



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Romeu Arthur Piazza Todescatt

**Tendências tecnológicas na localização de tubulações ocultas de polietileno
de alta densidade**

Florianópolis
2025

Romeu Arthur Piazza Todescatt

**Tendências tecnológicas na localização de tubulações ocultas de polietileno
de alta densidade**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.

Florianópolis

2025

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Todescatt, Romeu Arthur Piazza

Tendências tecnológicas na localização de tubulações ocultas de polietileno de alta densidade / Romeu Arthur Piazza Todescatt ; orientador, Fernando Antônio Forcellini, 2025.

70 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. Localização de tubulações. 3. Mapa tecnológico. 4. Polietileno de alta densidade. 5. Tendências tecnológicas. I. Forcellini, Fernando Antônio. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Romeu Arthur Piazza Todescatt

Tendências tecnológicas na localização de tubulações ocultas de polietileno de alta densidade

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Mecânico e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Mecânica

Florianópolis, 04 de dezembro de 2025.



Documento assinado digitalmente
Antonio Carlos Valdiero
Data: 15/01/2026 12:50:01-0300
CPF: ***.227.377-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Antonio Carlos Valdiero, Dr. Eng.
Coordenador do Curso

Banca examinadora



Documento assinado digitalmente
Fernando Antonio Forcellini
Data: 12/12/2025 15:14:37-0300
CPF: ***.900.900-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.

Orientador



Documento assinado digitalmente
Carlos Enrique Niño Bohorquez
Data: 15/01/2026 11:02:25-0300
CPF: ***.878.519-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Carlos Enrique Niño, Dr. Eng.

UFSC



Documento assinado digitalmente
STEFFAN MACALI WERNER
Data: 16/12/2025 08:44:48-0300
CPF: ***.846.420-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Steffan Macali Werner, Dr. Eng.

UNOESC

Florianópolis, 2025

AGRADECIMENTOS

A minha família, especialmente a Cristina (minha mãe), Lourdes (minha avó), Walter (meu avô), Wanderley (meu pai) e Marcelo (meu padrasto) pelo amor incondicional, apoio e ensinamentos. Vocês foram exemplos de vida e de caráter na minha formação ao longo dos anos.

Ao meu orientador, Professor Fernando Antônio Forcellini, cujos conhecimentos e paciência foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Professores Carlos Enrique Niño e Steffan Macali Werner, pela disponibilidade em avaliar este trabalho e por aceitarem o convite.

À UFSC, pela oportunidade de estudar com um excelente corpo docente, que contribuiu para minha formação.

RESUMO

O aumento da utilização de tubulações de polietileno de alta densidade (PEAD) nas Redes de Distribuição de Gás Natural (RDGN) traz desafios relacionados à sua localização precisa no subsolo urbano. Ao contrário dos dutos metálicos, as propriedades do PEAD dificultam sua localização exata, gerando imprecisões nos desenhos *as-built*, além da necessidade de interpretação humana, por vezes falha, das leituras do radar de penetração do solo (GPR). Diante dessas dificuldades, a busca de novas tecnologias e melhorias para a localização de tubulações ocultas de PEAD é importante. Tendo isso em vista, este trabalho tem como objetivo principal identificar as tendências tecnológicas na localização de tubos de PEAD enterrados. Na metodologia utilizou-se uma abordagem qualitativa, integrando pesquisa exploratória e descritiva, baseada em revisão bibliográfica para a fundamentação teórica e identificação das tecnologias existentes. Além disso, verificou-se a existência de patentes por meio de pesquisa em bases como o *United States Patent and Trademark Office* (USTPO) e o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Com isso, foi desenvolvido um Mapa Tecnológico (MT), adaptado da metodologia Sistematização do Processo de Mapeamento Tecnológico de Produtos (SiMaTeP), para identificar as tendências tecnológicas. Os resultados indicam que, diante da expansão das redes de gás e da priorização da segurança pelo setor, há uma clara tendência de transição de métodos passivos para sistemas proativos e inteligentes. Conclui-se que as principais tendências tecnológicas convergem para a incorporação de sensores avançados, como etiquetas de Identificação por Radiofrequência (RFID) integradas aos tubos, e o uso de Inteligência Artificial (IA) para processar dados de múltiplos sensores, incluindo drones e satélites.

Palavras-chave: localização de tubulações; mapa tecnológico; polietileno de alta densidade.

ABSTRACT

The increased use of High-Density Polyethylene (HDPE) pipes in Natural Gas Distribution Networks presents challenges regarding their precise location in the urban subsurface. Unlike metal pipes, the properties of HDPE hinder their exact localization, leading to inaccuracies in as-built drawings and necessitating human interpretation of Ground Penetrating Radar (GPR) readings, which can be prone to error. Given these difficulties, the pursuit of new technologies and improvements for locating hidden HDPE pipes is crucial. Therefore, the main objective of this work is to identify technological trends in the location of buried HDPE pipes. regarding methodology, a qualitative approach was employed, integrating exploratory and descriptive research based on a literature review to establish a theoretical framework and identify existing technologies. Furthermore, patent searches were conducted in databases such as the United States Patent and Trademark Office (USPTO) and the National Institute of Industrial Property (INPI). Consequently, a Technology Roadmap (TRM) was developed, adapted from the Systematization of the Product Technology Mapping Process (SiMaTeP) methodology, to identify technological trends. The results indicate that, given the expansion of gas networks and the sector's prioritization of safety, there is a clear transition trend from passive methods to proactive and intelligent systems. It is concluded that the main technological trends converge toward the incorporation of advanced sensors, such as Radio Frequency Identification (RFID) tags integrated into the pipes, and the use of Artificial Intelligence (AI) to process data from multiple sensors, including drones and satellites.

Keywords: location of pipes; technology roadmap; high-density polyethylene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Cadeia de moléculas do PEAD	14
Figura 1.2 – Vala para instalação de tubulação	15
Figura 1.3 – Utilização da máquina de perfuração	16
Figura 1.4 – Etapas do furo direcional no MND	17
Figura 1.5 – Equipamento de georadar	18
Figura 2.1 – Dados de uma placa de ferro obtidos a partir: (a) da vista plana, (b) perfil longitudinal	26
Figura 2.2 – Layout dos <i>workshops</i> traduzidos apresentados no T-Plan de Phaal, Farrukh e Probert (2003)	28
Figura 2.3 – Arquitetura básica do mapa tecnológico da metodologia T-Plan	30
Figura 2.4 – Visão geral da Sistematização do processo de mapeamento tecnológico	31
Figura 2.5 – Atividades da fase de planejamento para construção do mapa	32
Figura 2.6- Atividades da fase de identificação de oportunidades futuras de inovação do produto	33
Figura 2.7 – Atividades da fase de definição da direção estratégica da empresa	34
Figura 2.8 – Atividades da fase de planejamento da evolução da linha de produtos	35
Figura 2.9 – Atividades da fase de planejamento da evolução da tecnologia da linha de produtos	36
Figura 2.10 – Atividades da fase de geração de recomendações de novos projetos de desenvolvimento	37
Figura 2.11 – Diferença de orientação dos mapas tecnológicos	39
Figura 2.12– Processo do mapa tecnológico orientado pela tecnologia traduzido de Lee <i>et al.</i> (2009)	40
Figura 2.13 – Mapa de similaridade de atores	41
Figura 2.14 – Mapa de relação dos atores	42
Figura 2.15 – Mapa tecnológico-industrial	43
Figura 2.16 – Mapa de afinidades de ativo	44
Figura 2.17 – Similaridade geral dos ativos tecnológicos	45
Figura 2.18 – Grau de fluxo de conhecimento pela tecnologia planejada	46
Figura 3.1 – Pesquisa de prioridade dos <i>stakeholders</i>	51
Figura 3.2 – Pesquisa de potencial inovativo segundo os <i>stakeholders</i>	52

Figura 3.3 – Exemplo de desenho <i>as-built</i>	53
Figura 3.4 – Placa de concreto utilizada na presença de tubulações de gás	53
Figura 3.5 – Fita de sinalização utilizada para alertar da presença de tubulações de gás	54
Figura 3.6– Placa com identificação de presença de válvula de gás	55
Figura 3.7 – Funcionamento do GPR	55
Figura 3.8 – Camadas temáticas representando o mundo real	56
Figura 3.9 – Fita de sinalização disposta acima da tubulação	57
Figura 3.10 – Disposição da etiqueta de RFID na tubulação	58
Figura 3.11 – Processo de localização de estruturas subterrâneas	59
Figura 3.12 – Curva de expectativa de vida de tubulações PEAD sobre pressão	61
Figura 3.13 – Camada de mercado do mapa tecnológico	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

CAD – *Computer-Aided Design* (Design assistido por computador)

CGA – *Common Ground Alliance*

GIS – Sistemas de Informação Geográfica

GPR – Radar de Penetração do Solo

IA – Inteligência Artificial

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Intelectual

IoT – *Internet of Things*

MND – Método Não Destrutivo

MT – Mapa Tecnológico

NBR – Norma Brasileira

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PEST – Política, Econômica, Social e Tecnológica

QFD – *Quality Function Deployment* (Casa da Qualidade)

RDNG – Rede de Distribuição de Gás Natural

RFID – *Radio-Frequency Identification* (Identificação por Radiofrequência)

SCGÁS – Companhia de Gás de Santa Catarina

SiMaTeP – Sistematização do Processo de Mapeamento Tecnológico de Produtos

USTPO – *United States Patent and Trademark Office*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13	
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2	OBJETIVOS	19
1.3	METODOLOGIA	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22	
2.1	TECNOLOGIAS PARA A LOCALIZAÇÃO DE TUBULAÇÕES OCULTAS	22
2.2	MAPEAMENTO TECNOLÓGICO	26
2.2.1	MAPA TECNOLÓGICO SEGUNDO PHAAL, FARRUKH E PROBERT (2003) – T-PLAN	27
2.2.1.1	<i>WORKSHOP</i> DE MERCADO/NEGÓCIO	28
2.2.1.2	<i>WORKSHOP</i> DE PRODUTO	29
2.2.1.3	<i>WORKSHOP</i> DE TECNOLOGIA	29
2.2.1.4	<i>WORKSHOP</i> DE MAPEAMENTO	29
2.2.1.5	IMPLEMENTAÇÃO	30
2.2.2	MAPA TECNOLÓGICO SEGUNDO GONZÁLEZ (2007) – SIMATEP	31
2.2.2.1	PLANEJAMENTO PARA CONSTRUÇÃO DO MAPA	31
2.2.2.2	IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES FUTURAS DE INOVAÇÃO	32
2.2.2.3	DEFINIÇÃO DA DIREÇÃO ESTRATÉGICA	34
2.2.2.4	PLANEJAMENTO DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE PRODUTOS	35
2.2.2.5	PLANEJAMENTO DA EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA	36
2.2.2.6	GERAÇÃO DE RECOMENDAÇÕES DE NOVOS PROJETOS	37
2.2.3	MAPA TECNOLÓGICO SEGUNDO LEE <i>ET AL.</i> (2009) – ORIENTADO PARA A TECNOLOGIA	38
2.2.3.1	MÓDULO DE MONITORAMENTO	40
2.2.3.2	MÓDULO DE COLABORAÇÃO	41
2.2.3.3	MÓDULO DE DIVERSIFICAÇÃO	42
2.2.3.4	MÓDULO DE <i>BENCHMARKING</i>	43
2.2.3.5	SUORTE PARA TOMADA DE DECISÃO	44
2.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	46
MAPA TECNOLÓGICO	48	
3.1	PLANEJAMENTO PARA CONSTRUÇÃO DO MAPA	48

3.1.1	LINHA DE PRODUTOS A SER ANALISADA	48
3.1.2	HORIZONTE DE PLANEJAMENTO DO MAPA	49
3.1.3	CRONOGRAMA	50
3.2	IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES FUTURAS DE INOVAÇÃO DO PRODUTO	50
3.2.1	NECESSIDADES DOS CLIENTES E TENDÊNCIAS DO MERCADO	50
3.2.2	TECNOLOGIAS ATUAIS E POTENCIAIS DA LINHA DE PRODUTO	52
3.2.3	NOVAS TENDÊNCIAS E EVENTOS FUTUROS DO AMBIENTE	59
3.2.4	POSICIONAMENTO DAS INFORMAÇÕES NA CAMADA DE MERCADO	62
3.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	64
	CONCLUSÃO E SUGESTÕES	66
4.1	CONCLUSÃO	66
4.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A história mostra que o domínio sobre a distribuição dos combustíveis nunca foi completamente seguro. Um dos métodos mais comuns de transporte de gases é por meio de dutos, particularmente no contexto urbano, onde a utilização de redes de distribuição contribui no suprimento contínuo de combustíveis e elimina a necessidade de armazenamento de produtos inflamáveis próximos à população.

A identificação e mapeamento dos locais onde as tubulações que transportam os combustíveis gasosos são importantes para manter a infraestrutura das cidades preservadas, tendo em vista que as cidades são cada vez mais dependentes de energia.

Assim, com o tempo, e o desenvolvimento humano, a indústria foi buscando novos materiais e técnicas para o manuseio e transporte desses gases.

Montiel *et al.* (1996) comentam que esses dutos, tradicionalmente feitos de aço ou ferro fundido, vem sendo trocado por tubulações de polietileno.

Para o caso de tubos de polietileno, o tipo mais utilizado é o polietileno de alta densidade (PEAD).

Coutinho *et al.* (2003) explica que o polietileno de alta densidade (PEAD) possui como propriedade de suas cadeias a linearidade, como pode ser observado na figura 1.1, sendo assim a densidade das cadeias no material é maior que em relação aos outros polietilenos, por isso a nomenclatura de polietileno de alta densidade.

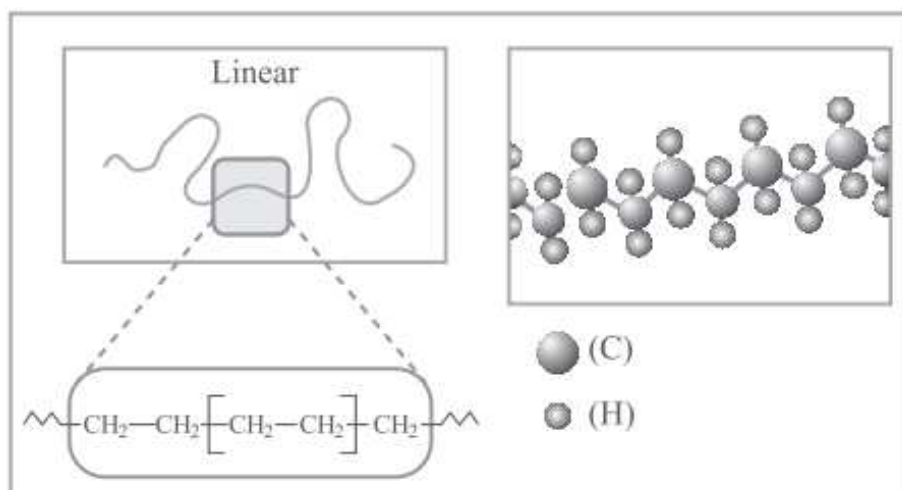


Figura 1.1 - Cadeia de moléculas do PEAD
Fonte: Coutinho *et al.* (2003)

Segundo Coutinho *et al.* (2003) o tubo de PEAD necessita de um alto peso molecular em sua propriedade, pois um PEAD com baixo peso molecular é frágil e rompe quando submetido a pequenas deformações. O PEAD comercial possui um peso molecular na faixa de 80.000 e 1.200.000 Dalton [Da], fazendo com que antes do rompimento quando sujeitado a uma deformação, o material irá formar um “pescoço” (neck), no entanto tubulações com peso molecular entre 500.000 e 1.000.000 Da apresentam melhores resistências ao impacto.

A RDGN pode ser instalada por dois métodos: pela abertura de vala e abaixamento da tubulação, que é o termo técnico utilizado para descrever o posicionamento de tubulações nas valas, ou pelo Método Não Destrutivo (MND).

No primeiro caso é aberta uma vala no percurso que está planejada a instalação da RDGN, em seguida o tubo é posicionado e conectado, conforme mostrado na figura 1.2. Após o posicionamento e conexão, a vala é coberta, e são colocadas placas de concreto com a identificação da presença de tubulação de gás naquele local. Por fim, realiza-se a recomposição do pavimento, caso este existisse anteriormente.



Figura 1.2 – Vala para instalação de tubulação

O Método Não Destrutivo (MND), como o nome prescreve, tem como princípio causar menos transtornos e destruição no ambiente onde haverá a instalação da rede. Esta técnica consiste em três etapas:

1) Inicialmente, abrem-se dois “cachimbos”, que consistem em buracos de seção retangular com profundidade mínima determinada pela Norma Brasileira (NBR) 12.712 (2002), a qual varia dependendo do material do solo e a classe de locação.

Segundo a NBR 12.712 (2002) a classe de locação é um parâmetro técnico definido pela densidade de edificações destinadas à ocupação humana, quantificando o nível de atividade humana no entorno do gasoduto, servindo como uma métrica para avaliar a suscetibilidade da infraestrutura a danos decorrentes de terceiros.

Um dos “cachimbos” é feito no local onde iniciará o novo trecho de tubulação de gás, e o outro é realizado no local onde se pretende terminar a linha. Com os “cachimbos” prontos, utiliza-se uma máquina de perfuração, conforme observado na figura 1.3 (a), para realizar um furo curvo até o ponto onde está localizado o segundo “cachimbo”. Esta máquina, conforme observada na figura 1.4 (b), dispõe de diversas hastes de aço e uma broca na ponta destas. Para garantir a navegação é utilizado um equipamento que capta o posicionamento da broca, assim ele indica a

posição da barra de perfuração durante o processo. Isto possibilita o desvio de outras tubulações pré-existentes no caminho da linha planejada.



