CONSOLIDAÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE *TECHNOLOGY ROADMAP* PARA UM PROJETO DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS

LUCAS BOMFIM MENDES

21 DE JULHO, 2025. EM BRASÍLIA.

FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Lucas Bomfim Mendes

CONSOLIDAÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE *TECHNOLOGY ROADMAP* PARA UM PROJETO DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS

Entrega de trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação do curso de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Universidade de Brasilía – UnB

Departamento de Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Andrea Cristina dos Santos

FT-UnB 2025

Bomfim Mendes, Lucas
CONSOLIDAÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE TECHNOLOGY ROADMAP PARA UM PROJETO DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS/ Lucas Bomfim Mendes. – FT-UnB, 2025- 72 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Andrea Cristina dos Santos

Monografia (Projeto de Graduação – Universidade de Brasilía – UnB Departamento de Engenharia de Produção , 2025.

Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia de Produção - Faculdade de Tecnologia.

Resumo

O presente trabalho propõe a construção de um *roadmap* tecnológico para produtos tangíveis com base na análise da literatura científica, patentes e estudo de caso do projeto de turbinas hidrocinéticas da Universidade de Brasília (UnB). A partir da abordagem metodológica do *Design Science Research (DSR)*, foram definidas nove etapas para a elaboração do *roadmap*, que incluem o escopo do projeto, análise de competências, coleta de dados bibliográficos e de propriedade intelectual, entrevistas com especialistas, organização em raias temáticas e síntese estratégica das tendências tecnológicas. A análise foi conduzida por meio da técnica Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC) para garantir a relevância das referências utilizadas, complementada por agrupamentos de patentes em *clusters* e inserção temporal conforme os níveis de maturidade tecnológica (*TRL*). Os resultados mostram que o *roadmap* construído pode orientar a equipe de projeto na tomada de decisões tecnológicas, identificar oportunidades de inovação e preencher lacunas existentes nos componentes críticos da turbina. O trabalho ainda demonstra como a integração de diferentes formas de conhecimento e fontes de informação pode estruturar o planejamento tecnológico com foco em produtos físicos dentro do contexto da Indústria 4.0.

Palavras-chave: *Technology Roadmap*; Gestão da inovação; Planejamento de produtos; Turbinas hidrocinéticas

Abstract

This work proposes the development of a technology roadmap for tangible products, based on the analysis of scientific literature, patent data, and a case study of the hydrokinetic turbine project at the University of Brasília (UnB). Using the Design Science Research (DSR) methodological framework, nine structured steps were defined to build the roadmap, including project scoping, competency analysis, bibliographic and intellectual property data collection, expert interviews, thematic swimlane organization, and strategic synthesis of technological trends. The analysis applied the Consolidated Meta-Analytic Approach Theory (TEMAC) technique to ensure the relevance of selected references, alongside clustering of patents and timeline positioning based on Technology Readiness Levels (TRL). The results show that the roadmap can assist the project team in making informed technological decisions, identifying innovation opportunities, and addressing gaps in key turbine components. Furthermore, the study demonstrates how the integration of various forms of knowledge and data sources can support structured technology planning for physical products in the context of Industry 4.0.

Keywords: Technology Roadmap; Innovation Management; Product Planning; Hydrokinetic Turbines

Lista de ilustrações

Figura 1 - Modelo TEMAC……..……...……..……...….12
Figura 2 - TEMAC: apresentação e interrelação dos dados……...……..……...…..13
Figura 3 - TEMAC: detalhamento, modelo integrador e validação por evidências…….……..14
Figura 4 - Escopo do *TRM*……..……...……...……..…..19
Figura 5 - Tipos de *TRM*……..……...……...……...….20
Figura 6 - Mapeamento de tecnologias baseado em tópicos…….……...…….……....….24
Figura 7 - Tipologias de turbinas hidrocinéticas…..……...……...……...…27
Figura 8 - Modelo de processo da metodologia de *Design Science Research*…..……....….30
Figura 9 - Adaptação do *Design Science Research* aplicado para o projeto…..……....…....32
Figura 10 - Blocos de atividades para elaboração do *TRM*…….……..……..……....….33
Figura 11 - Turbinas projetadas pela UnB…..……...……..……....….40
Figura 12 - *TRL* das turbinas desenvolvidas pela equipe do projeto……..……..……....…42
Figura 13 - Linha do tempo do projeto de turbina hidrocinética da UnB baseada em marcos do projeto……..……...……...……..43
Figura 14 - Linha do tempo do projeto de turbina hidrocinética da UnB ajustado após entrevista....50
Figura 15 - Posicionamento das informações no *TRM*……..……..……..……..53
Figura 16 - Legenda do *TRM*……..……..……..……...…..54
Figura 17 - *Technology Roadmap* para turbinas hidrocinéticas……..……..……..57

Lista de tabelas

Tabela 1 – Revisão dos *TRM's* na literatura……...……..……..15
Tabela 2 - Características iniciais do projeto de turbina hidrocinética da UnB……..……..……..38
Tabela 3 - Artigos científicos a serem usados no *TRM*……...……..…..……..…..47
Tabela 4 - Patentes a serem usadas no *TRM*……...……..……...…..47
Tabela 5 - Números de identificação e links das patentes e artigos científicos utilizados no TRM..57

Lista de abreviaturas e siglas

TRM	*Technology Roadmap*
TEMAC	Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado
P&D	Pesquisa & Desenvolvimento
DSR	*Design Science Research*
TRL	*Technology Readiness Level*
UnB	Universidade de Brasília
LCOE	Custo Nivelado de Energia
DAWT	*Diffuser Augmented Wind Turbine*

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....10
1.1 Objetivo geral.....11
1.2 Objetivos específicos.....11

2 REFERENCIAL TEÓRICO.....12
2.1 Revisão bibliográfica.....12
2.2 Evolução dos *TRM's* na literatura.....18
2.3 Abordagens para a elaboração do *TRM*.....22
2.4 Contextualização do projeto de turbinas hidrocinéticas fluviais no Brasil.....26

3 METODOLOGIA.....29
3.1 *Design Science Research*.....29
3.2 *Design* e desenvolvimento.....33

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....37
4.1 Alinhamento estratégico da equipe de projeto.....37
4.2 Levantamento e tratamento de dados.....43
4.3 Montagem do mapa tecnológico.....51

5 CONCLUSÃO.....59

6 BIBLIOGRAFIA.....61

7 ANEXO.....66

ANEXO I - Análise de patentes e artigos científicos.....66
ANEXO II - Entrevista com representante do projeto de turbina hidrocinética da UnB.....71

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções sustentáveis e descentralizadas para a geração de energia impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias adaptadas a contextos específicos, como o das comunidades ribeirinhas brasileiras. Nessas regiões, a geração convencional por redes centralizadas mostra-se ineficiente ou inviável, o que exige alternativas de baixo custo, fácil manutenção e impacto ambiental reduzido. As turbinas hidrocinéticas fluviais, por utilizarem o fluxo natural dos rios sem barragens ou grandes intervenções, têm se destacado como tecnologias promissoras para esse cenário (Pizza et al., 2023).

