perda de carga recalculada de 60,22 kgf/cm².

Com exceção da área de válvulas, que serão dimensionadas nas próximas etapas do projeto conceitual, não foram identificadas áreas onde o oleoduto necessitasse ficar exposto em

travessias aéreas ou caixas de visita. Essa questão é fundamental do ponto de vista do projeto, pois ainda que não haja indicação da distância mínima entre válvulas para oleodutos (NBR 15280, 2016), o posicionamento de válvulas reduz a quantidade de perda de inventário e, conseqüentemente, poluição ambiental, principalmente para as opções de rota próximas às áreas de preservação, e problemas de ordem socioeconômica. Também não foram identificados trechos de paralelismo com redes de transmissão elétrica, ainda que inferiores a 69kV, nas áreas de passagem das três opções de rota.

Sobre a questão de demanda energética, observou-se que a potência dos motores foi alta, variando entre 4 e 7 MW, uma vez que não foram indicadas premissas sobre elevação da pressão na sucção da bomba, necessitando de grandes quantidades de energia a serem dispendidas para efetuar o bombeio, à temperatura de 25°C, para um produto com alta viscosidade (28,3° API). E ainda, atenção especial deve ser dada pela equipe de projeto para a questão da disponibilidade de redes de transmissão e da infraestrutura necessária para acionamento dos motores, caso opte-se por instalar motores elétricos no conjunto motor-bomba.

Em relação ao diâmetro nominal e à espessura pré-selecionados pelo projetista, esses são usualmente utilizados em dutos de petróleo, não somente pela vazão requerida, mas por questões de viscosidade. A própria viscosidade é diretamente influenciada pela temperatura de bombeio e pela perda térmica ao longo do comprimento do duto, pois o transporte de produtos aquecidos é complexo, afetando todas as etapas do processo desde o armazenamento até a geometria do duto.

6 CONCLUSÕES

O trabalho teve como objetivo propor uma metodologia para elaboração de um projeto conceitual de oleodutos terrestres, com a estruturação da sequência e interdependência das etapas envolvidas no processo, assim como o detalhamento dos procedimentos para execução das mesmas. Nesse sentido, o estudo buscou identificar rotas viáveis, com base nas normas e técnicas correlatas, para que o projetista possa proceder com a análise das vantagens e desvantagens de cada uma das opções propostas, como auxílio à tomada de decisão.

O sequenciamento das etapas da metodologia demonstrou a importância da seleção da rota, frente ao dimensionamento mecânico e aos subsequentes impactos nos estudos de viabilidade econômica. Cabe ressaltar a importância do uso do SIG (Sistema de Informações Geográficas) como ferramenta de apoio à criação dos mapas e às análises espaciais dos dados.

TERRESTRES

O teste da metodologia foi realizado por meio da sua aplicação em uma área real e, como resultado, após as análises das etapas de definição do traçado preliminar e de dimensionamento mecânico, verificaram-se as vantagens e desvantagens sobre cada opção de rota. Destaca-se que nenhuma delas atravessou áreas de preservação ambiental ou reservas indígenas e demais áreas sensíveis, causando baixos impactos do ponto de vista ambiental e social.

As opções selecionadas se diferenciaram, principalmente, com relação à quantidade de supressão vegetal e de movimentação de terra necessárias para o lançamento do oleoduto. Dessa maneira, a metodologia proposta se mostrou uma ferramenta viável, capaz de auxiliar os projetistas durante o processo de elaboração de um projeto conceitual de oleodutos terrestres.

ARTIGO ACEITO

REFERÊNCIAS

AACE - ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING (2005). **International Recommended Practice N° 18R-97: Cost Estimate Classification System – As Applied in Engineering, Procurement and Construction for the Process Industries**, Morgantown, WV.

ANP - AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBISTÍVEIS (2021). Centrais de Conteúdo. Dados Abertos. **Anuário Estatístico 2021 - Dados Abertos**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/anuario-estatistico-2021-dados-abertos>. Acesso em: 18 abril 2022.

ANP - AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBISTÍVEIS (2018). **Regulamentação Técnica de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural**. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/arq/res_anp_6_2011_anexoi.pdf. Acesso em: 19 abril 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). **NBR 12712: Projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível**. Rio de Janeiro.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2017). **NBR 15280: Dutos terrestre. Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro.