(a) Exemplo de “cachimbo”

(b) Máquina de perfuração

Figura 1.3 – Utilização da máquina de perfuração

2) Com a perfuração concluída, inicia-se a segunda etapa. Com a barra de perfuração localizada no segundo “cachimbo”, é realizada uma substituição da broca e sensor por um alargador. Este, por sua vez, irá possibilitar o aumento do diâmetro do furo, assegurando que o diâmetro da via subterrânea esteja adequado para a tubulação que será instalada naquele local.

3) Após o alargamento do furo é realizado o “puxe”, que é uma operação de instalação dos tubos, consiste em trocar o alargador pela tubulação e puxá-la através do furo previamente realizado.

Em ambos os “cachimbos” estará presente uma das extremidades desta tubulação, assim como a ponta de outras tubulações que foram instaladas por furo direcional pelo MND ou por valas. Com isso, estas extremidades são soldadas e os buracos são preenchidos com a terra anteriormente retirada. Caso necessário é realizada a recomposição asfáltica ou de calçadas.

Os procedimentos para realização da instalação de tubulação pelo MND podem ser vistos na figura 1.4.

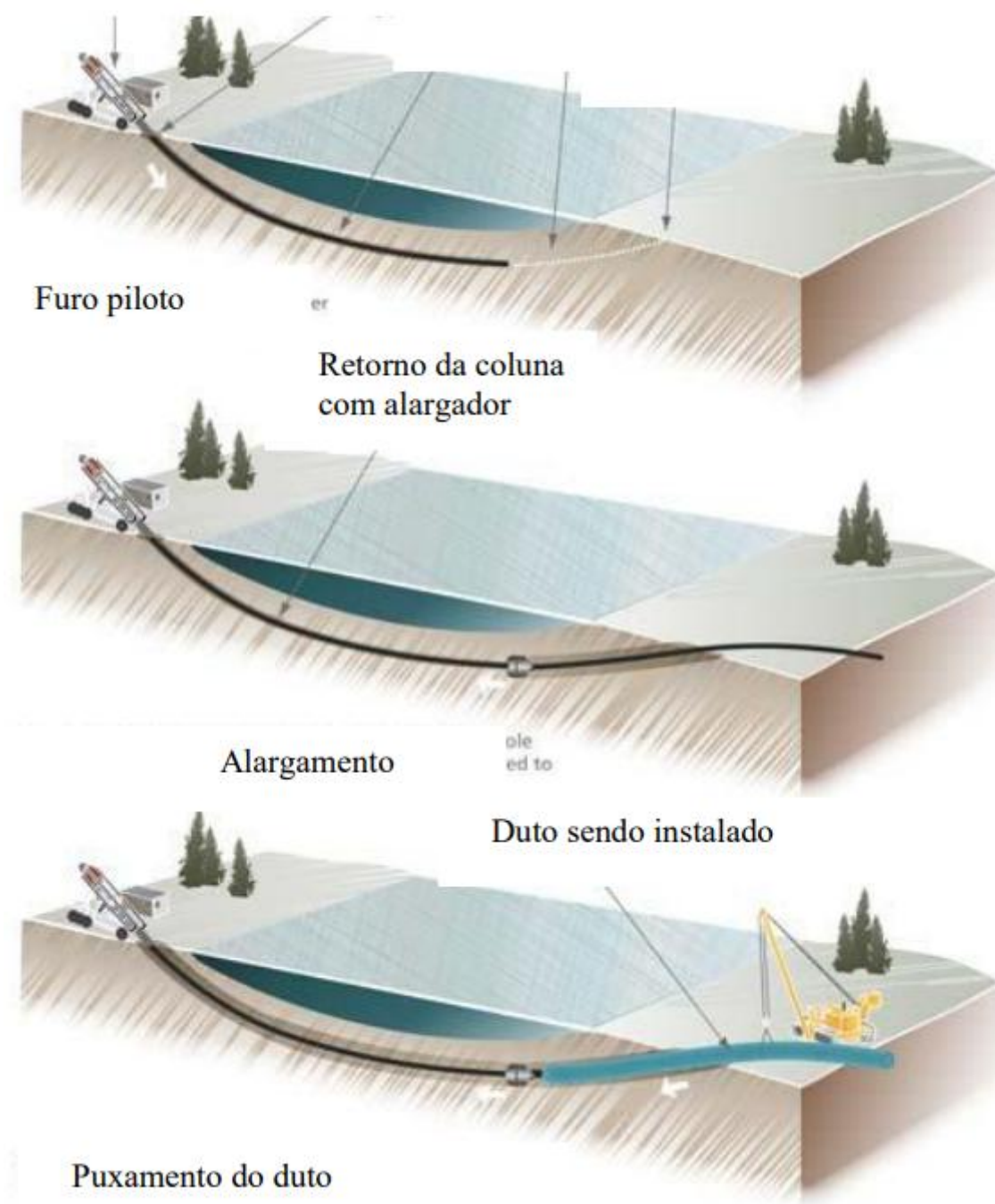


Figura 1.4 – Etapas do furo direcional no MND
 Fonte: Junior (2012)

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No Estado de Santa Catarina, durante o ano de 2024 foram construídos em torno de 92 km de RDGN pela Companhia de Gás de Santa Catarina (SCGÁS), sendo cerca de 61 km realizados utilizando tubos de PEAD, indicando que 66% das novas redes são compostas de polímeros.

A crescente utilização do PEAD ocorre devido à facilidade e segurança em relação ao manuseio das tubulações de PEAD e do custo-benefício, se comparado às tubulações de aço. Já que, segundo o sistema de registro de preços da SCGÁS, do dia 12 de novembro de 2025, o preço de um metro de tubo PEAD de 125 milímetros de diâmetro é R\$ 73,00, enquanto para um tubo de aço de 4 pol de diâmetro, ou 101,6 milímetros [mm], o valor é de R\$ 193,00, e para um tubo de 6 pol de diâmetro, ou 152,4 mm, é de R\$ 347,20. Tornando a tubulação PEAD menos da metade do preço do aço. Com isso, percebe-se a tendência da utilização de tubulações de PEAD.

Entretanto, quando comparadas ao aço em relação à facilidade de localização de RDGN já existentes, as tubulações de PEAD são de localização mais difícil.

Atualmente, a localização dos tubos de PEAD é efetuada utilizando principalmente dois métodos:

- I. Referenciando aos desenhos *as-built* (como construídos), os quais são desenhos que detalham a localização das redes instaladas;
- II. Mapeamento por georadar consiste na utilização de um equipamento, observado na figura 1.5, que emite ondas a fim de identificar mudanças de material no solo, permitindo o mapeamento de tubulações no subsolo.



Figura 1.5 – Equipamento de georadar

Fonte: Geourbe (<https://geourbe.com.br/georadar-guia-completo-para-uso-e-aplicacoes>, acessado em junho de 2025)

Sendo assim, a localização precisa da RDGN é de extrema importância para realização de serviços tanto de manutenção das redes já instaladas, quanto para ligação de novas redes planejadas às existentes, já que se trata de distribuição de um gás altamente inflamável.

O maior desafio da utilização das tecnologias atuais é na exatidão da localização das tubulações existentes, no caso dos desenhos *as-built* isto se dá por conta do deslocamento dos solos, enquanto que o mapeamento por georadar proporciona uma melhor localização das estruturas subterrâneas, porém os dados coletados precisam ser interpretados manualmente, ocasionando em erros na identificação destas estruturas. Além disto, o equipamento de georadar é de tamanho considerável, como o caso do *Sensor&Software* LMX200 que possui 100 centímetros [cm] (comprimento) x 70 cm (largura) x 115 cm (altura) e com um peso de aproximadamente 22 quilogramas [kg], necessitando empenho físico do controlador.

Com essas dificuldades encontradas na localização de tubulações ocultas de PEAD, o mercado vem buscando melhorias para as tecnologias existentes e, até mesmo, implementações de novas tecnologias para tratar destes problemas.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral identificar as tendências tecnológicas na localização das redes de gás natural subterrâneas de tubos de PEAD.

Para atender este objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- I. Identificar as tecnologias existentes de localização de tubulações ocultas de PEAD por meio de pesquisa bibliográfica.
- II. Levantar propostas de tecnologias por meio de pesquisa de patentes.
- III. Desenvolver um Mapa Tecnológico, que auxilie na identificação das tendências tecnológicas.

1.3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos apresentados, foi proposta uma metodologia de pesquisa de abordagem qualitativa, que integra procedimentos de pesquisa exploratória e descritiva. O propósito desta metodologia é conduzir uma investigação aprofundada sobre as tendências tecnológicas aplicadas à localização de tubulações ocultas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD).

O estudo é considerado exploratório, uma vez que procura se familiarizar mais com o problema, com o objetivo de identificar tecnologias emergentes e prospectar inovações na área de localização de dutos de PEAD. Ao mesmo tempo, o estudo tem um caráter descritivo, pois busca descrever e analisar as tecnologias que já estão consolidadas e disponíveis no mercado.

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, uma vez que se fundamenta na análise de dados e conceitos para elaborar o mapa tecnológico.

Os procedimentos técnicos para a coleta e análise de dados foram baseados em uma revisão da literatura para desenvolver a fundamentação teórica, utilizando artigos disponíveis em repositórios científicos como *ScienceDirect* e *SciELO*, além de trabalhos, dissertações e teses em repositórios universitários por meio de pesquisa no *Google Scholar*.

Além disso, uma pesquisa documental e de patentes foi conduzida para identificar as tecnologias existentes e potenciais, utilizando bases como o *United States Patent and Trademark Office* (USTPO) e o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). A principal etapa do trabalho foi a elaboração do mapa tecnológico, que se baseou na metodologia de Sistematização do Processo de Mapeamento Tecnológico de Produtos (SiMaTeP), selecionada devido ao seu fluxo claro e sequencial.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em quatro capítulos: Capítulo (1) Introdução, em que são apresentados o problema, objetivos do trabalho e a metodologia utilizada; Capítulo (2) Fundamentação teórica, em que são abordados o estado da arte para localização de estruturas subterrâneas e metodologias de mapeamento tecnológico; Capítulo (3) Mapeamento tecnológico, em que é desenvolvido o mapa tecnológico; Capítulo (4) Conclusão e sugestões, em que são apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica é uma parte importante deste trabalho, pois ela que cria a base para o desenvolvimento do mesmo. Ela foi realizada por meio de uma revisão da literatura, tanto para os métodos de localização de redes de tubulação PEAD, quanto para o Mapeamento tecnológico.

A revisão bibliográfica foi realizada por meio de consultas a repositórios de artigos científicos, tais quais *ScienceDirect* e *SciELO*. Além dos artigos científicos, também foram realizadas consultas a repositórios de trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado efetuadas em universidades. As buscas destes documentos foram efetuadas pelo site do *Google Scholar*, utilizando palavras-chave como: *as-built*, movimentação de estruturas enterradas, GPR e *technological roadmap*.

2.1 TECNOLOGIAS PARA A LOCALIZAÇÃO DE TUBULAÇÕES OCULTAS

“Se uma imagem consegue comunicar mil palavras, em um projeto, os desenhos *as-built* conseguem comunicar mil processos de construção” (Ellis, 2021, p. 1, tradução própria¹).

Ellis (2021) explica que desenhos *as-built* são documentos que possibilitam comparar e o contrastar as especificações projetadas com as especificações finais obtidas, além de fornecerem uma planta detalhada da estrutura e do terreno ao seu redor, tal como foram realmente construídos.

Estes desenhos são elaborados durante ou imediatamente após a construção, com base em medições realizadas em campo. Inicialmente eram criados em papel, com isso sofriam com degradação física, dificuldade de acesso e desafios de atualização. Entretanto, com o aprimoramento de *softwares*, como o *Computer-Aided Design* (CAD), os desenhos passaram a ser digitais, possibilitando a

¹ No original: “If a picture can speak a thousand words, in a project, as-built drawings can speak a thousand construction processes”.

atualização dos desenhos rapidamente, o acesso remoto e o “armazenamento em nuvem”².

Já sobre sua importância, Raynar (1994) comenta que desenhos precisos da obra concluída são necessários para que engenheiros de manutenção para eventuais planejamentos e projetos de alterações nas instalações. Especialmente, quando as estruturas a serem trabalhadas estão dispostas no subsolo, coberto com isolamento, colocado dentro de paredes ou ocorre em partes da estrutura que estão visualmente cobertas.

Por fim, Ellis (2021) fala que os desenhos *as-built* incluem todos e quaisquer alterações feitas durante a fase de construção de um projeto.

Os desenhos *as-built* fornecem a localização geral das estruturas subterrâneas, entretanto a precisão dessas informações pode ser comprometida ao longo do tempo devido a processos mecânicos do solo. Fenômenos como adensamento de solos moles, expansão de argilas, efeitos de sismicidade e instabilidades de taludes são responsáveis por gerar esses movimentos de solo. Assim, estruturas enterradas, especialmente tubulações de plástico possuem maior capacidade de acompanhar essas deformações de terreno, visto que possuem menor rigidez à flexão que outras estruturas de concreto ou aço. Com isso, as tensões e deslocamentos impostas sobre a tubulação pelo solo faz com que ocorra desvio da posição originalmente projetada.

Sendo assim, o principal método para localizar essas estruturas aterradas é pelo radar de penetração no solo (GPR). Davis e Annan (1989) explicam que o GPR utiliza campos eletromagnéticos para sondar materiais dielétricos com perdas, a fim de detectar estruturas e alterações nas propriedades dos materiais.

Para Annan (2003), a história do GPR começou na primeira metade do século XX, quando foram realizadas muitas pesquisas sobre a propagação de ondas de rádio ao longo da superfície. Enquanto que no período de 1950 a 1955 foi relatada a primeira tentativa de analisar as características subterrâneas com sinais de ondas de rádio.

Annan (2003) também comenta que as pesquisas seguintes foram focadas no desenvolvimento da sondagem por radiofrequência em superfícies de gelo. Isto ocorreu devido ao relato da Força Aérea dos Estados Unidos de erros no altímetro

² Serviço que permite guardar dados e arquivos em servidores remotos, acessíveis por meio da internet.

ao tentar pousar uma aeronave na camada de gelo na Groenlândia (Waite; Schmidt, 1961).

Durante o período de 1965 a 1970 foi o início do planejamento da missão científica de exploração lunar, com isso vários experimentos foram elaborados para examinar a superfície da Lua, que acreditava-se ter características elétricas semelhantes às do gelo. Assim, esta época e a década seguinte testemunharam diversos avanços na análise subterrânea por ondas eletromagnéticas (Annan, 2003).

Entretanto, segundo Annan (2003), o GPR começou a ganhar destaque somente no período de 1985 a 1990, pois compreendeu-se os pontos fortes e fracos e surgiram problemas reais, assim criando uma demanda por mapeamento de alta resolução. Nesta época, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos instituiu muitas iniciativas para investigar e limpar terrenos contaminados (Benson *et al.*, 1984). Com isso, o GPR se mostrou um equipamento capaz de realizar mapeamento de alta resolução do subsolo e, como consequência, ocorreu um impulso comercial deste.

Annan (2003) comenta que durante a década de 90 houve uma explosão no avanço do GPR. Na primeira metade da década foi visto um aumento de grupos interessados na tecnologia, enquanto que na segunda metade, a evolução dos computadores direcionou todos os avanços do GPR.

De acordo com Annan (2003), o GPR tem se consolidado como uma ferramenta robusta e multifacetada para a investigação de meios materiais, apoiada em avanços que abrangem desde o entendimento físico fundamental até o desenvolvimento de softwares de processamento de dados. Inicialmente, o progresso nesta área esteve limitado pela capacidade instrumental e pela ausência de modelagens precisas; hoje, entretanto, grupos de pesquisa especializados em eletromagnetismo vêm aperfeiçoando ferramentas de simulação capazes de reproduzir, com alto grau de fidelidade, a propagação de ondas eletromagnéticas em meios heterogêneos. Mesmo com esse salto qualitativo, permanecem desafios relativos à caracterização elétrica de materiais compostos, cujas propriedades efetivas dependem de interações complexas e de variações locais ainda não totalmente mensuráveis.

Segundo Aguiar (2005), a prospecção com GPR é realizada em meios que possuem diferentes tipos de materiais em suas composições. As rochas, os solos e

os materiais construtivos se compõem de elementos distintos, sendo assim, possuem propriedades eletromagnéticas próprias.

O fluido existente nos vazios possui grande influência sobre o resultado final na leitura do GPR (Aguiar, 2005).

Senthil *et al.* (2021) descrevem as aplicações do GPR para detecção de construções subterrâneas, delimitação de leito rochoso e monitoramento da integridade de barragens. Os autores ressaltaram que a frequência das ondas eletromagnéticas geradas pela antena é um fator determinante tanto para a profundidade de penetração, quanto para a resolução do sinal obtido. Sendo assim, para cada aplicação foram utilizadas frequências diferentes. Eles também descrevem a metodologia adotada para a varredura a montante e a jusante da barragem. Segundo os autores, o GPR foi efetivamente utilizado para estimar a espessura de material e a homogeneidade das barragens antigas.

Já Rhee *et al.* (2021) analisaram as aplicações e as limitações do GPR com o objetivo principal de melhorar a eficiência da aplicação do GPR no levantamento dos solos nas rodovias. Também foram utilizados dois diferentes tipos de GPR para estudar a profundidade e o desempenho da detecção de objetos anômalos. Com base na pesquisa de campo, constatou-se que, ao utilizar a vista plana por profundidade, os dados de perfil transversal e longitudinal do GPR multicanal simultaneamente, conforme figura 2.1, a análise e a avaliação dos sinais do GPR são mais eficientes e práticas. Embora haja uma diferença na frequência de uso, a diferença de precisão entre os dois GPRs é semelhante no quesito de profundidade da investigação, assim como no desempenho da detecção da anomalia na subsuperfície do pavimento. Em uma seção de pavimento padrão de concreto asfáltico, a profundidade efetiva da detecção de cavidades é de 1 a 1,5 metros [m], enquanto a detecção sob pavimento de concreto é inferior a 1,0 m.