O avanço das tecnologias aplicadas à geração distribuída de energia tem impulsionado soluções inovadoras para atender regiões isoladas e carentes de infraestrutura elétrica. Dentre essas tecnologias, destacam-se as turbinas hidrocinéticas, que permitem o aproveitamento da energia cinética de rios sem a necessidade de barragens ou grandes intervenções ambientais. No contexto da Indústria 4.0, esse tipo de solução se beneficia de ferramentas de modelagem, simulação e integração de dados que permitem acelerar o desenvolvimento de produtos físicos com alto impacto social e ambiental positivo (Santos et al., 2023).

Os princípios da Indústria 4.0 relacionados à integração digital, customização orientada a dados e foco em eficiência reforçam a importância de mapear e planejar o desenvolvimento tecnológico de forma estratégica e estruturada (Santos et al., 2021; Hofer et al., 2019). Nesse contexto, a aplicação da metodologia de *Technology Roadmapping (TRM)* se mostra especialmente relevante para produtos tangíveis como as turbinas hidrocinéticas, pois permite visualizar a evolução técnica, alinhar competências e identificar oportunidades de inovação ao longo do tempo (Phaal et al., 2001).

O problema central abordado neste trabalho reside na ausência de uma metodologia sistematizada para organizar, planejar e integrar os avanços técnicos, estratégicos e de mercado na evolução das turbinas hidrocinéticas fluviais. Apesar da eficácia que os *Technology Roadmaps (TRM)* têm para fins de alinhar a inovação tecnológica com a maturidade de produto e as competências organizacionais (Hofer et al., 2019), a aplicação do *TRM* a produtos tangíveis, especialmente em fases iniciais de projeto, requer adaptações específicas e base sólida em dados técnicos, normativos e mercadológicos.

Este trabalho propõe a seleção, adaptação e aplicação de uma metodologia de *TRM* voltada para produtos físicos, tendo como caso de aplicação prática o desenvolvimento das turbinas hidrocinéticas

da Universidade de Brasília (UnB). A partir de revisão bibliográfica, análise de artigos e patentes, entrevistas com especialistas e avaliação de projetos anteriores da UnB nesse mesmo escopo, pretende-se consolidar um modelo visual e prático que oriente o desenvolvimento tecnológico de turbinas fluviais. A utilização do *TRM* neste contexto se justifica não apenas pela complexidade técnica das tecnologias, mas pela necessidade de integração entre inovação, mercado e impacto social.

1.1 Objetivo geral

Visto o cenário descrito, o objetivo geral deste projeto é selecionar e aplicar uma metodologia de *TRM* para um projeto de turbinas hidrocinéticas.

1.2 Objetivos específicos

O objetivo geral mencionado acima será atingido por meio dos seguintes objetivos específicos:

a) Analisar em que pontos os *TRM* já existentes se convergem ou divergem;
b) Avaliar os principais métodos, técnicas e ferramentas apoiam a execução das atividades
c) Compilar as melhores formas de elaboração de *TRM's* já existentes gerando um modelo para ser usado no projeto de turbinas hidrocinéticas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção será dividida em quatro subseções. Após a primeira, que levanta os principais artigos científicos a serem levados em consideração através da Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC), a segunda apresenta o conceito de *TRM*, com foco nas suas definições fundamentais, aplicações gerais ao longo do tempo e classificações baseadas em sua finalidade. A terceira se dedica à escolha das abordagens possíveis e de como realizar o levantamento de informações, em um cenário de *big data,* para a construção do *TRM*. Por fim, a quarta subseção trata do histórico, situação atual e perspectivas do projeto de turbina hidrocinética da Universidade de Brasília.

2.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica foi elaborada a partir da Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC), de Mariano e Rocha (2017), que auxilia a ampliar as possibilidades de interrelações e inferências sobre o tema estudado. O TEMAC é apresentado em três etapas, conforme apresentado na Figura 1.

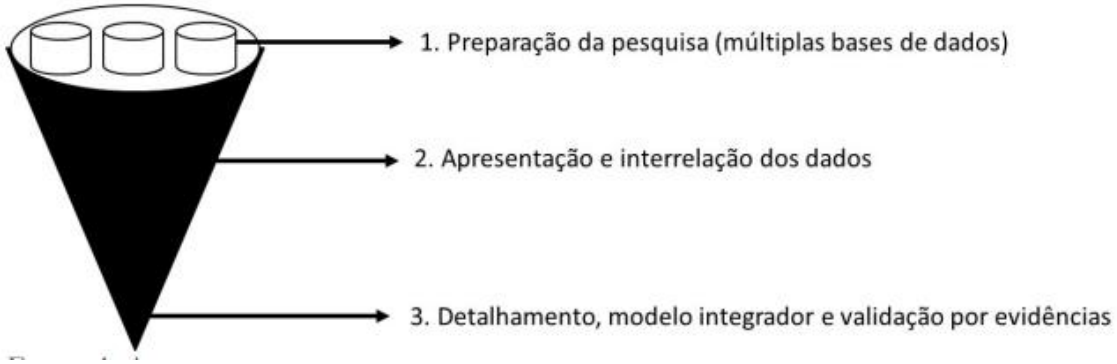


Figura 1 - Modelo TEMAC
Fonte: Mariano e Rocha (2017)

Para a etapa de preparação da pesquisa, optou-se por buscas nas bases de dados *Scopus* , uma vez que essa oferece ampla cobertura de literatura revisada por pares em diversas disciplinas com milhões de registros de periódicos, anais de conferências e livros (Elsivier, n.d.). Os argumentos utilizados para essa primeira etapa da pesquisa foram *"Roadmap Technology" OR "Technology Roadmap" OR "Technology Roadmaping" OR "Technology Mapping" AND "Technology Management"*. O primeiro grupo de palavras chave foi escolhido visando abranger diversas formas de se referir à mesma ferramenta que será trabalhada durante todo este projeto, enquanto o segundo grupo

busca restringir a pesquisa para trabalhos que abordam com mais profundidade e mais abrangência o desenvolvimento da ferramenta de *TRM*. Restringido a pesquisa apenas a trabalhos publicados entre os anos de 2014 a 2024, o resultado da busca a base *Scopus* retornou 34 publicações. Como o enfoque desta primeira etapa do projeto é mais voltado para a metodologia da ferramenta em si, nenhuma categoria da *Scopus* foi excluída, uma vez que a ferramenta de *TRM* pode ser aplicado nos mais diversos contextos.