ASME - AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (2019). **ASME B31.4 - Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids**, New York, NY.

ASME - AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (2018). **ASME B31.8 - Gas Transportation and Distribution Piping Systems**, New York, NY.

BAHADORI, A. **Oil and Gas Pipeline and Piping Systems: Design, Construction, Management, and Inspection**. Massachusetts, USA: Gulf Professional Publishing, 2017.

BRASIL (2016). Lei n° 13.303, de 30 de junho de 2016. Dispõe sobre o estatuto jurídico da empresa pública, da sociedade de economia mista e de suas subsidiárias, no âmbito da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. **Diário Oficial da União - Seção 1 - 1/7/2016, Página 1**. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=13303&ano=2016&ato=264ET T650dZpWT936>. Acesso em: 19 abril 2022.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Assuntos (2021). **Notícia**. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/2021/11/maior-leilao-da-historia-do-setor-portuario-garante-mais-de-r-700-milhoes-em-investimentos>. Acesso em: 11 maio 2022.

CSA – CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (2016). **CSA Z662 – Oil and Gas Pipeline System**, Toronto.

CFR – CODE OF FEDERAL REGULATIONS (2006). **CFR 49, Part 192**, Transportation of Natural or Other Gas by Pipeline: Minimum Federal Safety Standards, U.S. Government Printing Office, Washington, DC. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-I/subchapter-D/part-192?toc=1>. Acesso em: 02 maio 2022.

CFR – CODE OF FEDERAL REGULATIONS (2006). **CFR 49, Part 195**, Transportation of Hazardous Liquids by Pipeline: Minimum Federal Safety Standards, U.S. Government Printing Office, Washington, DC. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-I/subchapter-D/part-195>. Acesso em 02 maio 2022.

ELLENBERGER, J. P. (2010). **Piping and Pipeline Calculations Manual**. Massachusetts,

TERRESTRES

USA: Butterworth-Heinemann.

FREIRE, J. L. F. (2009). **Engenharia de Dutos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências (2022). **Cartas e Mapas**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-municipais.html>. Acesso em: 10 julho 2022.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente (2022). **Base de Dados Geoespaciais**. Disponível em: <https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=00cc256c620a4393b3d04d2c34acd9ed>. Acesso em: 10 julho 2022.

MEDVEDEVA, N. O. e PENENKO, V. D. (2021). **Routes of Laying Gas Supply System Pipeline**. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering.

MENON, E. SASHI (2004). **Liquid Pipeline Hydraulic**. New York, USA: Marcel Dekker.

MENON, E. SASHI (2011). **Pipeline Planning and Construction Field Manual**. Massachusetts, USA: Gulf Professional Publishing.

MENON, E. SASHI (2015). **Transmission Pipeline Calculations and Simulations Manual**. Massachusetts, USA: Gulf Professional Publishing.

OZANNE, HAL S. (2011). Route Selection. Em: MENON, E. SASHI. **Pipeline Planning and Construction Field Manual**. Massachusetts, USA: Gulf Professional Publishing. cap. 2, p. 43-56.

PETROBRAS (2019). **Ficha de informações de segurança de produtos químicos Pb0113g_p**, versão 0.5P. Disponível em: <http://fispq.petrobras.com.br>. Acesso em: 21 junho 2022.

PETROBRAS. Oferta de Escoamento de Gás Natural. **Abertura do Mercado de Gás Natural**. 2014 Disponível em: <https://www.petrobras.com.br/pt/canais-de-negocios/oferta-de-escoamento-de-gas-natural>. Acesso em: 18 abril 2022.

PORTO DO AÇU (2017). **Sobre o Porto**. Disponível em: <https://www.portodoacu.com.br/sobre-o-porto/porto-do-acu>. Acesso em: 18 abril 2022.

TRANSPETRO (2019). **Padrão EP-3TP-00029-B**: Relação de documentos de engenharia por fase de projeto.

TRANSPETRO (2021). **SIG com a localização geográfica do Terminal de Cabiúnas e do Porto do Açú**. Disponível em: <https://gis.transpetro.petrobras.com.br>. Acesso em 13 junho 2022.