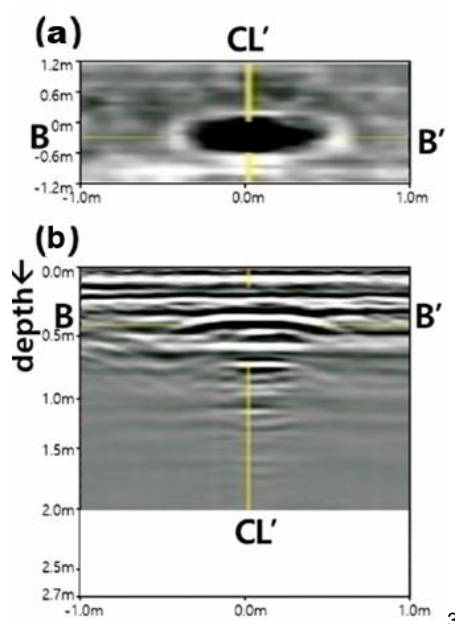


Figura 2.1 – Dados de uma placa de ferro obtidos a partir: (a) da vista plana, (b) perfil longitudinal
 Fonte: Rhee *et al.* (2021)

Cavalieri (2015) propôs o desenvolvimento de um dispositivo acústico-eletrônico, de formato esférico, capaz de deslocamento interno na tubulação de distribuição de gás e de determinar a localização exata de vazamentos, por meio de aquisição e armazenamento de sinais de áudio captados por microfone, e de coordenadas geográficas fornecidas por um módulo receptor de *Global Positioning System* (GPS).

Embora haja métodos de identificação do local das tubulações de gás que apresentam vazamento, apresentado no trabalho de Cavalieri (2015), a localização de tubulações ocultas de PEAD que não apresentam vazamentos é realizada com o auxílio de equipamentos GPR, o qual apresentou evolução desde sua introdução, porém os resultados obtidos por este ainda estão à mercê da interpretação humana.

2.2 MAPEAMENTO TECNOLÓGICO

O *Technology Roadmapping*, ou Mapa Tecnológico (MT), emerge como uma técnica estratégica de planejamento importante no cenário industrial contemporâneo, especialmente para setores intensivos em tecnologia, com propósito de alinhar os

³ *Depth* refere-se à profundidade.

recursos tecnológicos de uma organização com suas necessidades de mercado e objetivos de negócio.

A crescente complexidade, o custo elevado e a rápida evolução tecnológica, aliados à globalização da competição e das fontes de tecnologia, tornam, para as empresas, o gerenciamento eficaz de seus recursos tecnológicos essencial, afim de alinhar os objetivos de negócio presentes e futuros (Phaal; Farrukh; Probert, 2003). Nesse contexto, o MT oferece uma abordagem estruturada e frequentemente visual para explorar, comunicar e alinhar as relações dinâmicas entre mercados, produtos e tecnologias ao longo do tempo (Phaal; Farrukh; Probert, 2003).

Fundamentalmente, o MT pode ser definido como uma técnica flexível que auxilia as organizações no planejamento estratégico e de longo prazo, proporcionando um meio para visualizar e comunicar a integração entre desenvolvimento tecnológico, planejamento de negócios e desenvolvimentos de mercado (Probert; Farrukh; Phaal, 2003). González (2007), foca na sistematização do processo para produtos, reforça essa visão, destacando o MT como um processo que permite às empresas planejar a evolução de seus produtos e das tecnologias associadas, considerando as necessidades dos clientes e as tendências de mercado. Enquanto que o método de desenvolvimento do mapa de Lee *et al.* (2009) inicia pelo planejamento de uma nova tecnologia para então, depois, encontrar um mercado consumidor, assim percorrendo o caminho contrário dos mapas tecnológicos apresentados por Phaal, Farrukh e Probert (2003) e González (2007), que identificam primeiro as necessidades dos usuários para depois desenvolver as tecnologias e produtos.

2.2.1 MAPA TECNOLÓGICO SEGUNDO PHAAL, FARRUKH E PROBERT (2003) – T-PLAN

Phaal, Farrukh e Probert (2003) desenvolveram e validaram, através de pesquisa ação em diversas organizações, um método denominado "T-Plan", um processo de "*fast start*" para o MT. O objetivo do T-Plan é facilitar a iniciação do mapeamento, estabelecendo as ligações chave entre tecnologia e negócios, identificando lacunas de conhecimento e gerando um primeiro mapa (*first-cut roadmap*) em um curto espaço de tempo. O T-Plan utiliza *workshops* para construir o mapa tecnológico de forma colaborativa e eficiente, conforme figura 2.2.

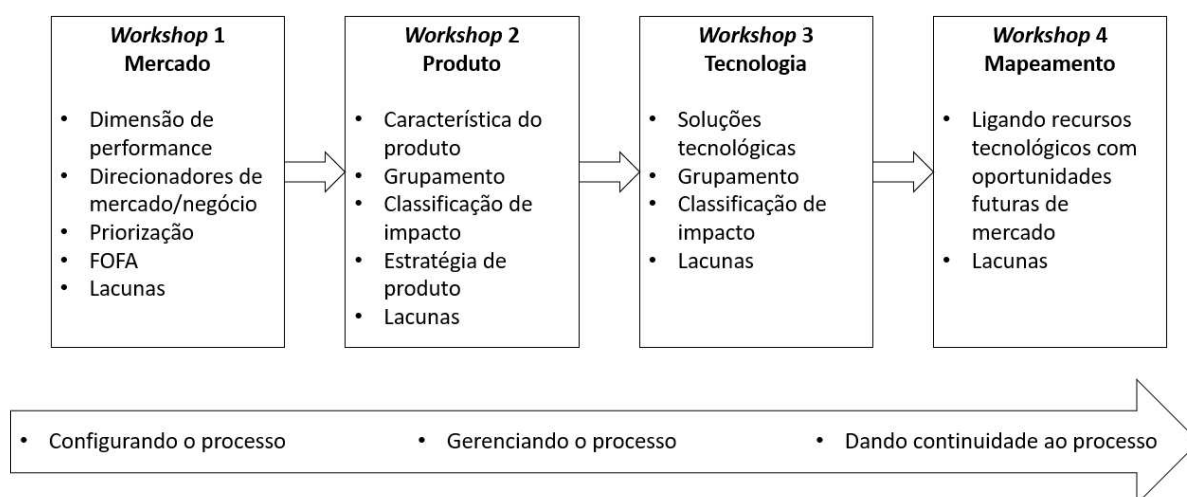


Figura 2.2 – Layout dos *workshops* traduzidos apresentados no T-Plan de Phaal, Farrukh e Probert (2003)

Entretanto, antes que os *workshops* sejam realizados, deve-se efetuar um planejamento para definir o escopo e garantir o engajamento dos *stakeholders*. Neste planejamento são delimitados o foco do mapa, seja ele uma linha de produto específico ou uma tecnologia central, o horizonte de tempo, os participantes de diferentes setores da organização, como pesquisa e desenvolvimento (P&D), *marketing* e produção, e o cronograma. Assim que o planejamento é finalizado, inicia-se o primeiro *workshop*.

2.2.1.1 WORKSHOP DE MERCADO/NEGÓCIO

O *workshop* de mercado e negócio tem como foco determinar a direção estratégica do mapa. Phaal, Farrukh e Probert (2003) utilizam a análise PEST (Política, Econômica, Social e Tecnológica) para identificar as forças externas que impactarão o negócio, além da matriz FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças) para determinar as forças e fraquezas da empresa e as oportunidades e ameaças externas. Além disso, durante este *workshop* deve-se identificar as necessidades e requisitos dos clientes, assim como estabelecer os objetivos estratégicos e as métricas de sucesso do mapa.

2.2.1.2 WORKSHOP DE PRODUTO

Já no *workshop* de Produto, Phaal, Farrukh e Probert (2003) propõem traduzir as necessidades do mercado, identificadas no *workshop* anterior, em requisitos técnicos mesuráveis por meio de uma matriz de análise de impacto, como a Matriz da Casa de Qualidade (QFD⁴). Além disso, neste *workshop* é importante visualizar a linha do tempo, com base no horizonte de tempo planejado, para o lançamento de novos produtos e a incorporação de novas funcionalidades nos produtos existentes.

2.2.1.3 WORKSHOP DE TECNOLOGIA

Com os requisitos técnicos determinados no *workshop* de Produto, torna-se necessário identificar as lacunas tecnológicas entre os produtos existentes da organização com as visualizadas na linha do tempo. Para isso mapeia-se as tecnologias existentes e emergentes que são essenciais para atingir as metas de desempenho do produto, além de comparar as tecnologias necessárias com as capacidades tecnológicas atuais da organização. A partir das lacunas tecnológicas da organização são definidos os passos necessários para eliminá-las, seja por projeto de P&D ou aquisição de tecnologia.

2.2.1.4 WORKSHOP DE MAPEAMENTO

O último *workshop* é a consolidação de todos os *workshops* anteriores, integrando todas as informações levantadas em mapa visual. A estrutura básica de um mapa tecnológico, conforme descrito por Phaal, Farrukh e Probert (2003), pode apresentar várias formas, variando entre dois extremos, um extremo é o impulso tecnológico, que foca na busca por oportunidades, e o outro extremo é a atração do mercado, visando ao produto definido pelo cliente. A arquitetura mais comum de um MT esta encapsulada na forma genérica proposta pela European Industrial Research Management Association (EIRMA), como pode ser observada na figura 2.3. O mapa proposto organiza-se em camadas interligadas por uma dimensão temporal.

⁴ QFD refere-se ao termo em inglês *Quality Function Deployment*.

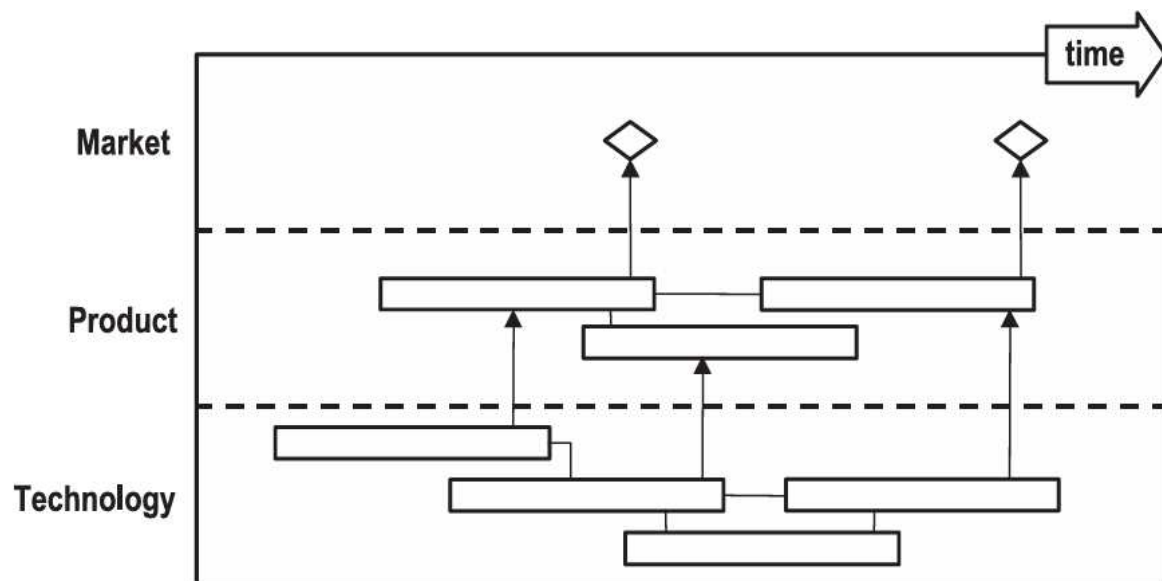


Figura 2.3 – Arquitetura básica do mapa tecnológico da metodologia T-Plan⁵
 Fonte: Phaal, Farrukh e Probert (2003)

Na camada superior são dispostas as informações levantadas durante o *workshop* de Mercado/Negócio, enquanto que os dados encontrados na camada intermediária vêm do *workshop* de Produto, fazendo a conexão entre a camada superior com a camada inferior que dispõe as informações obtidas no *workshop* de Tecnologia. Com isso, as necessidades e requisitos dos usuários são suportados pelos requisitos técnicos previstos no *workshop* de Produto, que em sua vez preveem as lacunas tecnológicas da organização.

2.2.1.5 IMPLEMENTAÇÃO

A última etapa do processo é a implementação do plano, validando o mapa com todos os participantes a fim de entrar em consenso e transformar o mapa visual em um plano de ação. Com isso, pode-se integrar o mapa tecnológico com os processos de planejamento de negócio e P&D da organização.

Phaal, Farrukh e Probert (2003) também comentam que há dois desafios após a primeira implementação do mapa tecnológico em uma organização. O primeiro desafio é manter o mapa vivo, ou seja, continuar alimentando novas informações no mapa tecnológico para não o tornar obsoleto. Enquanto que o

⁵ Market refere-se à Mercado, Product refere-se à Produto e Technology refere-se à Tecnologia.

segundo desafio é a implementação do mapa em outras partes da organização, com propósito de transformar a utilização do mapa em uma cultura da organização.

2.2.2 MAPA TECNOLÓGICO SEGUNDO GONZÁLEZ (2007) – SiMATeP

González (2007), por sua vez, propôs uma sistematização detalhada do processo de mapeamento tecnológico especificamente para produtos, denominada Sistemática para o Mapeamento Tecnológico de Produtos (SiMaTeP), observada na figura 2.4.

Essa abordagem estrutura o processo em fases e atividades bem definidas, buscando guiar as empresas, especialmente as de base tecnológica na área mecânica, na construção e utilização do mapa. As fases propostas incluem: 1) Planejamento para construção do mapa, 2) Identificação de oportunidades futuras de inovação, 3) Definição da direção estratégica da empresa, 4) Planejamento da evolução da linha de produtos, 5) Planejamento da evolução da tecnologia, 6) Geração de recomendações de novos projetos.

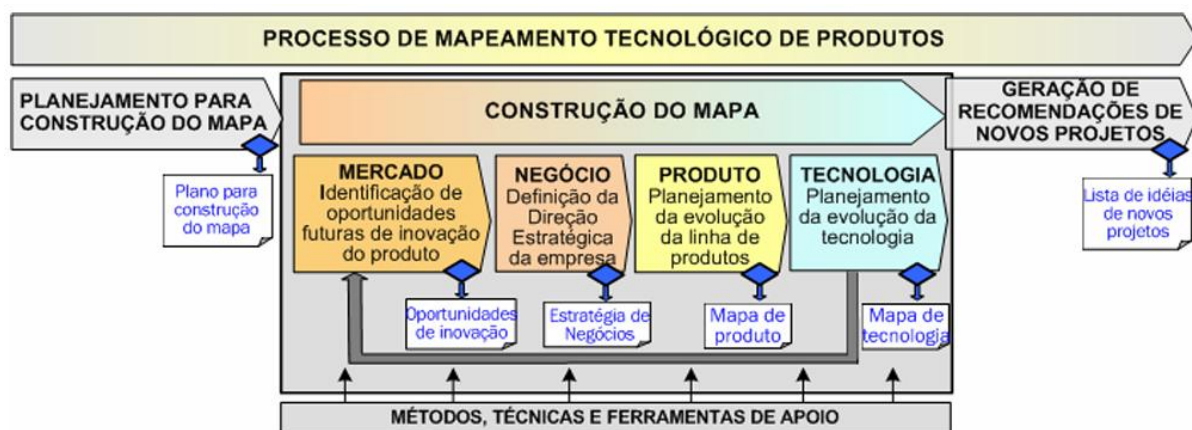


Figura 2.4 – Visão geral da Sistematização do processo de mapeamento tecnológico
Fonte: González (2007)

2.2.2.1 PLANEJAMENTO PARA CONSTRUÇÃO DO MAPA

Na fase inicial, Planejamento para construção do mapa, define-se as seguintes atividades: linha de produtos a ser analisada, o horizonte de planejamento, que pode variar dependendo do setor, e identificam-se os

participantes. Além disso, elabora-se um cronograma e orçamento para o processo, conforme figura 2.5.

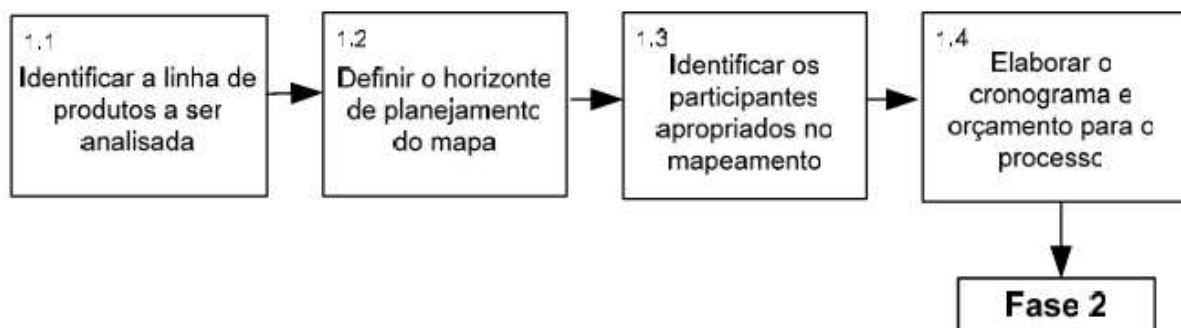


Figura 2.5 – Atividades da fase de planejamento para construção do mapa
Fonte: Gonzalez (2007)

Durante a primeira atividade (1.1) é escolhido o produto que possui maior necessidade de aprimoramento e maior oportunidade de negócio. Em seguida o horizonte de planejamento (1.2) é definido a partir do setor em que o produto está inserido, onde nos setores industriais emergentes o prazo é mais curto do que em setores tradicionais. Com o horizonte definido, deve-se identificar os participantes (1.3), ou seja, qualquer um que seja afetado pelos resultados do mapa torna-se um participante, sendo que o número de integrantes pode depender do tamanho, escopo, complexidade e cultura da empresa. González (2007) recomenda que o número de participantes seja entre 5 e 10 pessoas. A última atividade é elaborar o cronograma e orçamento (1.4), o cronograma depende da disponibilidade de cada participante e das informações necessárias para a construção do mapa, podendo ser representado em um diagrama de barras, enquanto o orçamento depende dos recursos e custos associados à construção do mapa, assim como da mão de obra, da aquisição de informações, de equipamentos e das facilidades.