Na etapa de apresentação e interrelação dos dados, alguns dados quantitativos são levantados a fim de justificar a relevância desta revisão bibliográfica no contexto do projeto ao qual ela está inserida. Dentre os dados mais relevantes levantados, a Figura 2 destaca as principais áreas de conhecimento em que trabalhos sobre *TRM* foram gerados, os países que obtiveram maiores números de publicações e os autores mais relevantes nos últimos 10 anos para a pesquisa acerca da ferramenta do *TRM*.

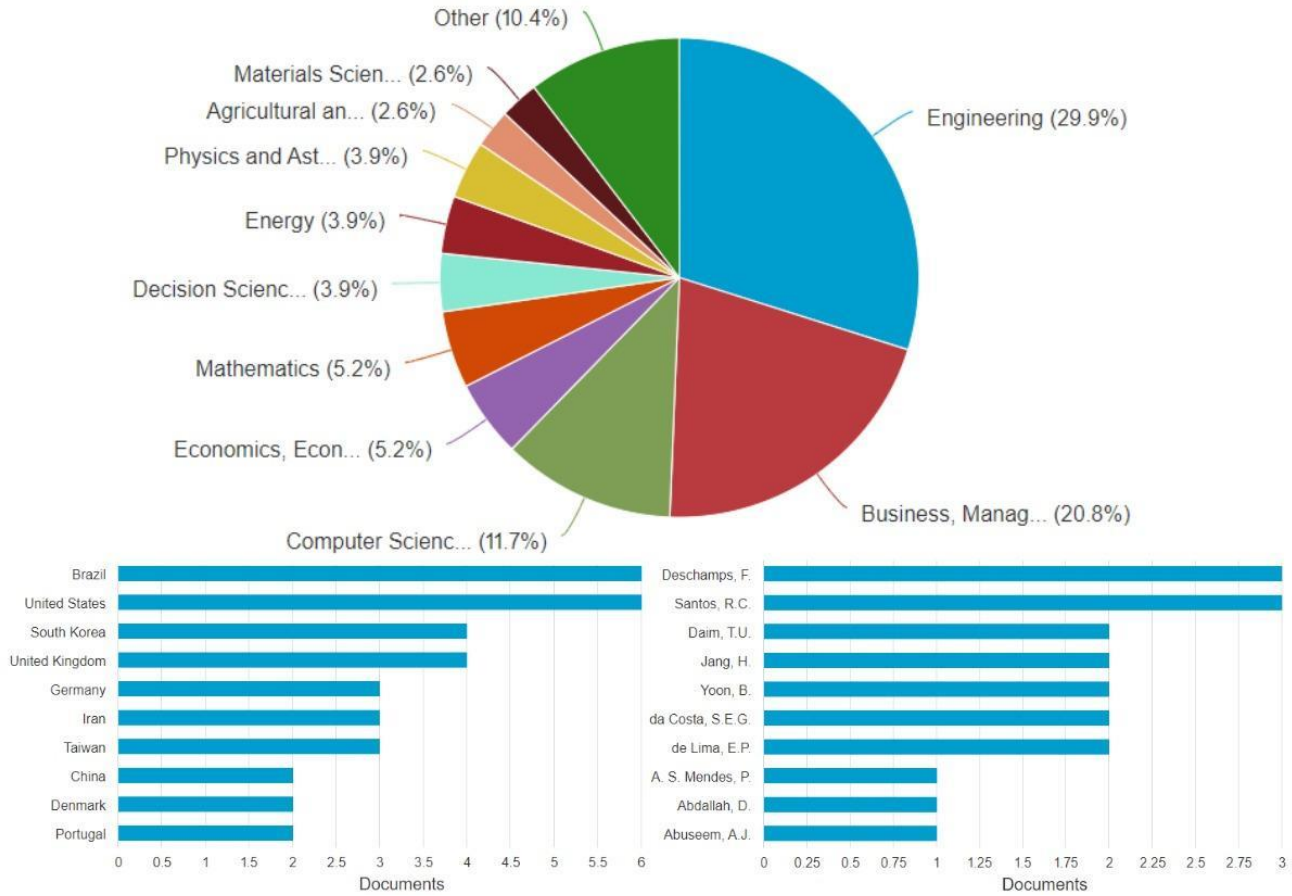


Figura 2 - TEMAC: apresentação e interrelação dos dados

Fonte: autoria própria (2025), com dados obtidos na base *Scopus*

Esses dados apontam a grande relevância do tema no contexto de engenharia, evidenciado na Figura 2, assim como a grande variedade e diversidade de categorias apresentada, o que evidencia que a ferramenta de *TRM* pode ser utilizada em diferentes contextos. Também é possível notar uma grande contribuição do Brasil para a pesquisa acerca do tema e, por fim, o destaque de dois principais autores

nos últimos 10 anos: Deschamps, F. e Santos, R.C.. Entender o desenvolvimento do *TRM* por meio desses autores potencialmente colaborará positivamente para o presente projeto.

Por fim, na etapa de detalhamento, modelo integrador e validação por evidências do modelo TEMAC, ilustra-se os *clusters* das regiões de maior citação, ocorrência e autoria, no intuito de validar os resultados dos trabalhos mais relevantes para se tomar como base para dar prosseguimento a este projeto. Com isso, a Figura 3 ilustra as relações de co-autoria que podem ajudar a identificar pesquisadores influentes, as relações de co-ocorrência, revelando com que frequência certos termos ou conceitos aparecem juntos nos mesmos documentos, e os *clusters* de citação a fim de se verificar a similaridade de trabalhos que se utilizam de mesmas citações.

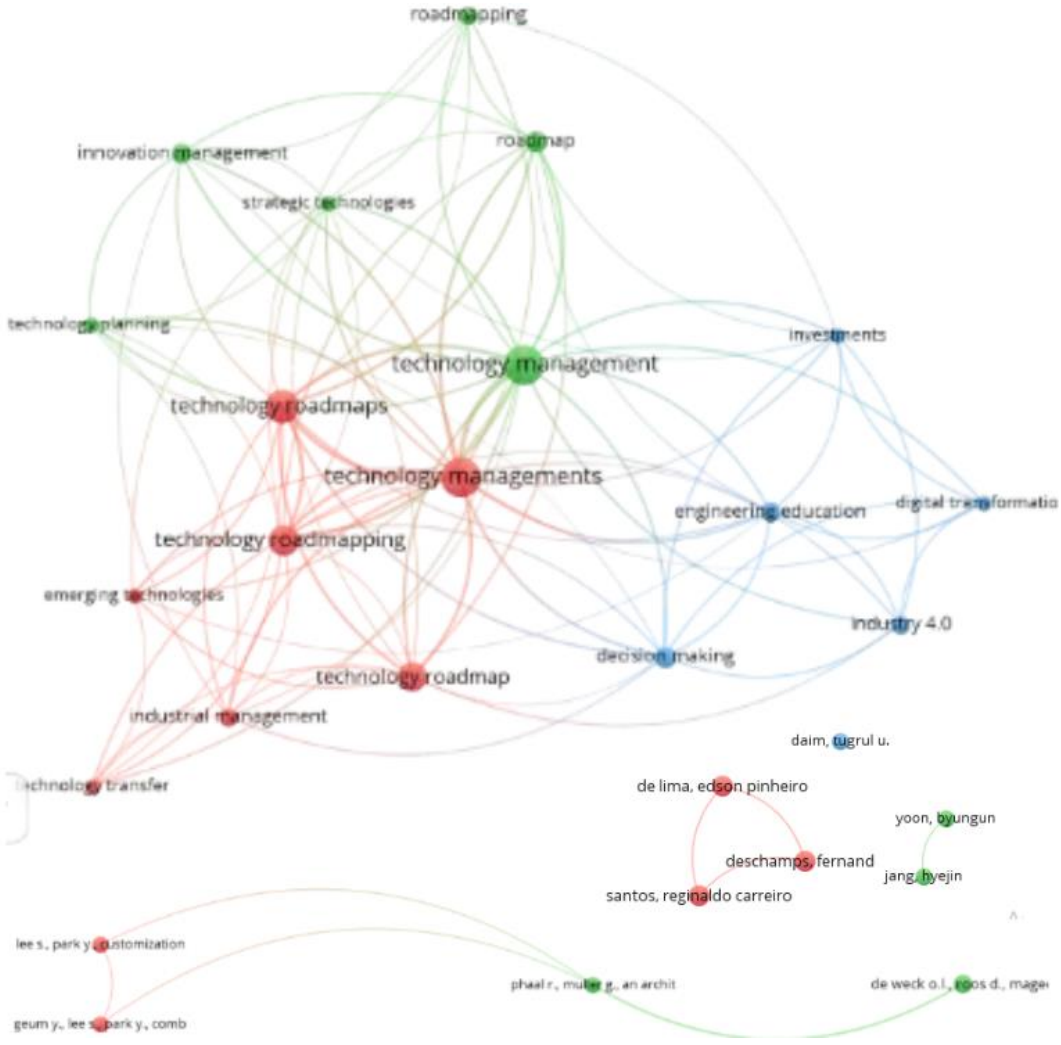


Figura 3 - TEMAC: detalhamento, modelo integrador e validação por evidências

Fonte: autoria própria (2025), com dados obtidos na base *Scopus* e gerado pelo *Vosviewer*.

A análise de co-autoria proporciona uma compreensão mais profunda das dinâmicas que impulsionam a inovação científica e a disseminação do conhecimento sobre *TRM* trazendo o autor Daim

T.U. interligado a dois principais *clusters* de co-autoria. O mapa da co-ocorrência esclarece que os temas emergentes e as tendências de estruturas do conhecimento dentro da temática pesquisada se classificam em 3 principais *clusters*: o de mapeamento de tecnologias em si (representado na cor vermelha), o de pesquisa e desenvolvimento (representado na cor azul) e o de gestão estratégica (representado na cor verde). Por fim, analisa-se as co-citações para identificar pesquisas relacionadas, mostrando que ideias e conceitos de Phaal R. (2001) estão interconectados em demais trabalhos.

Em suma, a Tabela 1 compila e classifica os trabalhos encontrados através da TEMAC demonstrando a vasta flexibilidade e aplicabilidade do *TRM* no contexto de Indústria 4.0. Os tipos e as abordagens, que serão detalhados com mais profundidade nas próximas subseções deste referencial teórico, vão desde técnicas qualitativas, como entrevistas e estudos de caso, até métodos quantitativos como *machine learning* e análise de redes. Embora na literatura as aplicações sejam diversas, a estrutura do *TRM* pode ser aplicada a qualquer tipo de produto tangível, e até mesmo intangível, tendo que ser adaptado o nível de complexidade técnica e o horizonte temporal de desenvolvimento. Uma análise desses casos é capaz de auxiliar com boas práticas e selecionar os elementos mais apropriados para a aplicação às turbinas hidrocinéticas.