2.2.2.2 IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES FUTURAS DE INOVAÇÃO

Após a elaboração do cronograma, inicia-se a fase de Identificação de oportunidades futuras de inovação, na qual o foco é entender as necessidades futuras do mercado e as tendências tecnológicas. Isso envolve identificar as necessidades dos clientes, tanto qualitativas quanto quantitativas, analisar tecnologias atuais e potenciais, explorar novas tendências e eventos futuros,

posicionar essas informações na camada de mercado do mapa e identificar lacunas de conhecimento, conforme figura 2.6.

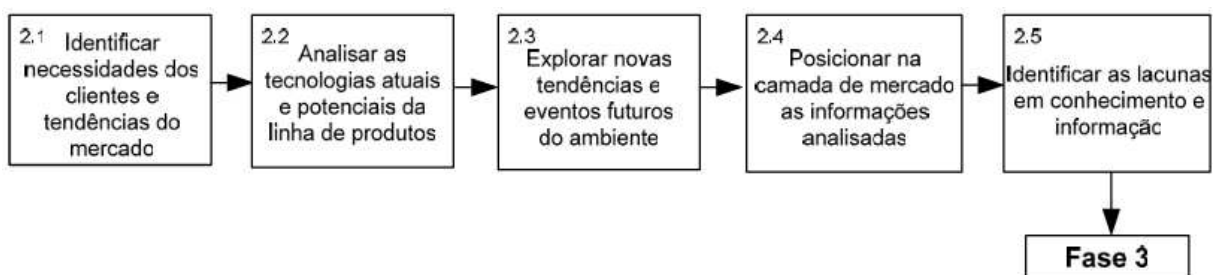


Figura 2.6- Atividades da fase de identificação de oportunidades futuras de inovação do produto

Fonte: González (2007)

Na primeira atividade (2.1) são identificados os direcionadores de mercado a partir de aspectos qualitativos, como o hábito de consumo, e quantitativos, como o potencial de mercado. A análise dos aspectos qualitativos pode ser feita por meio de observações em campo e consulta a usuários, enquanto que para os aspectos quantitativos podem ser realizados análises de relatórios, tanto de empresas especializadas quanto de governos.

Além de distinguir as necessidades dos clientes, deve-se analisar o ambiente tecnológico por meio da atividade (2.2), conforme observado na figura 2.5. Para isso González (2007) recomenda que sejam realizados a análise dos produtos concorrentes, o monitoramento tecnológico e a previsão tecnológica, em que a análise dos produtos concorrentes funciona como um monitoramento da concorrência, enquanto que o monitoramento tecnológico identifica os sinais globais de evoluções científicas e técnicas capazes de impactar as atividades da empresa. Já a previsão tecnológica identifica as tendências tecnológicas por meio da análise de patentes encontradas em bancos de patentes como o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e o *United States Patent and Trademark Office* (USTPO).

Segundo González (2007) o desenvolvimento do produto não necessariamente precisa ser motivado pelo mercado ou pela tecnologia, e sim por combinações de fatores que cerca o ambiente da empresa. Para isso realiza-se a atividade (2.3) por meio da análise PEST, que reflete o impacto das mudanças política, econômica, social e tecnológica sobre a empresa.

A atividade (2.4) é caracterizada pelo posicionamento das informações obtidas nas atividades anteriores na camada de Mercado do MT. Entretanto, caso haja lacunas de conhecimento e informação no MT, essas devem ser sinalizadas durante a atividade (2.5).

2.2.2.3 DEFINIÇÃO DA DIREÇÃO ESTRATÉGICA

Já na terceira fase, Definição da direção estratégica da empresa, utiliza-se as informações de mercado para avaliar a posição competitiva da empresa, usando uma matriz de avaliação e análise SWOT, a qual identifica os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças. Em seguida, seleciona uma estratégia de diferenciação e posiciona essas informações na camada de negócio do mapa, definindo a missão e as ações estratégicas para o futuro, conforme figura 2.7.



Figura 2.7 – Atividades da fase de definição da direção estratégica da empresa
Fonte: González (2007)

Esta fase inicia-se com a atividade (3.1) que consiste em entender os motivos da posição dos concorrentes e comparar os pontos fortes e fracos entre estas e a empresa. Já na atividade (3.2) são identificadas as oportunidade e ameaças externas, por meio da matriz FOFA, e esses são comparados com os pontos fortes e fracos, afim de auxiliar no planejamento das possíveis ações da empresa com base nos resultados obtidos por esta matriz.

Com todos os itens da matriz identificados deve-se, na atividade (3.3), determinar a estratégia da empresa de diferenciação, sendo oferecendo produtos a custos mais baixos, com diferenciação em características ou mudança de foco de mercado.

A atividade (3.4) é posicionar as informações obtidas na camada de Negócio do MT, e assim como na fase anterior, a atividade seguinte, (3.5), é identificar as lacunas de informações deixadas no mapa.

2.2.2.4 PLANEJAMENTO DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE PRODUTOS

A fase seguinte, Planejamento da evolução da linha de produtos, aprofunda-se no "o quê" será desenvolvido. Definem-se os requisitos técnicos críticos do produto, estabelecem-se metas quantitativas para esses requisitos ao longo do tempo, revisam-se tendências que impactam esses requisitos, e mapeia-se a evolução da arquitetura do produto ao longo do tempo, planejando a próxima geração da linha de produtos, conforme figura 2.8.

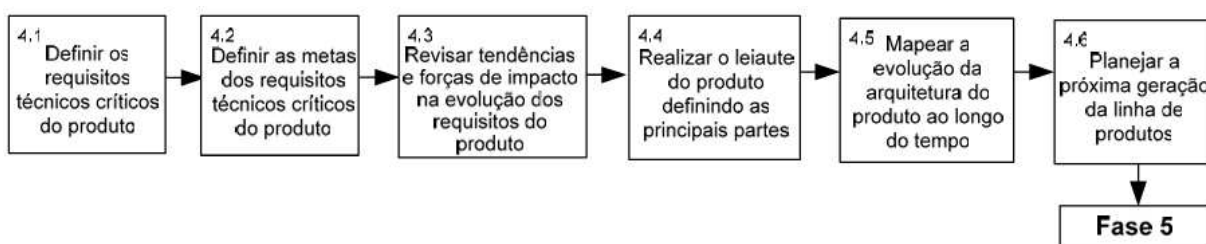


Figura 2.8 – Atividades da fase de planejamento da evolução da linha de produtos
Fonte: González (2007)

Enquanto que na primeira atividade da fase de Identificação de oportunidades futuras de inovação consistia em definir os direcionadores de mercado, na atividade (4.1) são definidos os direcionadores de produto, ou requisitos técnicos do produto, convertendo as necessidades dos usuários e opções estratégicas do negócio em requisitos técnicos mensuráveis. Além disso, estes são priorizados por meio do método QFD.

Com o ranqueamento dos requisitos técnicos, na atividade (4.2) são definidas as posições que a empresa quer estar em relação as concorrentes para cada requisito ao longo do tempo. Sendo assim possível identificar o investimento requerido para alcançar estas metas, definindo um valor-meta.

Enquanto que na atividade (4.3) são revisadas as tendências e forças, que foram determinadas na fase de Identificação de oportunidades futuras de inovação, a fim de ajustar ou reformular o valor-meta definido na atividade anterior.

Com auxílio de programas de edição gráfico, na atividade (4.4) são realizados desenhos do produto e as principais partes físicas, com objetivo de avaliar o funcionamento e integração das partes.

A estratégia de desenvolvimento de produtos é realizada na atividade (4.5), com auxílio das informações de oportunidades tecnológicas, levantadas na camada de mercado, e estratégia competitiva, definida na camada de negócio. Além disso, as informações e desenhos definidos nesta fase são posicionados na camada de produtos do MT. Com isso é possível planejar o desenvolvimento de novos produtos, atividade (4.6), que atendam às necessidades e prioridades do mercado.

2.2.2.5 PLANEJAMENTO DA EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA

Enquanto a fase anterior acompanhava a evolução da linha de produtos, a quinta fase, Planejamento da evolução da tecnologia, aborda o "como" as tecnologias evoluirão. Busca-se identificar os elementos do produto de maior impacto nos requisitos, selecionam-se tecnologias alternativas críticas para atingir as metas do produto, usando a Matriz de Inovação, planejam-se os investimentos necessários para o desenvolvimento dessas tecnologias e define-se a estratégia para desenvolvê-las, seja internamente, por parceria ou aquisição, conforme figura 2.9.

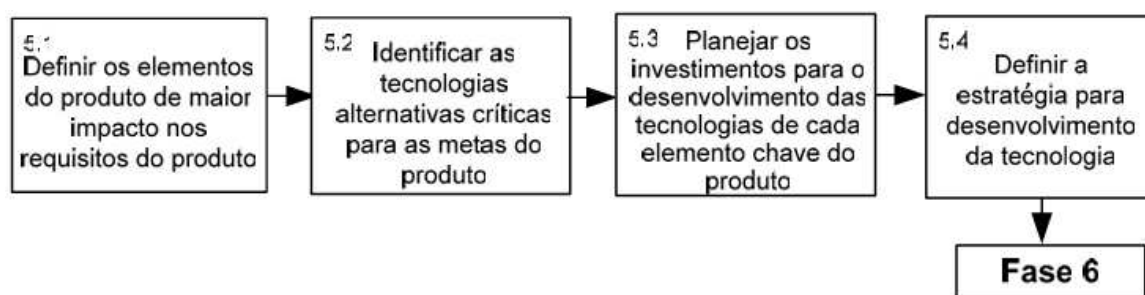


Figura 2.9 – Atividades da fase de planejamento da evolução da tecnologia da linha de produtos

Fonte: González (2007)

A fim de atender as metas definidas para os requisitos críticos do produto, as partes do produto que devem ser introduzidas novas tecnologias durante a atividade (5.1) são determinadas. Com isso os esforços de desenvolvimento ou aquisição de tecnologia são priorizados com base no QFD.

Durante a fase de Identificação de oportunidades futuras de inovação foram levantadas as possíveis novas tecnologias, entretanto é na atividade (5.2) que são selecionadas e posicionadas no mapa apenas as opções mais atrativas e com maior potencial. Além disso, desenvolve-se uma linha do tempo do desenvolvimento destas tecnologias escolhidas.

Entretanto, o planejamento financeiro para o desenvolvimento ou aquisição da tecnologia é necessário, para isso na atividade (5.3) são visualizados os investimentos requeridos por cada tecnologia e a fase em que está o investimento.

Já na atividade (5.4) o tipo de investimento para cada tecnologia é determinado, seja para aquisição da tecnologia, por desenvolvimento interno ou busca de parceria para desenvolvimento compartilhado. Todas estas atividades são posicionadas no MT na cada de tecnologia do mesmo.

2.2.2.6 GERAÇÃO DE RECOMENDAÇÕES DE NOVOS PROJETOS

Nesta última fase elabora-se um relatório de recomendações de novos projetos de desenvolvimento, deve ser realizada uma análise crítica e validação dos resultados do processo, e estabelecer uma frequência para revisão e atualização contínua do mapa, conforme figura 2.10.



Figura 2.10 – Atividades da fase de geração de recomendações de novos projetos de desenvolvimento

Fonte: González (2007)

A primeira atividade, (6.1), da última fase da metodologia consiste na realização de um relatório que resume as principais decisões dos participantes. Nele são descritos o objetivo do processo, linha de produtos analisada, participantes do processo, descrição das metas estratégicas, justificativa da escolha das alternativas tecnológicas, implicações para financiamento e investimento nas tecnologias e

resumo das recomendações. A fim de verificar se a equipe não esqueceu de algum ponto importante, na atividade (6.2) é realizada uma análise e validação em conjunto com a alta gerência com base no cronograma realizado na fase inicial. González (2007) finaliza com a atividade (6.3) que consiste na revisão e atualização do mapa para monitoramento de novos desenvolvimentos tecnológicos, recomendando que esta faça parte do planejamento estratégico regular da empresa.

2.2.3 MAPA TECNOLÓGICO SEGUNDO LEE *ET AL.* (2009) – ORIENTADO PARA A TECNOLOGIA

A maioria das abordagens existentes sobre a elaboração de mapas tecnológicos tendem a possuir as perspectivas orientadas para o mercado (Lee et al., 2009).

A pesquisa realizada por Lee *et al.* (2009) propõe o desenvolvimento de um MT orientado para a tecnologia, que começa com a análise de capacidades para o planejamento tecnológico e termina com a análise de oportunidades de negócio para o planejamento de mercado. Assim, Lee *et al.* (2009) propõe fazer o caminho contrário de Phaal, Farrukh e Probert (2003) e González (2007), conforme a figura 2.10, em que é possível observar a orientação das duas distintas metodologias, o MT orientado pelo mercado, proposto por Phaal, Farrukh e Probert (2003), está representado pelo mapa da esquerda da figura 2.10, enquanto que o MT orientado pela tecnologia pela figura da direita, proposto por Lee *et al.* (2009), está sendo representado pelo mapa a direita da figura 2.11.

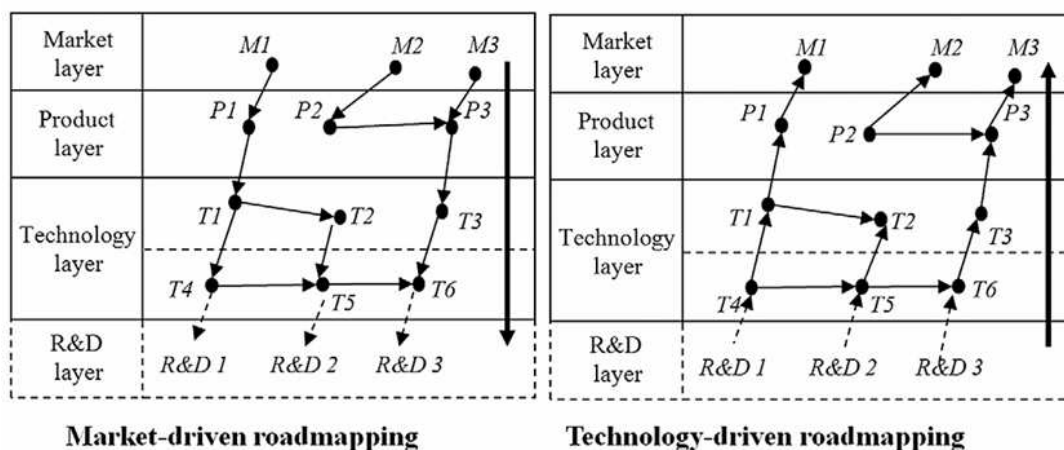


Figura 2.11 – Diferença de orientação dos mapas tecnológicos⁶
 Fonte: Lee *et al.* (2009)

A proposta para o desenvolvimento do MT orientado pela tecnologia apresentado por Lee *et al.* (2009) possui uma estrutura com quatro etapas, conforme figura 2.12. Iniciando pelo planejamento de pesquisa e desenvolvimento (P&D), passando pelo planejamento tecnológico e planejamento de produto, e finalizando com planejamento de mercado. Cada uma destas etapas é apoiada por um módulo específico de análise de patentes. O objetivo é identificar e desenvolver oportunidades de negócios com base nos ativos tecnológicos da empresa.

⁶ *Market-driven roadmapping* refere-se ao Mapa tecnológico orientado pelo mercado, proposto por Phaal, Farrukh e Probert (2003), enquanto *Technology-driven roadmapping* refere-se ao Mapa tecnológico orientado pela tecnologia, proposto por Lee *et al.* (2009). Em ambos os mapas *Market layer* refere-se a camada de Mercado, *Product layer* refere-se a camada de produto, *Technology layer* refere-se a camada de Tecnologia e *R&D layer* refere-se a camada de P&D.