Autor	**Ano**	**Tipo de *TRM***	**Aplicação**	**Abordagem**
Ghaffari et al.	2023	Produto	Pneus de veículos	Mapeamento de patentes por tópicos
Santos et al.	2021	Produto	Seleção de tecnologias da Indústria 4.0	Revisão sistemática
De Weck	2022	Produto	Gestão quantitativa de desenvolvimento tecnológico	Modelagem matemática
Ho & O'Sullivan	2020	Integração	*Roadmaps* multifuncionais	Estudo de casos + proposta integradora
Kim et al.	2023	Longo prazo / Programas	Geração automatizada de *TRM*	*Machine learning* (GAN)
Jeong et al.	2021	Estratégico	Gestão de risco sob incerteza	Redes Bayesianas + *topic modeling*

Autor	**Ano**	**Tipo de *TRM***	**Aplicação**	**Abordagem**
Shreejith	2021	Produto	Propulsão líquida espacial	Estrutura visual de *TRM*
Barip & Altun	2022	Integração	Aumento da flexibilidade de *TRM*	*Fuzzy logic* / Análise multicritério
Wang	2024	Produto	Biossensores vestíveis na saúde	Análise prospectiva com *TRM*
Zhu et al.	2023	Integração	Inovação em gerenciamento tecnológico	*TRM* combinado com *Wargame*
Huang & Lee	2024	Produto	*Roadmap* em rede	Métodos de rede complexa
Santos et al.	2023	Produto	Tecnologias de manufatura	Revisão sistemática
Carreiro Santos et al.	2022	Produto	Seleção de tecnologias para manufatura	Procedimento de apoio à decisão
Malinga et al.	2022	Programas	Sistemas de defesa (comando e controle)	*TRM* voltado à defesa / 4ª Revolução Industrial
Hofer et al.	2019	Produto	Planejamento de tecnologias de produção	Análise de capacidade de inovação
Silvello et al.	2020	Diverso	*Startups AgTech*	Estudo de caso (indústria de cachaça)
Almeida	2016	Produto / Serviço	Pós-colheita (peras)	Estudo de aplicação
Vishnevskiy et al.	2015	Capital intelectual	Gestão da inovação russa	*Foresight* corporativo + *TRM*
Knoll et al.	2018	Integração	Sistemas espaciais	*Design* concorrente + model-based *TRM*

Autor	**Ano**	**Tipo de *TRM***	**Aplicação**	**Abordagem**
Abuseem et al.	2020	Geral	Classificação de mapeamento tecnológico	Tipologia + análise descritiva
Matani et al.	2019	Produto	Hidrogênio verde	Tomada de decisão multicritério (*fuzzy*)
Sareminia et al.	2019	Diverso	*Framework* de *TRM*	Meta-síntese qualitativa
Romanski & Daim	2019	Longo prazo	Veículos autônomos	Planejamento de espaço de mercado
Akoum et al.	2019	Estratégico	Sistema de gestão tecnológica (*TechRoad*)	Aplicação em empresa de tecnologia
Kompis & Malek	2016	Produto / Longo prazo	Pilhas a combustível	Avaliação estratégica de tecnologias
Kim & Choi	2018	Estratégico	Projetos interministeriais	*Roadmapping* cooperativo
Perez	2016	Programas	Astrofísica	Desafios tecnológicos e previsões
Valentim Rocha & Mello	2016	Serviço	Automação hospitalar	Estudo de caso em empresa
Assunção et al.	2021	Programas / Estratégico	Gás natural renovável	Roadmap temático de biogás
Gładysz et al.	2021	Longo prazo	RFID	Projeção tecnológica
Holmes & Ferrill	2008	Processos	Atualização de TRMs	Processo de revisão periódica
Phaal et al.	2001	Diverso	Metodologia genérica de TRM	*T-Plan* (guia de aplicação rápida)

Autor	Ano	Tipo de *TRM*	Aplicação	Abordagem
Petrick & Echols	2004	Produto	Sustentabilidade em NPD	Revisão crítica
Flatscher et al.	2014	Processos	Indústrias orientadas por inovação	Abordagem estruturada

Tabela 1 - Revisão dos *TRM's* na literatura

Fonte: autoria própria (2025), com dados obtidos na base *Scopus*

2.2 *Evolução dos TRM's na literatura*

> "*Technology roadmaps* (*TRM*) são ferramentas estratégicas que conectam objetivos de mercado e de negócios a planos de tecnologia, permitindo o alinhamento entre desenvolvimento tecnológico e as necessidades futuras da organização"
>
> (De Weck, O. L., 2022).

Esta ideia converge a principal definição de *TRM* que a grande maioria dos artigos listados pela TEMAC introduz. Desde a sua origem na indústria de semicondutores, em meados da década de 1970, o *TRM* passou por várias fases de evolução conceitual e prática, sendo que, inicialmente, o *TRM* tinha como única função alinhar esses desenvolvimentos tecnológicos com as estratégias do produto. No entanto, a necessidade por abordagens mais estruturadas levou à criação de modelos mais abrangentes para inovação em indústrias intensivas em tecnologia (Flatscher, Riel e Kösler, 2014). Uma das formas que os autores levantados nesta pesquisa evoluíram com a estruturação dessa metodologia foi personalizá-la para diferentes setores, como será exemplificado na 5ª subseção desta revisão da literatura.

Tendo como base a busca por artigos dos últimos 10 anos, é notável a preocupação dos autores em integrar métodos quantitativos e qualitativos ao planejamento de tecnologias. Vishnevskiy, Karasev e Meissner (2015) em seu estudo de casos, por exemplo, propuseram o uso de *corporate foresight (previsão corporativa)* associado a *roadmaps* para antecipar tendências de inovação servindo como exemplo de integração entre ferramentas de mapeamento quantitativo e previsão qualitativa para auxiliar na avaliação contínua de cenários futuros, fortalecendo a capacidade de adaptação estratégica das empresas. Ainda visando a integração quantitativa-qualitativa, Ho e O'Sullivan (2020) defendem a criação de *roadmaps* multifuncionais, que ultrapassam a área de P&D, incorporando perspectivas de

marketing, operações e estratégia organizacional. Segundo os autores, a evolução do *roadmap* se deu pela necessidade de lidar com a complexidade dos mercados modernos, exigindo abordagens colaborativas e alinhadas a múltiplas áreas internas.

Por fim, os trabalhos mais recentes introduzem a análise de dados de patentes como base para a construção de *roadmaps* orientados por tópicos. A mineração de dados e a categorização de tópicos tecnológicos emergentes podem estruturar *roadmaps* mais sólidos e fundamentados em evidências reais de inovação tecnológica (Ghaffari et al., 2023). A inserção do *machine learning* no processo de elaboração de *TRM's*, portanto, se apresenta como uma evolução na sua capacidade de antecipar tendências tecnológicas em ambientes de alta incerteza, o que é especialmente relevante no contexto da Indústria 4.0.

A Figura 4 ilustra um modelo conceitual de integração de múltiplos tipos de *roadmaps* dentro de uma estrutura única de inovação. Esta representação evidencia como o conceito de *Technology Roadmap* evoluiu de um simples planejamento de tecnologias para uma abordagem mais integrada e multidimensional que leva em consideração diferentes funções organizacionais - como marketing, operações e tecnologia -, e também reforça a narrativa de evolução da literatura.

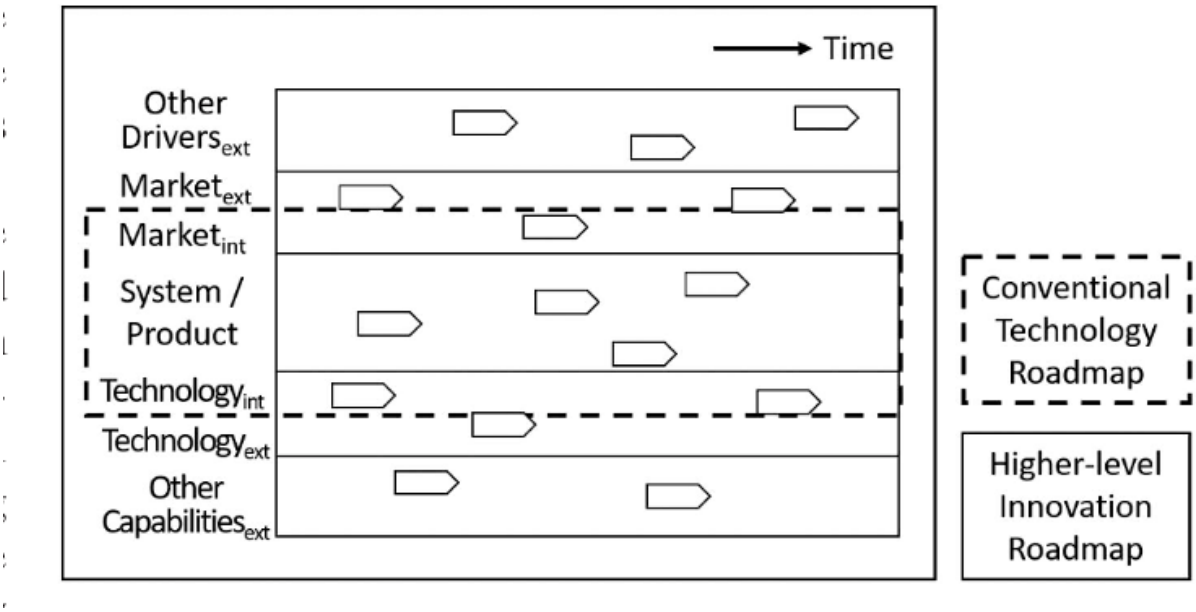


Figura 4 - Escopo do *TRM*

Fonte: Ho, J. Y., & O'Sullivan, E. (2020)

Quanto às formas de se elaborar um *TRM*, há uma similaridade entre as publicações encontradas na etapa de revisão bibliográfica que abordam os diferentes tipos e usos dos *TRM's*. Phaal R. (2001) -

artigo central do mapa de co-citação das publicações encontradas - classifica os *TRM's* quanto ao seu formato e seu propósito, como evidenciado na Figura 5.

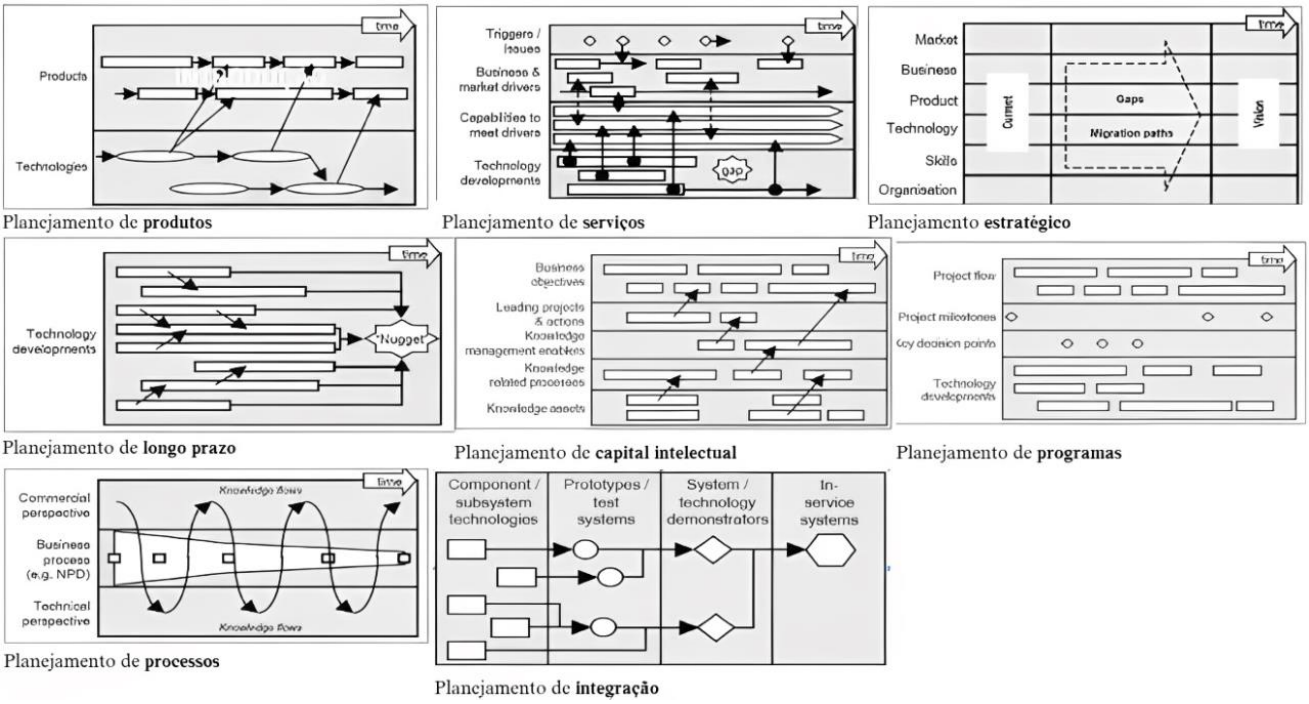


Figura 5 – Tipos de *TRM*

Fonte: adaptado de Phaal, R. (2001)

O *TRM* de planejamento de produto foca no desenvolvimento e evolução de um bem físico específico, estabelecendo um cronograma para as melhorias tecnológicas e inovações necessárias para atingir as metas de desempenho, custo e qualidade. Esse tipo de *roadmap* permite alinhar as áreas de engenharia, *marketing* e produção, garantindo que as atualizações de produto estejam sincronizadas com as demandas do mercado e com as capacidades tecnológicas disponíveis. Esse modelo é um dos mais difundidos na indústria manufatureira por sua capacidade de integrar requisitos técnicos e comerciais (Petrick & Echols, 2004), portanto, servirá como base para a gestão de tecnologias do projeto de turbinas hidrocinéticas. Sua principal vantagem é a clareza no direcionamento de etapas de desenvolvimento, mas um ponto de melhoria é a necessidade constante de atualização frente às rápidas mudanças de mercado.