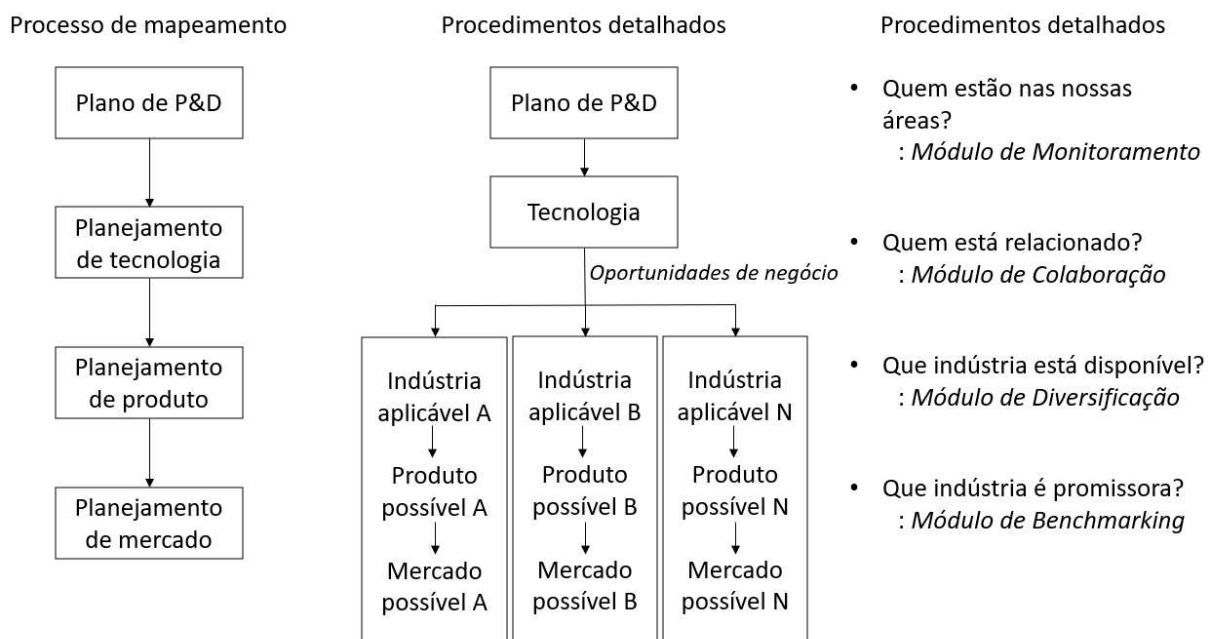


Figura 2.12– Processo do mapa tecnológico orientado pela tecnologia traduzido de Lee *et al.* (2009)

2.2.3.1 MÓDULO DE MONITORAMENTO

A primeira etapa, planejamento de P&D, consiste em examinar as tendências tecnológicas e atividades dos concorrentes por meio do módulo “Monitoramento”, que utiliza mineração de texto⁷ para identificar as similaridades entre as patentes das diferentes empresas analisadas. Com as similaridades analisadas é elaborado um “mapa de similaridade de atores”, conforme figura 2.13, que mostra as relações entre os principais atores em uma área de negócios a partir da semelhança tecnológica.

No mapa, a empresa que está realizando o mapeamento é representada pelo círculo com fundo preto e quanto maior o grau de semelhança entre esta e as outras empresas a linha que as liga se torna mais espessa.

⁷ Processo de estruturação de texto para identificar padrões.

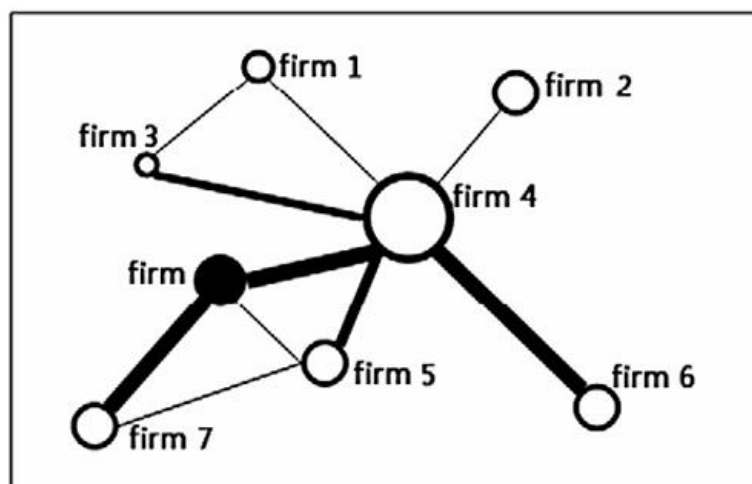


Figura 2.13 – Mapa de similaridade de atores⁸
Fonte: Lee *et al.* (2009)

2.2.3.2 MÓDULO DE COLABORAÇÃO

Após a seleção dos potenciais itens de P&D, planos de desenvolvimento detalhado são elaborados na etapa planejamento tecnológico e são discutidas as possíveis tecnologias resultantes do P&D, incluindo questões de como adquirir essas tecnologias e a expectativa de quando elas seriam criadas. Para isso, no módulo “Colaboração” é usado análise de citações, que permite criar uma rede de atores com base no fluxo de conhecimento, este fluxo é identificado por meio da relação entre as citações de patentes. Diferentemente do mapa desenvolvido na primeira etapa, que identificava a semelhança tecnológica, o “mapa de relação dos atores”, conforme figura 2.14, mostra o fluxo de conhecimento de tecnologia entre os atores.

⁸ Firm refere-se a empresas.

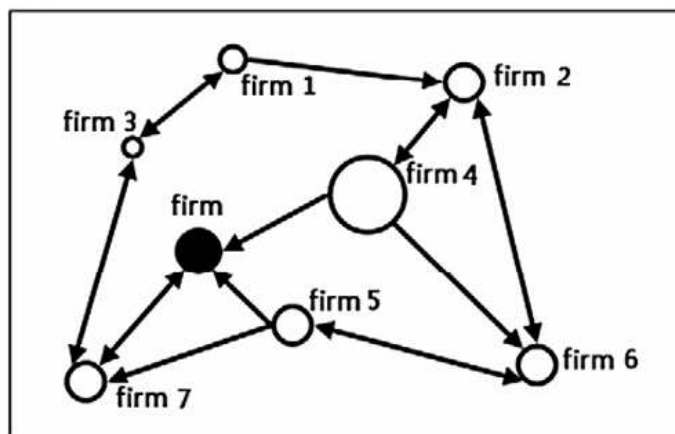


Figura 2.14 – Mapa de relação dos atores⁹
 Fonte: Lee *et al.* (2009)

2.2.3.3 MÓDULO DE DIVERSIFICAÇÃO

Concluindo o planejamento tecnológico, a etapa seguinte é o planejamento de produto, que busca encontrar novas oportunidades de negócios com base nas tecnologias que estarão disponíveis analisadas durante o planejamento tecnológico.

Uma única tecnologia, embora desenvolvida para um contexto específico, pode acabar sendo aplicável em vários setores com uma modificação mínima (Lee *et al.*, 2009).

A identificação de outras indústrias que podem utilizar a tecnologia é o objetivo do módulo “Diversificação”. Como no módulo da etapa anterior é usado a análise de citações de patentes, mas neste caso é considerado o fluxo de conhecimento como indicador de fluxo tecnológico, fazendo com que as indústrias com maiores fluxos tecnológicos são as que oferecem mais probabilidade para aplicações tecnológicas, como observado no “mapa tecnológico-industrial” da figura 2.15, em que a tecnologia que está orientando o mapeamento está representada pelo círculo com fundo preto e o fluxo tecnológico entre esta e as indústrias está sendo representado por setas, ou seja, quanto mais grossa for a seta maior é o fluxo tecnológico.

⁹ Firm refere-se a empresas.

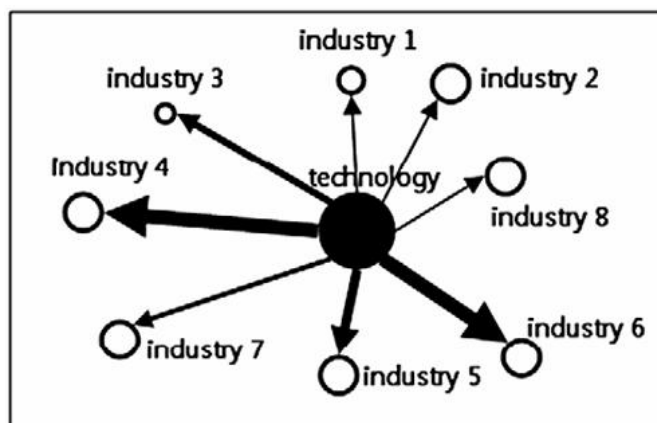


Figura 2.15 – Mapa tecnológico-industrial¹⁰
 Fonte: Lee *et al.* (2009)

Porém Lee *et al.* (2009) afirma que os resultados do módulo “Diversificação” refletem apenas os aspectos tecnológicos dos possíveis caminhos de desenvolvimento de produtos, não considerando a atividade dos competidores ou as tendências e condições do mercado.

2.2.3.4 MÓDULO DE *BENCHMARKING*

Dessa forma, a última etapa, denominada planejamento de mercado, procura identificar os mercados em que outras empresas com ativos tecnológicos similares atuam, com objetivo de compreender as possíveis ligações entre produtos e mercado. Para isso o módulo “*Benchmarking*” localiza empresas relevantes para comparação, e a partir disto determina quais mercados ingressar. O método de análise utilizado neste módulo é a Análise de Índice, que compara as combinações de patentes das empresas e identifica as semelhanças, assim, quando encontrado, essas empresas provavelmente possuem ativos tecnológicos semelhantes e seu valor de afinidade se torna alto. A partir dessa análise elabora-se o “mapa de afinidade de ativos”, conforme figura 2.16. Assim como na figura 2.13, a empresa que está realizando o mapeamento é representada pelo círculo com fundo preto e quanto maior for a relevância de outras empresas para este mapeamento mais espessa será a linha que conecta as duas.

¹⁰ *Technology* refere-se a tecnologia e *industry* refere-se a indústria.

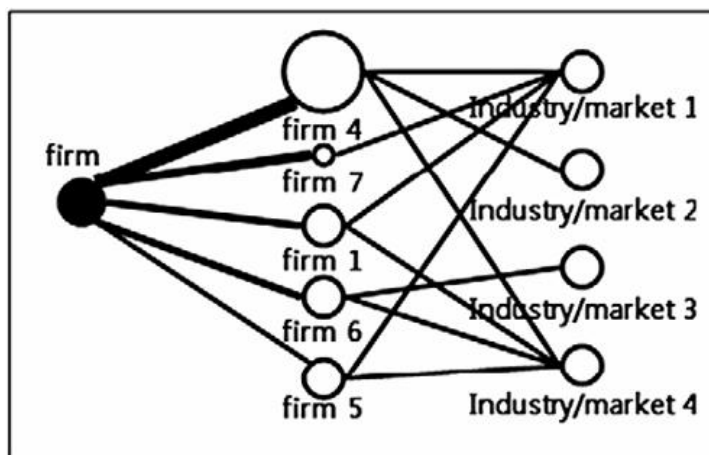


Figura 2.16 – Mapa de afinidades de ativo¹¹
 Fonte: Lee *et al.* (2009)

2.2.3.5 SUPORTE PARA TOMADA DE DECISÃO

Os resultados das análises são utilizados em conjunto para definir o caminho a ser seguido pela empresa. A combinação dos módulos “Monitoramento” e “Colaboração” possibilita que a empresa obtenha informações mais precisas sobre seus concorrentes e classificá-los em quatro categorias com base no grau de similaridade tecnológica e nos fluxos de conhecimento, são elas “Colaborativas” (*Collaborative*), “Licenciáveis de forma cruzada” (*Cross-licensable*), “Observáveis” (*Observable*) e “Benchmark”, conforme figura 2.17. Empresas “Colaborativas” apresentam tecnologias com similaridades a tecnologia planejada, já as “Licenciáveis de forma cruzada” possuem tecnologias semelhantes no geral, mas não na planejada especificamente. Os concorrentes “Observáveis” possuem baixo grau de semelhança tanto na tecnologia em geral, quanto na tecnologia planejada, enquanto que empresas “Benchmark” não possuem afinidade na tecnologia em geral, apenas na tecnologia planejada.

¹¹ *Firm* refere-se a empresa, *industry* refere-se a indústria e *market* refere-se a mercado.

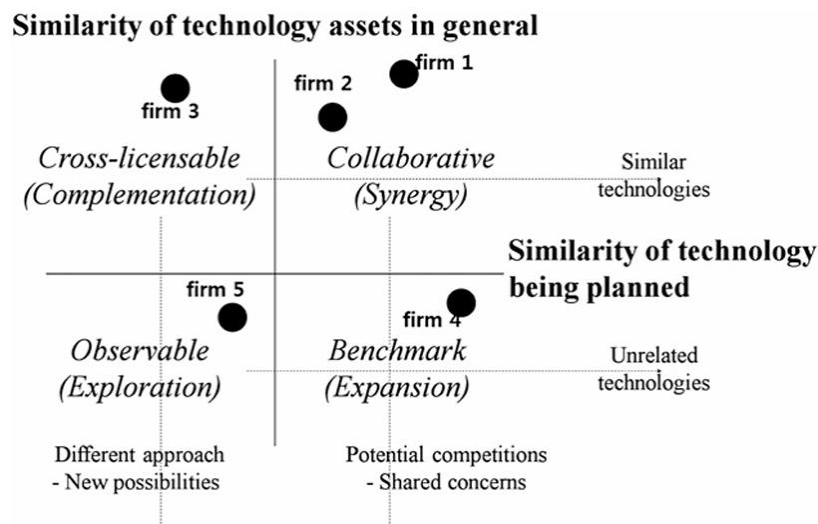


Figura 2.17 – Similaridade geral dos ativos tecnológicos¹²
 Fonte: Lee *et al.* (2009)

Assim como no caso anterior, os módulos “Diversificação” e “*Benchmarking*” são combinados para avaliar as indústrias para inserção da tecnologia planejada, para então distribuí-las em quatro quadrantes, conforme figura 2.18. As categorias da classificação são “Entrada tardia” (*Late entering*), “Promissoras” (*Promising*), “Em reserva” (*Reserving*) e “Questionáveis” (*Questionable*). Indústrias com “Entrada tardia” seriam influenciadas pela tecnologia planejada, mas provavelmente já contam com muitos concorrentes, por outro lado, indústrias “Promissoras” seriam significativamente afetadas pela tecnologia planejada e com poucos concorrentes, assim a viabilidade e lucratividade aumentaria. As indústrias “Em reserva” e “Questionáveis” não possuem relações explícitas com a tecnologia planejada, com diferenciação que a segunda tem potencial de negócios, porém com incerteza se o potencial tem conexão com a tecnologia em questão.

¹² *Similarity of technology being planned* refere-se à Similaridade de tecnologias em planejamento, *complementation* refere-se à complementação, *synergy* refere-se a sinergia, *exploration* refere-se à exploração, *expansion* refere-se a expansão, *similar technology* refere-se a tecnologias similares, *unrelated technologies* refere-se a tecnologias não relacionadas e *firm* refere-se a empresas.

Degree of knowledge-flow by technology being planned

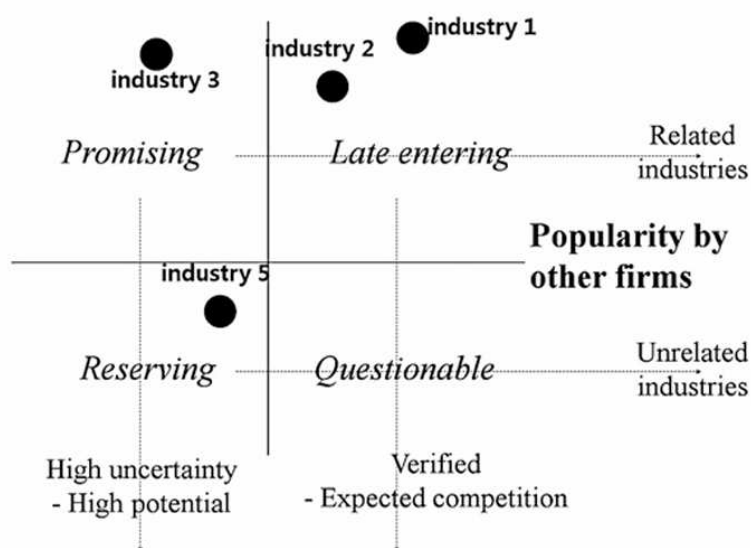


Figura 2.18 – Grau de fluxo de conhecimento pela tecnologia planejada¹³
 Fonte: Lee *et al.* (2009)

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A abordagem de Lee *et al.* (2009) não foi utilizada para a elaboração de um mapa tecnológico para identificar as tendências tecnológicas na localização de tubulações ocultas de PEAD, visto que não se busca planejar uma tecnologia e identificar as empresas concorrentes e as possíveis indústrias onde a tecnologia planejada poderia atender. Pelo contrário, este trabalho planeja identificar as possíveis tecnologias que poderiam atender o problema na localização precisa dos tubos PEAD encontrados no subterrâneo.

Sendo assim, as abordagens T-Plan de Phaal, Farrukh e Probert (2003) e SiMaTeP de González (2007) fazem mais sentido de serem utilizados, pois estas buscam entender os problemas encontrados em um determinado mercado e tentam encontrar tecnologias que poderiam atender as dores deste.

Ambas as abordagens, T-Plan e SiMaTeP, ressaltam a importância da colaboração interfuncional, da coleta e análise de informações de mercado e tecnológicas, e da necessidade de customização do processo e do mapa ao contexto específico da empresa e aos seus objetivos estratégicos.

¹³ *Popularity by other firms* refere-se à Popularidade por outras empresas, *industry* refere-se a indústria, *high uncertainty – high potential* refere-se a grande incerteza – grande potencial, *verified – expected competition* refere-se a verificado – competição esperada, *related industries* refere-se a indústrias relacionadas e *unrelated industries* refere-se a indústrias não relacionadas.

Entretanto, a SiMaTeP é mais detalhada e prescreve uma sequência de atividades e ferramentas específicas para cada uma de suas seis fases, assim a tornando um guia para a elaboração do MT. Já o T-Plan, embora estruturado em *workshops*, demonstra ser um método mais flexível e menos detalhado em seus procedimentos, focando principalmente na iniciação rápida e na adaptabilidade.

Além disso, o SiMaTeP apresenta um fluxo mais linear e sequencial, com etapas entre as fases para avaliação, enquanto o T-Plan enfatiza um primeiro rascunho do mapa. Assim, caso haja qualquer erro fica mais fácil e menos custoso arrumar entre as fases do que só no final de todo o processo.

Outro ponto de diferença entre estes métodos é que o SiMaTeP destaca a instrumentalização das empresas para o planejamento e a redução de riscos, já o T-Plan enfatiza o aprendizado organizacional e a comunicação entre as funções como um benefício crucial do processo de elaboração do MT.

Tendo isto em vista, este trabalho usou como metodologia de desenvolvimento do mapa tecnológico o SiMaTeP devido ao fluxo linear e sequencial apresentado por ele, entregando um foco maior nas tendências tecnológicas dos métodos de localização de tubulações ocultas de PEAD. Assim, o SiMaTeP apresenta um roteiro claro para implementação do MT.

Além disso, como o foco está na busca por tendências tecnológicas, não fazendo ser necessário a utilização de todas as fases, usar a metodologia que possui uma etapa que analisa os resultados entre as fases é o mais correto, visto que neste trabalho não será trabalhado o MT por completo.

Tendo isso em vista, as fases do SiMaTep utilizadas para a identificação de tendências tecnológicas foram a fase de planejamento e a fase de identificação de oportunidades futuras de inovação, assim como a fase de montagem do mapa tecnológico.

CAPÍTULO 3

MAPA TECNOLÓGICO

Este capítulo apresenta o desenvolvimento de um mapa tecnológico com tema de localização de tubulações ocultas de PEAD. Para a realização do mapa é utilizado a metodologia Sistematização do Processo de Mapeamento Tecnológico de Produtos (SiMaTeP), apresentado por González (2007). Embora este método tenha como propósito o desenvolvimento de novos produtos, a fase de “Identificação de oportunidades futuras de inovação do produto” proporciona o reconhecimento de tendências tecnológicas visados ao problema proposto.

Normalmente, neste método são realizadas seis fases para a criação do mapa para auxiliar na identificação de novos produtos. No entanto, para este trabalho foram realizadas adequações, sendo utilizadas apenas as duas fases iniciais, “Planejamento para construção do mapa” e “Identificação de oportunidades futuras de inovação do produto”, pois como mencionado anteriormente as tendências tecnológicas são identificadas já na segunda fase da metodologia. Outra adequação realizada foi em relação às atividades da primeira fase.

3.1 PLANEJAMENTO PARA CONSTRUÇÃO DO MAPA

Considerando a natureza individual deste trabalho acadêmico, a atividade de identificação de participantes não foi realizada, assim assume-se diversos papéis como o de pesquisador e líder. Além disso, a atividade de planejamento de orçamento, proposta pela metodologia original, foi suprimida pois este trabalho tem propósito acadêmico, sendo assim não há pagamentos a serem realizados a demais participantes e as informações foram adquiridas sem custos operacionais.

3.1.1 LINHA DE PRODUTOS A SER ANALISADA

Os produtos que foram analisados estão diretamente relacionados à atividade de localização de tubulações ocultas de PEAD. Foram considerados métodos documentais como desenhos *as-built*, os quais são os desenhos que apresentam a localização espacial das estruturas enterradas como mencionado por

Raynar (1994), e Sistemas de Informação Geográfica (GIS), que segundo Ferreira (2006) são sistemas que auxiliam na visualização espacial das infraestruturas subterrâneas. Enquanto que para as tecnologias de localização *in loco* existem marcadores de superfície e elementos de referência, que são componentes físicos que evidenciam a presença de rede de gás, e radares de penetração no solo (GPR), que proporciona a maior confiabilidade na localização das tubulações PEAD entre todas as opções utilizadas no mercado.

Além destes métodos empregados atualmente, foram analisadas duas patentes, de Dunn *et. al* (2022) e de Corbett Junior (2007), que utilizam etiquetas de Identificação por Radiofrequência (RFID), que possibilitam a localização em tempo real dos objetos em que estão instalados, e um estudo de caso apresentado por CGA (2022).

3.1.2 HORIZONTE DE PLANEJAMENTO DO MAPA

A escala de tempo do mapa depende da dinâmica do setor em que a empresa atua e do tipo de produto.

Segundo Mattos (2005), conforme citado por González (2007), sugere que para segmentos industriais emergentes, que possuem produtos com ciclos de vida curtos, a escala de tempo seja de 1 ou 2 anos. Enquanto que, setores tradicionais como automobilístico, com retorno de investimento mais demorado, a escala pode ser de 5 anos.

Sendo assim, o setor de infraestrutura, no qual está inserido as tecnologias para localização de tubulações ocultas de PEAD, exibe características semelhantes às dos setores tradicionais. Portanto, a escolha de um horizonte de planejamento de 5 anos deve-se ao alto custo de implementação de novas tecnologias neste setor. Além disso, a aplicação destas tecnologias envolve o transporte de um material de alta periculosidade, o gás natural, o que submete qualquer inovação a testes de segurança, demandando mais tempo para implementação.

Diante disto, o ciclo de desenvolvimento e difusão de novas tecnologias neste setor torna-se mais lento quando comparado a setores de bens de consumo, baseado no maior custo de implementação e na necessidade de testes para garantir a segurança, justificando, assim, um planejamento de médio a longo prazo.

3.1.3 CRONOGRAMA

O cronograma proposto por González (2007) busca empregar um diagrama de barras, a fim de facilitar o andamento do processo. Entretanto, o cronograma deste trabalho possui apenas as duas fases iniciais, conforme tabela 3.1, e foi criado com o auxílio do programa *Excel*.

Tabela 3.1 – Cronograma do mapa tecnológico

Nome da fase	Duração	Julho		Agosto		
		27 a 02	03 a 09	10 a 16	17 a 23	24 a 30
Planejamento para construção do mapa	3 dias					
Identificação de oportunidades futuras de inovação do produto	30 dias					

3.2 IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES FUTURAS DE INOVAÇÃO DO PRODUTO

Segundo González (2007) esta fase tem como objetivo identificar lacunas a serem preenchidas para satisfazer as necessidades futuras do produto.

3.2.1 NECESSIDADES DOS CLIENTES E TENDÊNCIAS DO MERCADO

Esta atividade consiste em caracterizar os clientes nos aspectos qualitativos e quantitativos (González, 2007).

O levantamento dessas informações pode ser feito de diversas formas, sejam elas por observação em campo, consulta a clientes ou painéis de usuários. Para este trabalho decidiu-se utilizar a pesquisa bibliográfica como método de levantamento.

Um relatório tecnológico de 2022 realizado pela *Common Ground Alliance* (CGA), uma associação norte-americana que promove a prevenção de danos a infraestruturas subterrâneas, baseado nas respostas dos *stakeholders* acerca da prioridade que eles acreditavam que a empresa ou organização ao qual faziam parte

atribuía a cada um dos itens listado na figura 3.1. Os itens listados para avaliação dos *stakeholders* foram segurança (*Safety*), prevenção de danos (*Damage Prevention*), treinamento/educação contínua (*Training/Continuing Education*) e tecnologia e inovação (*Technology and Innovation*).

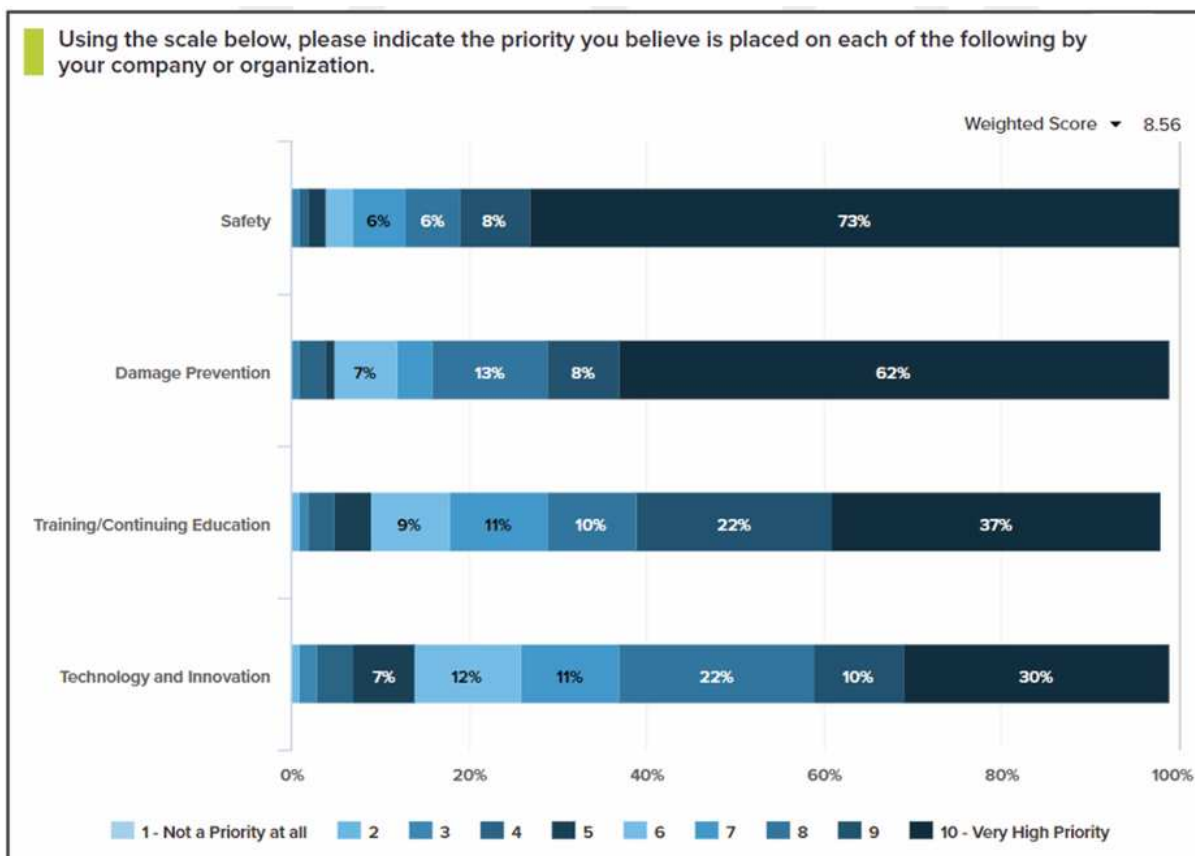


Figura 3.1 – Pesquisa de prioridade dos *stakeholders*
 Fonte: *Commom Ground Alliance* (2022)

Segundo as respostas obtidas no questionário, 73% dos *stakeholders* acreditavam que o quesito de segurança possuía altíssima prioridade, nota 10, em suas empresas ou organizações.

Em seguida foi pedido aos *stakeholders* para que analisassem as categorias tecnológicas listadas e classificassem elas de 1 a 5, com 1 para a categoria que acreditassem ter o maior potencial para reduzir os danos às instalações subterrâneas por meio de avanço tecnológico e com 5 para a menos provável de causar um impacto na redução de danos, como pode ser observado na figura 3.2.

As categorias listadas foram localização/marcação (*Locating/Marking*), mapeamento/posicionamento (*Mapping/Positioning*), instalação de

infraestrutura/manutenção (*Facility Installation/Maintenance*), software (*Software*) e aproximação (*Encroachment*).

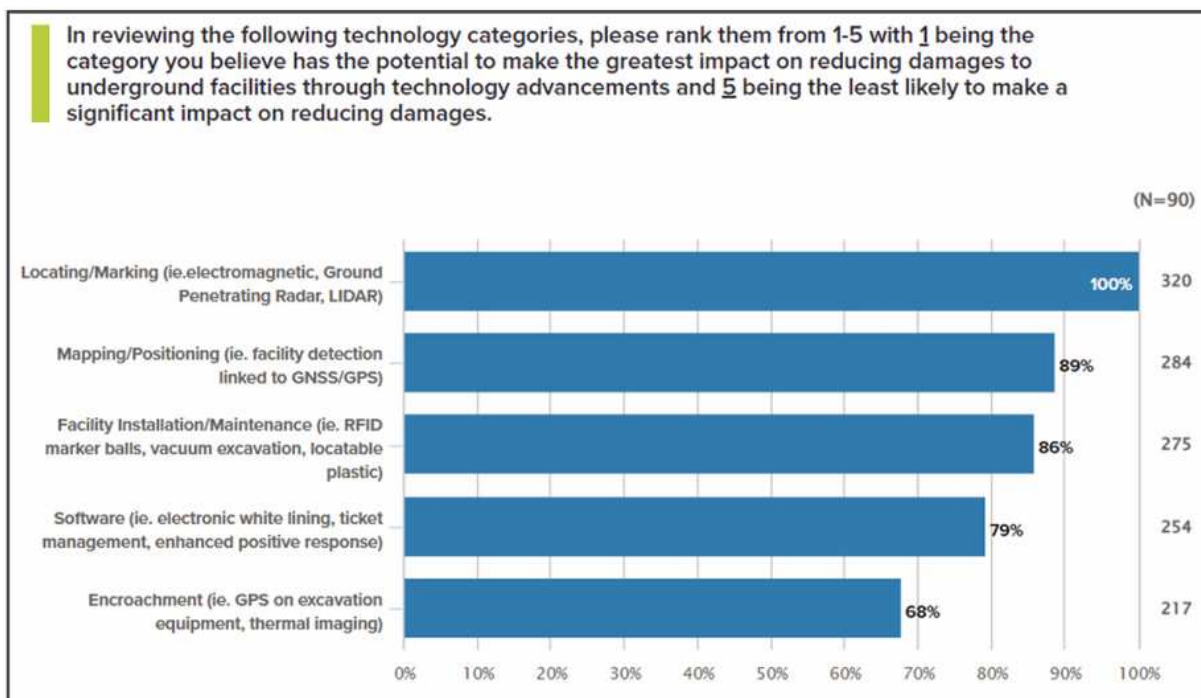


Figura 3.2 – Pesquisa de potencial inovativo segundo os *stakeholders*
 Fonte: *Common Ground Alliance* (2022)

Embora haja uma discrepância na prioridade entre a segurança e a inovação tecnológica, segundo a figura 3.1, a pesquisa realizada também mostrou que quando se trata de eficiência sobre a localização e marcação, este apresentou o maior potencial de impacto inovativo na prevenção de danos a infraestruturas subterrâneas, como pode ser visualizado na figura 3.2.

Sendo assim, a tendência do mercado, segundo o relatório, é de maior ênfase em segurança por meio de inovações para a localização e marcação de estruturas subterrâneas.

3.2.2 TECNOLOGIAS ATUAIS E POTENCIAIS DA LINHA DE PRODUTO

O levantamento das tecnologias atuais utilizadas para a localização de tubulações ocultas de PEAD mostrou a utilização de quatro linhas de produtos, sendo elas desenhos *as-built*, marcadores de superfície e elementos de referência, radares de penetração do solo (GPR) e sistemas de informação geográfica (GIS).

Os desenhos *as-built* são documentos técnicos que detalham a localização das redes instaladas, incluindo informações sobre profundidade, traçado, conexões e referências a pontos fixos na superfície, conforme figura 3.3.

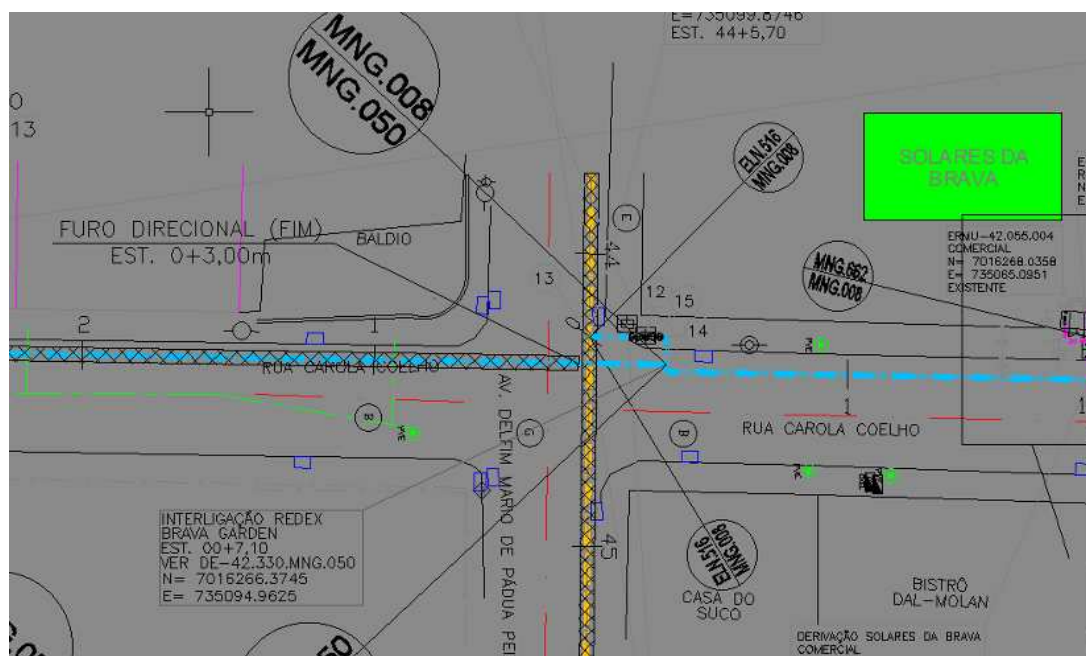


Figura 3.3 – Exemplo de desenho *as-built*

Os marcadores de superfície e elementos de referência são objetos físicos que são instalados próximos a tubulações. Os marcadores são a placa de concreto com identificação e a fita de advertência. A placa de concreto, conforme figura 3.4, é instalada sobre a camada de terra que é disposta sobre a tubulação.



Figura 3.4 – Placa de concreto utilizada na presença de tubulações de gás

Já a fita de sinalização, conforme figura 3.5, é disposta no meio da camada de terra que cobre a tubulação.



Figura 3.5 – Fita de sinalização utilizada para alertar da presença de tubulações de gás

Fonte: Tegape Telas (<https://www.tegape.com.br/produto/tela-de-advertencia/>, acessado em agosto de 2025)

Entretanto, esses marcadores são instalados apenas quando o método construtivo utilizado é com aberturas de valas conforme comentado no capítulo 1. Enquanto que a construção da rede de distribuição de gás realizada por furo direcional com método não destrutivo, também comentada no capítulo 1, não possui essas barreiras físicas em sua estrutura.

Os elementos de referência são postes, placas ou outras estruturas visíveis instaladas em pontos estratégicos ao longo do traçado da tubulação, geralmente em mudanças de direção, presença de válvulas ou em intervalos regulares. A figura 3.6 demonstra a aplicação de uma placa de identificação para sinalizar a existência de uma válvula de gás na rede.