Quando o *TRM* já é voltado para serviços, ele direciona o desenvolvimento de soluções intangíveis, como manutenção, suporte técnico ou serviços digitais, estabelecendo marcos de evolução e requisitos técnicos para entrega de valor ao cliente. Esse modelo considera a integração entre a experiência do usuário, infraestrutura de suporte e tecnologias que sustentam o serviço, assegurando que ele acompanhe as mudanças nas necessidades dos clientes e no ambiente competitivo. A utilidade

desse modelo se dá quando há grande dependência de tecnologia para prestação de serviços, exigindo alinhamento entre TI e gestão (Ho & O'Sullivan, 2020).

O *TRM* estratégico atua como ferramenta de alinhamento de alto nível, conectando objetivos organizacionais de longo prazo com tendências tecnológicas e oportunidades de mercado. Sua vantagem está no potencial de gerar uma visão unificada para toda a organização por fornecer uma visão macro da evolução do setor e da posição da organização, permitindo priorizar investimentos, parcerias e áreas de pesquisa críticas para a competitividade futura. Esse modelo é amplamente adotado por empresas que buscam consolidar liderança setorial, porém, pode se tornar genérico demais se não houver detalhamento técnico suficiente (De Weck, 2022).

Ao se tratar de projetos de longo prazo, o *TRM* pode projetar horizontes de desenvolvimento que podem ultrapassar décadas, apesar da dificuldade de prever mudanças disruptivas. Ele serve como guia para pesquisas exploratórias e investimentos graduais em tecnologias emergentes, garantindo que a organização esteja preparada para cenários futuros incertos e transformações estruturais no setor. Esse modelo é essencial para setores de infraestrutura e energia, onde a maturação tecnológica é lenta (Daim, Oliver e Phaal, 2018), sendo, também, um bom exemplo de *TRM* para ser aplicado ao projeto de turbinas hidrocinéticas.

O *TRM* voltado para capital intelectual organiza o desenvolvimento e a proteção do conhecimento, patentes, marcas e demais ativos intangíveis críticos para a vantagem competitiva protege o conhecimento gerado apesar da dependência de políticas consistentes de gestão de propriedade intelectual. Esse modelo mapeia lacunas de competências, identifica áreas para capacitação e define estratégias de gestão de propriedade intelectual, integrando a geração de conhecimento às metas de inovação, sendo fundamental em indústrias de alta intensidade tecnológica (Assunção et al., 2021).

Para programas, o *TRM* é capaz de orientar o gerenciamento de portfólios de projetos relacionados e de coordenar que recursos e prazos atinjam objetivos conjuntos. Ele estrutura como diferentes iniciativas, mesmo de natureza distinta, se complementam para entregar valor agregado e acelerar o desenvolvimento de soluções complexas (Kompis & Malek, 2016).

Já o modelo de *TRM* voltado para processos concentra-se na melhoria contínua e na inovação dos métodos de produção, montagem ou prestação de serviços. Ele identifica gargalos, oportunidades de automação, adoção de novas ferramentas e integração de práticas eficientes, visando maior produtividade, qualidade e sustentabilidade dos processos organizacionais. A vantagem desse tipo de *TRM* se encontra no foco direto na eficiência operacional, porém é necessário prestar atenção na capacidade de integrar novas tecnologias sem interromper a produção (Flatscher, Riel e Kösler, 2014).

Por fim, o *TRM* de integração busca coordenar o desenvolvimento simultâneo de diferentes sistemas, tecnologias e áreas organizacionais, fazendo com que componentes interdependentes funcionem de forma harmoniosa. Ele é particularmente útil em setores que exigem alta compatibilidade entre subsistemas e onde falhas de integração podem comprometer o desempenho global do produto ou serviço, sendo cada vez mais relevante diante do aumento da complexidade tecnológica (Lu & You, 2018).

De forma geral, entre todas as classificações detalhadas, a elaboração de um *TRM* é um processo estratégico que envolve a identificação de tecnologias emergentes, a análise de tendências e a definição de um plano de ação para implementar essas tecnologias ao longo do tempo. Phaal, R. (2001), que nortearam a diferenciação entre as formas de se construir o *TRM*, apresentam esse processo como uma abordagem visual e colaborativa que ajuda as organizações a alinhar suas metas tecnológicas com seus objetivos de negócios, promovendo inovação e competitividade no mercado. O *TRM* na visão dos autores oferece uma visão clara sobre as tecnologias que precisam ser desenvolvidas ou adquiridas para garantir que a organização esteja preparada para o futuro.

2.3 Abordagens para a elaboração do *TRM*

As metodologias para a criação de um *TRM* se dividem entre abordagens qualitativas, quantitativas ou mistas. Ghaffari et al. (2023) por exemplo, propõe o uso de dados de patentes e análise de tendências para identificar novas tecnologias aplicáveis ao desenvolvimento de produtos, destacando a importância de uma abordagem quantitativa baseada em dados para assegurar a precisão e relevância do *TRM*. Por outro lado, Santos et al. (2021) sugere a utilização de metodologias qualitativas, como a análise de experts e entrevistas, para selecionar as tecnologias mais adequadas ao contexto de transformação digital. Esse exemplo de contradição entre os teóricos demonstra que o processo de elaboração de um *TRM* pode ser ajustado para diferentes necessidades e finalidades e que esse equilíbrio permite que o *TRM* seja tanto um instrumento de planejamento estratégico quanto uma ferramenta operacional prática.