Figura 3.6– Placa com identificação de presença de válvula de gás

Os radares de penetração do solo (GPR) operam com base no princípio da reflexão de ondas eletromagnéticas, conforme figura 3.7. À medida que o operador empurra o equipamento sobre o caminho previamente traçado, o GPR emite, por meio de uma antena de transmissão, ondas eletromagnéticas que se propagam no solo. Este sinal, segundo Annan (2003), percorre os materiais e as ondas são refletidas e/ou espalhas por causa das alterações na impedância. Estas diferenças são captadas pela antena receptora do GPR e traduzidas em um gráfico, conforme figura 3.7. Este gráfico demonstra a posição e a profundidade da estrutura identificada. Entretanto, necessita-se que os dados obtidos sejam interpretados manualmente.

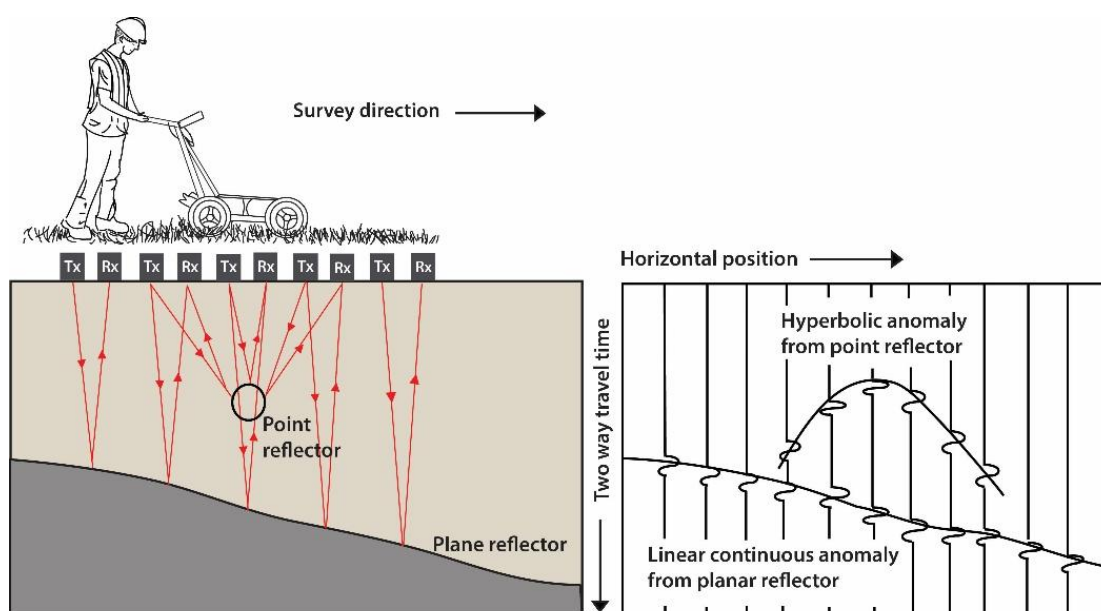


Figura 3.7 – Funcionamento do GPR

Fonte: ScanTech (<https://scantech.ie/scantech-about-gpr.html>, acessado em agosto de 2025)

Os radares mais modernos possuem a capacidade de emitir maiores quantidades de frequências, isto é imprescindível na detecção de estruturas subterrâneas diferentes como apresentado no trabalho de Senthil *et al.* (2021).

Enquanto que o Sistema de Informações Geográfico (GIS), segundo Ferreira (2006), combina programas computacionais com equipamentos, dados, usuários e procedimentos para resolver problemas, auxiliar decisões e planejar por meio de dados inseridos no sistema.

No mapeamento de tubulações de gás, o GIS oferece uma visão espacial, conforme observado na figura 3.8 que detalhada a rede de distribuição, possibilitando a gestão, manutenção e planejamento mais eficiente dessa infraestrutura, pois ele permite gerenciar e manter informações geográficas precisas da localização de todas as tubulações, válvulas e equipamentos relacionados.

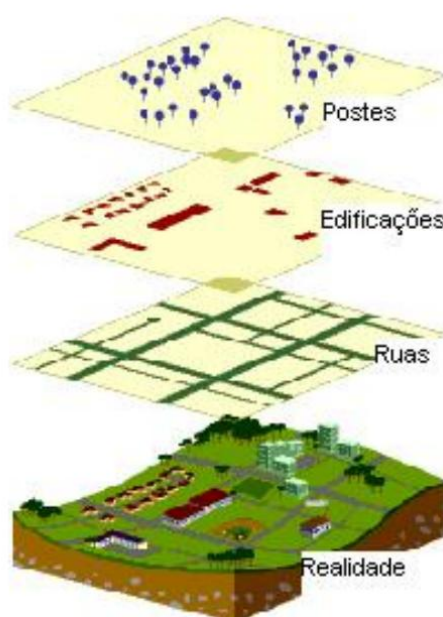


Figura 3.8 – Camadas temáticas representando o mundo real
Fonte: Ferreira (2006)

Embora essas tecnologias auxiliem na localização de tubulações ocultas de PEAD, há potencial para melhorias dos atuais métodos, até mesmo implementação de novas tecnologias, como indicado no *Technological Report 2022*.

Com isso, foi realizada uma pesquisa de patentes na agência americana de registro de patentes, o USTPO, assim como no INPI, do Ministério da Economia brasileiro, que para ambos os casos foram utilizadas as palavras chave “localização tubulação”. Já o relatório tecnológico do CGA de 2022 mostra a utilização de algumas tecnologias no auxílio da localização de tubulações.

Na base de dados encontrados no INPI a patente de número BR 112019004391-8, que se refere a uma fita de sinalização com incorporação de tecnologia RFID, que inclui um circuito integrado acoplado a uma antena. Nesta patente, a fita de sinalização com RFID, é disposta logo acima da tubulação, conforme observada na figura 3.9, é capaz de transmitir a sua posição, e conseqüentemente a localização aproximada da tubulação também pode ser identificada.

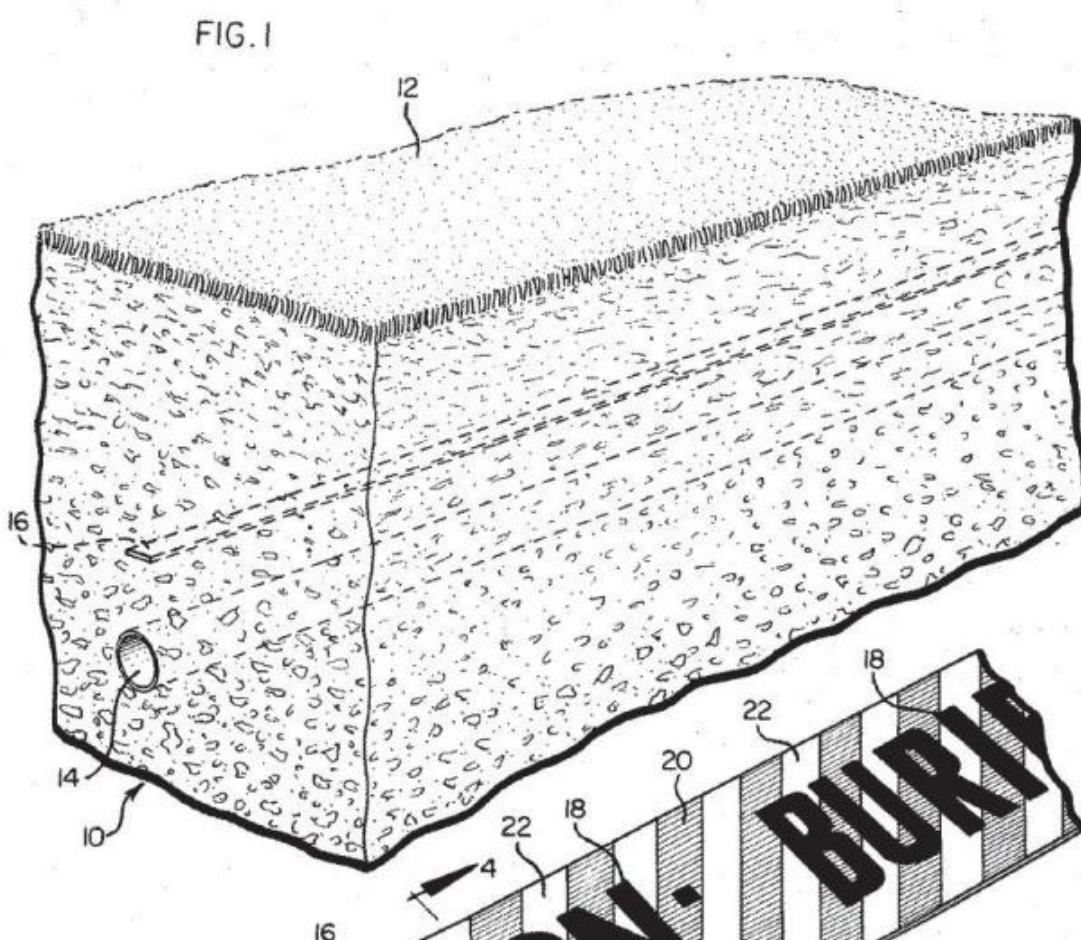


Figura 3.9 – Fita de sinalização disposta acima da tubulação¹⁴
 Fonte: Dunn *et al.* (2022)

Entretanto, essa patente não abrange todas as situações visto que as fitas de sinalização não são utilizadas para os casos em que o método construtivo com furo direcional não-destrutível foi o escolhido. Já que este método realiza apenas a

¹⁴ A fita de sinalização está sendo representada pelo elemento da figura de número 16, enquanto que a tubulação de gás está sendo representada pelo número 14.

passagem da tubulação e não insere as fitas de sinalização e as placas de concreto acima da tubulação.

A patente encontrada na base de dados do USTPO com número US 2007/0057769, diz respeito a incorporação de uma etiqueta de RFID à tubulação de PEAD, quando esta tubulação está em processo de fabricação. Assim, a etiqueta de RFID fica envolta pelo material plástico, dificultando uma eventual falha por perda da etiqueta. A disposição da etiqueta de RFID no tubo pode ser visualizada na figura 3.10.

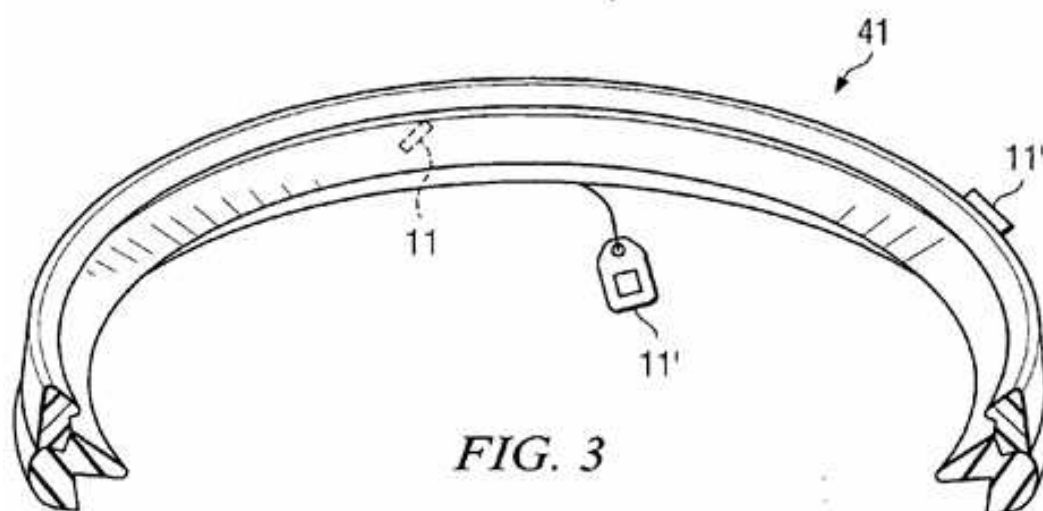


Figura 3.10 – Disposição da etiqueta de RFID na tubulação
Fonte: Corbett Junior (2007)

Enquanto que a patente brasileira dispõe a etiqueta na fita de sinalização, a patente americana incorpora a etiqueta à própria tubulação. Sendo assim, os pontos fortes da patente da fita de sinalização são a facilidade e menor custo de implementação no processo de mapeamento da rede de gás. Entretanto, este método não torna a localização de tubulações mais precisa, visto que a fita não está acoplada diretamente ao tubo, além do que uma possível escavação poderia danificar ou mudar a localização da fita de sinalização, conseqüentemente as etiquetas de RFID, diferentemente da incorporação destas diretamente na tubulação, como descrito na patente do USTPO.

A *Commom Ground Alliance* (2022) apresenta oito estudos de casos focados em tecnologias para prevenção de danos. Um destes estudos de caso se refere ao mapeamento subterrâneo não intrusivo, em que são utilizados múltiplos sensores, inteligência artificial (IA), satélites e drones a fim de proporcionar a

visualização tridimensional de estruturas enterradas, podendo ser integrada a sistemas GIS e CAD, conforme observado na figura 3.11. Esse estudo foi realizado em dois países, Israel e Estados Unidos, onde observou-se que o trabalho de sondagem reduziu em 50% (cinquenta por cento) nos projetos no primeiro país, e em solo americano foi reduzido em 70% (setenta por cento). Devido à eliminação da interpretação manual e utilização de IA, foram encontradas de 20% a 50% mais estruturas de serviço público, tanto ativas quanto abandonadas, assim reduzindo os problemas causados por linhas abandonadas.

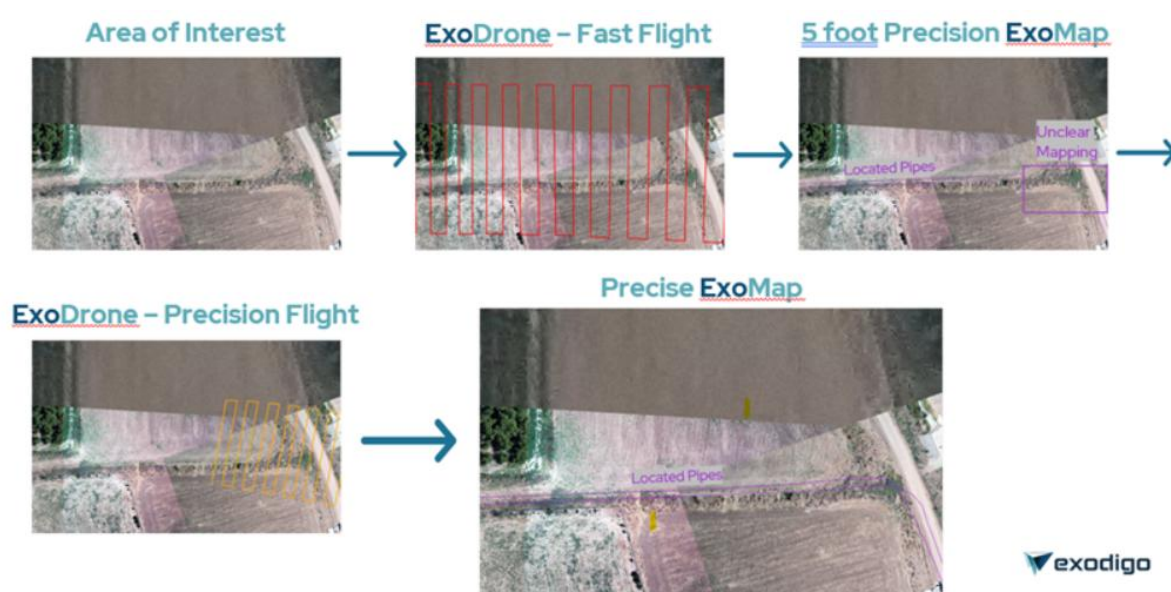


Figura 3.11 – Processo de localização de estruturas subterrâneas

Fonte: *Common Ground Alliance* (<https://commongroundalliance.com/Publications-Media/Technology-Reports/Case-Studies-Technology/2022-Exodigo>, acessado em outubro de 2025)

3.2.3 NOVAS TENDÊNCIAS E EVENTOS FUTUROS DO AMBIENTE

Esta etapa pretende avaliar fatores econômicos, sociais, ambientais políticos e de regulamentação que podem influenciar ou ameaçar a empresa (González, 2007).

O trabalho não tem como foco uma empresa específica, porém foi utilizada a análise PEST (Política, Econômica, Social e Tecnológica), recomendada por González (2007). A técnica consiste em analisar os ambientes político, econômico, social e tecnológico afim de refletir os impactos que as mudanças no ambiente de

negócio provocam sobre a tendência tecnológica na localização de tubulações ocultas de PEAD.

A primeira análise foi realizada acerca dos aspectos políticos sobre as tubulações PEAD por meio de pesquisa de normas brasileiras. A principal norma utilizada para a distribuição de gás natural em tubos de polietileno é a NBR 14.462 (2000), denominada “Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Tubos de polietileno PE 80 e PE 100 – Requisitos”, a qual fixa as condições de utilização das tubulações de PEAD, porém não menciona aspectos sobre a localização destas redes. Com isso, percebe-se que não há uma política brasileira de normalização sobre métodos para localizar tubulações ocultas de PEAD.

A segunda análise acompanhou o aspecto econômico por meio de uma pesquisa institucional no site da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Brasil (2024) propõe o desenvolvimento do sistema de transporte de gás natural ao longo de dez anos por meio de trinta projetos, onde quinze possuem como objetivo atender novos mercados, com investimentos de 23,7 bilhões de reais. Conseqüentemente a quantidade de tubulações PEAD instaladas no país aumentará, visto que estes novos mercados atendidos precisarão de uma nova rede de distribuição de gás natural.

Simultaneamente à expansão citada acima, surge um desafio econômico e operacional de longo prazo: a manutenção das tubulações existentes e futuras. A durabilidade dos tubos PEAD é uma variável importante nesse contexto. Um estudo conduzido por Wang *et al.* (2019) estabelece que a expectativa de vida de uma tubulação PEAD para transporte de gás a uma pressão de 0,4 mega Pascal [Mpa] é de aproximadamente 75 anos, como observado na figura 3.12. Todavia, a pressão utilizada nos dutos de plástico pelas distribuidoras varia 0,69 a 1,08 MPa (equivalente a 7 a 11 quilograma-força por centímetro quadrado [kgf/cm²]). Além disso, a pesquisa demonstra uma correlação inversa entre a pressão e a vida útil do material, evidenciando que o aumento de pressão acelera o processo de desgaste da tubulação. Com isso, essas tubulações precisarão de manutenção ou troca antes destes 75 anos apresentados por Wang *et al.* (2019).

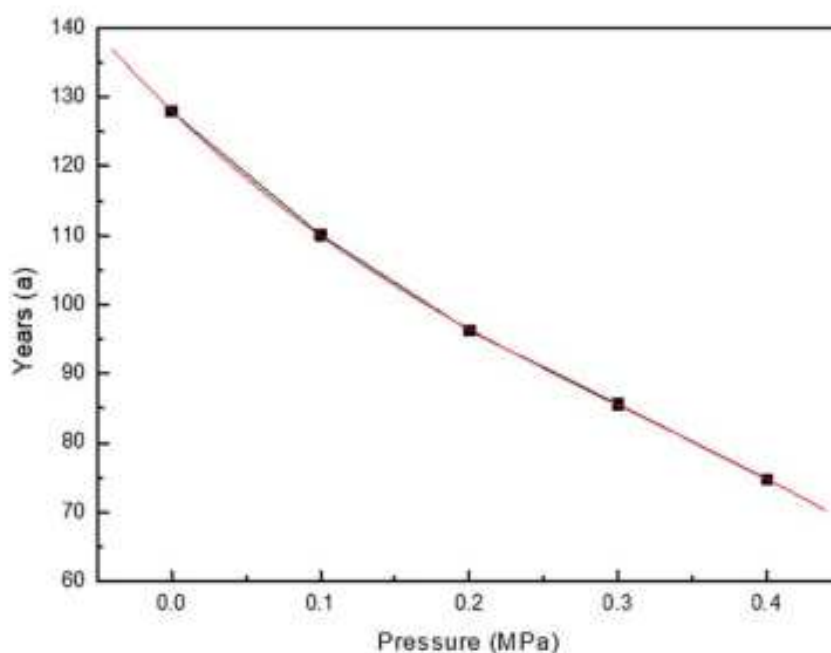


Figura 3.12 – Curva de expectativa de vida de tubulações PEAD sobre pressão
Fonte: Wang *et al.* (2019)

Assim, o cenário de crescimento da rede de distribuição de gás por dutos de PEAD, junto à demanda de manutenção em função das condições operacionais mais severas destaca a importância da localização destas tubulações.

Já o terceiro fator a ser analisado são os aspectos sociais. Analisando os dados sociais apresentados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no Censo Brasileiro de 2022, observa-se que no ano 2000 7,6% da população brasileira vivia em apartamentos, esta proporção aumentou em 0,9% em 2010 até chegar em 12,5% registrados em 2022. Além disso, em alguns estados existem leis que proíbem ou restringem a utilização de botijão de gás em prédios, como o decreto número 897, de 21 de setembro de 1976, do Estado do Rio de Janeiro. Conseqüentemente, essa tendência de verticalização, em conjunto com as restrições legais, gera uma nova demanda que obriga as empresas de distribuição a expandirem suas redes de distribuição de gás.

A última análise realizada é acerca dos aspectos tecnológicos, cuja influência é evidenciada na crescente conectividade da sociedade. Esse fenômeno é notado na rapidez com que as informações são transmitidas, onde no passado as notícias do dia anterior eram relatadas em jornais diários, atualmente elas são divulgadas na internet e visualizadas nos celulares imediatamente após o ocorrido, conforme mencionado por Hjarvard (2018). Sendo assim, percebe-se que todos os

objetos que cercam o homem estarão de alguma forma conectados e trocando informações entre si, esta tecnologia é denominada *Internet of Things*, ou internet das coisas (IoT). Isto também é possível de ser observado no mercado de distribuição de gás natural, porém em um passo mais lento devido ao tipo de mercado que este está inserido, de infraestrutura. Um dos exemplos visto neste mercado é a digitalização de desenhos *as-built*, que possibilita a consulta a estes por meio de equipamentos com acesso à *internet*.

Tendo isso em vista, segundo as análises dos aspectos sociais e econômicos, a tendência da utilização de tubulações PEAD é aumentar, enquanto que a análise dos aspectos tecnológicos mostra a necessidade de localizar as tubulações mais rapidamente. Já a análise dos aspectos políticos não traz nenhuma narrativa visto que a norma brasileira não menciona nenhum método de localização de tubulações de PEAD.

3.2.4 POSICIONAMENTO DAS INFORMAÇÕES NA CAMADA DE MERCADO



Nesta etapa foi realizada uma tabela, onde as informações analisadas durante a fase de identificação de oportunidades futuras de inovação do produto foram dispostas na camada de mercado do mapa tecnológico, como pode ser observado na figura 3.13.

A camada de mercado foi dividida em três partes, sendo elas “Evolução da ‘demanda’ do Mercado”, “Outras tendências e eventos” e “Evolução da ‘oferta’ de Tecnologia”.

As informações levantadas no capítulo 3.2.1 – Necessidades dos clientes e tendências do mercado são dispostas na primeira parte “Evolução da ‘demanda’ do Mercado”.

Enquanto que a segunda parte da camada, “Outras tendências e eventos”, é subdividida em “Social, Política e Econômica” e “Legislação”, onde as informações que estão presentes nesta parte foram retiradas das quatro análises realizadas durante o capítulo 3.2.3 – Novas tendências e eventos futuros do ambiente.

Por último, as informações coletadas no capítulo 3.2.2 – Tecnologias atuais e potenciais da linha de produto são colocadas na parte “Evolução da ‘oferta’ de Tecnologia”.

		presente 2025	→ futuro 2030	VISÃO	
CAMPO DE BUSCA DE OPORTUNIDADES OU LACUNAS DE TECNOLOGIAS					
MERCADO Evolução do ambiente competitivo	Evolução da "demanda" do Mercado		Prioridade em segurança por meio de inovações para a localização e mapeamento de estruturas subterrâneas. Aumento na utilização de tubos PEAD para redes de distribuição de gás natural.	Métodos eficazes e rápidos de localizar as tubulações de PEAD.	Acompanhamento em tempo real da localização e <i>status</i> das tubulações de PEAD.
	Outras tendências e eventos	Social, Política, Econômica	Aumento percentual da população brasileira morando em prédios que necessitam de sistemas de abastecimento de gás. Utilização de tubulações PEAD mais viável economicamente.	Continuação da verticalização das cidades e crescimento de moradores em prédios.	Consolidação da população em apartamentos. Necessidade de manutenção ou troca das tubulações de PEAD existentes, tornando imprescindível a localização destas.
		Legislação	Atualmente não há normas específicas de métodos para a localização de tubulações.		
	Evolução da "oferta" de Tecnologia		Localização de tubulações PEAD enterradas por meio de consulta à desenhos <i>as built</i> e mapeamento por GPR	Auxílio de inteligência artificial (IA) para a interpretação da leitura do georadar.	Tecnologias que auxiliam na localização em tempo real das tubulações de PEAD, como a utilização de etiquetas RFID inseridos em tubos.



LACUNAS DE INFORMAÇÃO

(Precisa de acompanhamento)

Figura 3.13 – Camada de mercado do mapa tecnológico

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A metodologia SiMaTeP, proposta por González (2007), foi adotada como referencial, porém ajustada para os objetivos específicos deste trabalho. A adaptação ocorreu com a utilização de apenas as duas fases iniciais, "Planejamento para a construção do mapa" e "Identificação de oportunidades futuras de inovação do produto", suprimindo as demais fases focadas no desenvolvimento de novos produtos, visto que o objetivo principal do trabalho é a identificação de tendências tecnológicas.

A primeira fase definiu a linha de produtos de localização de tubulação PEAD que seria analisado, tanto os métodos atuais quanto os potenciais, e um horizonte de tempo de 5 anos, devido ao lento desenvolvimento e difusão de novas tecnologias no setor em que os produtos estão inseridos. Além disso, foi realizado o cronograma empregando o diagrama de barras, que auxiliou o desenvolvimento do MT. Entretanto, o planejamento de orçamento, previsto na metodologia, não foi realizado, visto que este trabalho tem propósito acadêmico, sem adição de outros participantes e aquisição de informações sem custos operacionais, com isso foi determinado que não haveria custo, conseqüentemente esta atividade não seria necessária para a continuação da metodologia.

Na fase seguinte, "Identificação de oportunidades futuras de inovação do produto", foram analisadas as necessidades de mercado, baseada em relatórios como o da *Common Ground Alliance*, o qual relatou que a segurança e a prevenção de danos são as prioridades máximas do setor, e que as inovações em localização e marcação são vistas como as de maior potencial de impacto. Enquanto que a prospecção tecnológica identificou as limitações dos métodos atuais, GPR e desenhos *as-built*, e levantou as tecnologias emergentes mais promissoras, com destaque para a aplicação de etiquetas RFID, seja em fitas de sinalização ou integradas à tubulação, e o uso de Inteligência Artificial para processamento de dados de múltiplos sensores, incluindo drones e satélites, visando eliminar a falha humana na interpretação.

Ainda nesta fase, a análise PEST revelou os principais impulsionadores e lacunas do ambiente. Fatores econômicos, expansão da rede de gás, e sociais, verticalização urbana, indicam um aumento da demanda. Entretanto, foi identificada

uma lacuna na legislação, notada pela ausência de normas brasileiras específicas para os métodos de localização.

Por fim, todas as informações levantadas, demandas do mercado, tendências ambientais (PEST) e a oferta de tecnologias atuais e potenciais, foram sistematicamente organizadas e posicionadas na camada de "Mercado" do MT, conforme observado na figura 3.13. Este mapa consolida os dados da pesquisa, evidencia as lacunas de informação e fornece a base estruturada para a identificação das tendências tecnológicas, que serão discutidas nas conclusões gerais deste trabalho.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões gerais do trabalho acerca da tendência tecnológica de localização de tubulações ocultas de PEAD enterradas e as sugestões de trabalhos futuros para o desenvolvimento desta tecnologia.

4.1 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal a identificação das tendências tecnológicas para a localização de redes subterrâneas de gás natural compostas por tubulações de PEAD. A fim de alcançar este propósito foi utilizada uma metodologia de pesquisa qualitativa, exploratória e descritiva, resultando na elaboração de um mapa tecnológico fundamentado na metodologia SiMaTeP, descrita por González (2007). Entretanto, este método passou por ajustes, visto que o foco foi a identificação de tendências tecnológicas, não sendo necessário a utilização completa dele para identificar a tendência tecnológica.

Os resultados indicam um aumento na utilização de tubulações de PEAD nas redes de distribuição de gás natural, atribuído ao melhor custo-benefício e facilidade de manuseio em comparação ao aço. Entretanto, isto acentua um grande desafio, a localização precisa dessas tubulações de PEAD. As tecnologias empregadas atualmente, como a consulta a desenhos *as-built* e uso de GPR, possuem limitação na exatidão da localização. Isso ocorre tanto pela movimentação natural do solo ao longo do tempo, quanto pela necessidade de interpretação humana dos dados adquiridos pelo GPR, o que pode levar a erros.

Além disso, o relatório apresentado pela CGA evidenciou que a segurança e a prevenção de danos às instalações subterrâneas são prioridades para as empresas do setor, e que as inovações em tecnologias de localização e marcação são consideradas as mais promissoras para reduzir riscos. O MT desenvolvido neste trabalho resume a evolução dessas tecnologias, partindo dos métodos atuais e apontando um futuro em que a localização ficará mais precisa, rápida e integrada. A tendência tecnológica identificada é a mudança de métodos passivos e reativos para

sistemas proativos e inteligentes, que permitem o monitoramento em tempo real da posição e estado das tubulações.

Com isso, a incorporação de sensores avançados e o auxílio de inteligência artificial no tratamento de dados são as principais tendências tecnológicas. Em destaque estão a tecnologia RFID, seja em fitas de sinalização ou integradas diretamente na composição das tubulações, além da utilização de plataformas que combinam múltiplos sensores, inteligência artificial, drones e satélite para criar um mapeamento tridimensional preciso do subsolo. Essas inovações tem como objetivo não só melhorar a precisão da localização, mas também diminuir a necessidade de interpretação humana e integrar os dados de maneira eficiente aos GIS, avançando para uma infraestrutura conectada. A implementação de tecnologias que possibilitam a localização mais precisa de tubulações de PEAD é fundamental para garantir a segurança e a eficiência na manutenção e expansão das redes de gás natural, que estão em crescimento devido a fatores sociais, como a verticalização das cidades, e aspectos econômicos, como os planos de expansão do sistema de transporte de gás no Brasil.

4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho limitou-se às fases de "Planejamento para construção do mapa" e "Identificação de oportunidades futuras de inovação do produto". Sendo assim, uma sugestão de trabalho futuro é a aplicação das demais fases da metodologia SiMaTeP em parceria com uma empresa do setor, que definiriam um posicionamento estratégico para esta, além de definir requisitos técnicos para as tecnologias emergentes e investimentos necessários para o desenvolvimento ou aquisição dos mesmos.

Outra sugestão de estudo é o desenvolvimento e teste de protótipos, a fim de validar em campo um protótipo de sistema de localização baseado na integração de etiquetas RFID em tubulações de PEAD, avaliando a profundidade de detecção, a precisão do sinal e a durabilidade do dispositivo em condições subterrâneas.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. C. M. **Radar de penetração no solo (GPR): Aspectos geofísicos e geodésicos, processamento e análise em pavimento flexível**. Recife, 2005.
- ANNAN, A. P. **Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications**. Mississauga, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12712: Projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível**. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14462: Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas – Tubos de polietileno PE 80 e PE 100 – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2000.
- BENSON, R. C.; GLACCUM, R. A.; NOEL, M. R. **Geophysical Techniques for Sensing Buried Wastes and Waste Migration**. Las Vegas, 1984.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Plano coordenado de desenvolvimento do sistema de transporte de gás natural 2024-2033**. Brasília, 2024.
- CGA - COMMON GROUND ALLIANCE. **Technology Report 2022: Technology Advancements & Gaps in Underground Safety**. 2022. Disponível em: <https://technology.commongroundalliance.com>. Acesso em: 23 jun. 2025.
- CORBETT JUNIOR, B. G. **Method of locating pipelines using RFID technology**. US n. US 2007/0057769. Depósito: 13 nov. 2006. Concessão: 15 mar. 2007.
- COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. de S. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, nº 1, p. 1-13, 2003.
- DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. **Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy**. *Geophysical Prospecting*, v. 37, p. 531-551, 1989.
- DUNN, R. C.; WRIGHT, B. D.; ROSS, R. A.; PARMAN, J. M.; TUBBS, D. A.; BELL, P. A. **Fita de sinalização**. Titular: EAS IP. BR n. BR 112019004391-8. Depósito: 07 set. 2017. Concessão: 08 nov. 2022.
- ELLIS, G.; **What are as-built drawings?**. *SBE Today*, v. 37, nº 122, p. 1 e 10, 2021.
- FERREIRA, N. C. **Apostila de sistema de informações geográficas**. Goiânia, 2006.
- GONZÁLEZ, C. J. I. **Sistematização do processo de mapeamento tecnológico de produtos**. Florianópolis, 2007.

HJARVARD, S. **As duas faces da conectividade digital: a transformação das dependências sociais**. Entre o que se diz e o que se pensa: onde está a mediação, p. 253-279, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

JUNIOR, C. A. R. **Perfuração dirigida**. Rio de Janeiro, 2012.

MATTOS, P. N. **Planejamento de novos produtos por intermédio do método Technology roadmapping (TRM) em uma pequena empresa de base tecnológica do setor de internet móvel**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

MONTIEL, H.; VÍLCHEZ, J. A.; ARNALDOS, J.; CASAL, J. **Historical analysis of accidents in the transportation of natural gas**. Universidade Politécnica da Catalunha, Barcelona, 1996.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. **Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution**. Cambridge, 2003.

PROBERT, D.; FARRUKH, C.; PHAAL, R. **Technology roadmapping: developing a practical approach for linking resources to strategic goals**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. v. 217, n. 9, p. 1183-1195, 2003.

RAYNAR, K. A. **Integrating computer vision with computer aided design to produce construction as-built drawings**. Universidade do Estado da Pensilvânia, 1994.

RHEE, J.; PARK, K.; CHO, J.; LEE, S. **A Study of the Application and the Limitations of GPR Investigation on Underground Survey of the Korean Expressways**. Remote Sens, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13091805>. Acesso em: 01 out. 2025.

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA. **Sistema de registro de preços**. Florianópolis: SCGÁS, 2025. Disponível em: <https://www.scgas.com.br/scgas/site/licitacoes/sistema-de-registro-de-precos--precos-registrados>. Acesso em: 11 dez. 2025.

SENTHIL, P.; VARUGHESE, A.; DEV, H.; GUPTA, S. L. **Applications of Ground Penetrating Radar—A Comprehensive Case Study**. ResearchGate, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-16-1303-6_3. Acesso em: 01 out. 2025.

WAITE, A. H.; SCHMIDT, S. J. **Gross errors in height indication from pulsed radar altimeters operating over thick ice or snow**. IRE International Convention Record, parte 5, pp. 38-54, 1961.

WANG, Y.; LAN, H.; MENG, T. **Lifetime prediction of natural gas polyethylene pipes with internal pressures**. Engineering Failure Analysis, v. 95, p. 154-163, 2019.