De forma geral, a estrutura visual do *TRM* pode ser adaptada para representar diferentes níveis de detalhamento, desde *roadmaps* mais amplos, cobrindo toda a empresa, até *roadmaps* específicos de projetos. Porém, garantir que os *TRM's* ilustrem as inter-relações entre tecnologias e os marcos principais que precisam ser alcançados para garantir o sucesso na implementação das inovações é o mais importante. Delimitar o escopo do *roadmap* determina se ele será voltado para uma linha de produtos, um processo específico, ou toda a cadeia de produção. Essa delimitação orienta toda a construção do *roadmap* e é uma etapa que deve considerar os objetivos estratégicos da empresa, os

recursos disponíveis e o tempo de implementação, sendo recomendável incluir os gestores desde o início deste processo (Ho e O'Sullivan, 2020)

Na prática, a elaboração de um *roadmap* unificado envolve a colaboração entre diferentes departamentos e a coleta de informações de diversas fontes. A abordagem proposta por Santos et al. (2021) utiliza entrevistas e discussões com especialistas em diferentes áreas da empresa, demonstrando, assim, a importância de envolver todas as partes interessadas no processo de planejamento. De forma similar, Ghaffari et al. (2023) também destaca a importância de integrar dados quantitativos, como as análises de patentes, para assegurar que o *roadmap* seja baseado em informações concretas sobre as tendências tecnológicas e as inovações emergentes.

Quanto à definição dos marcos e metas, uma das etapas mais críticas no processo de elaboração de um *roadmap*. É fundamental que os marcos tecnológicos sejam definidos de forma clara, com prazos realistas e metas mensuráveis, para que o *TRM* funcione como uma ferramenta efetiva de gestão (Assunção et al., 2021). Já para a análise de longo prazo integrar outras características de outros tipos de *TRM* permite que as empresas estejam preparadas para adotar inovações à medida que se tornem viáveis (Romanski e Daim, 2019). A integração de diferentes abordagens metodológicas no processo de elaboração de um *TRM* pode aumentar sua precisão e utilidade.

A Figura 6 exemplifica, principalmente para produtos tangíveis como o caso das turbinas hidrocinéticas, como essas abordagens podem ser aplicadas. É possível notar que o papel dos *TRMs* na seleção de tecnologias da Indústria 4.0 para a manufatura é principalmente identificar quais tecnologias são mais adequadas para serem incorporadas em produtos tangíveis, promovendo sua modernização e alinhamento com as tendências do mercado.

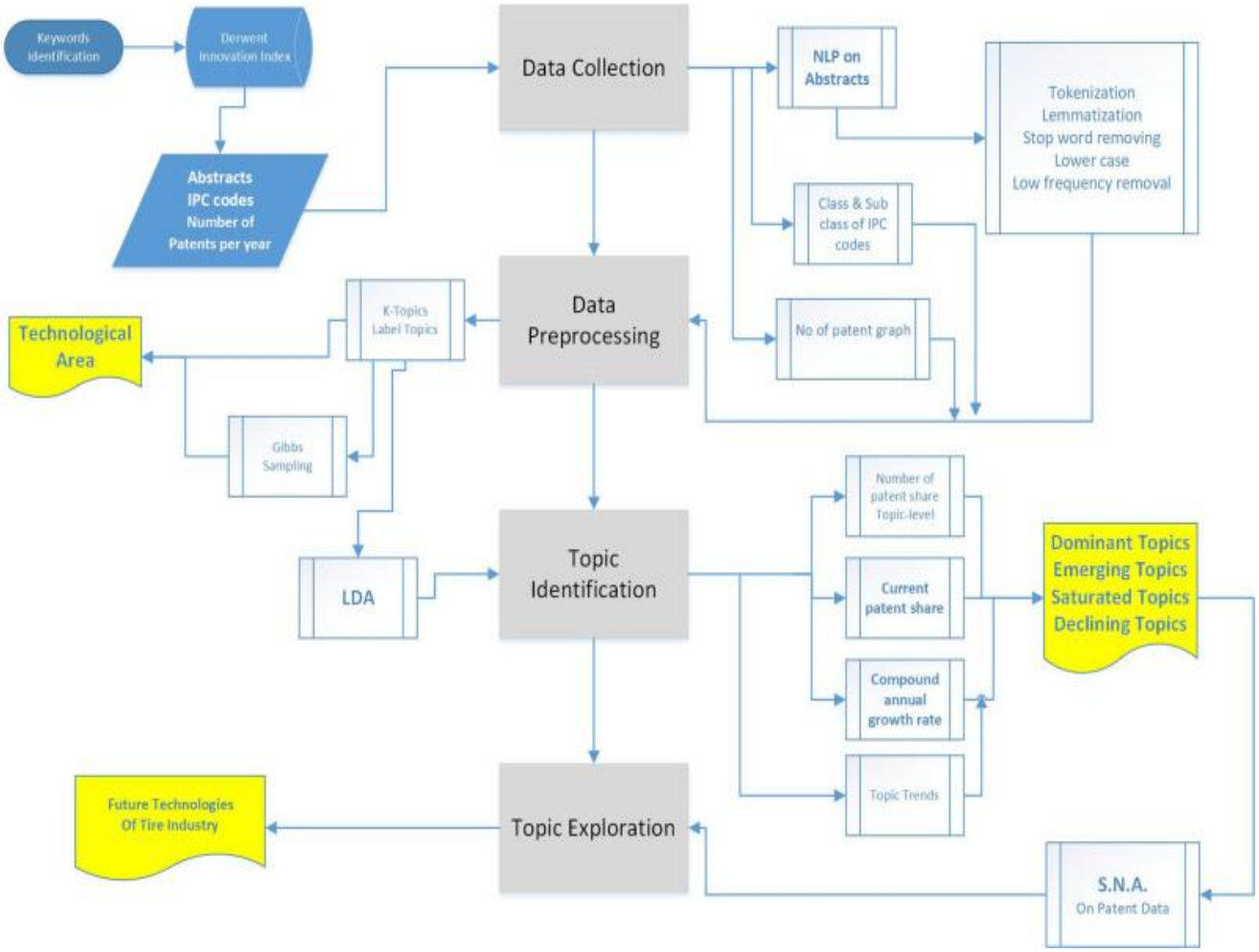


Figura 6 - Mapeamento de tecnologia baseado em tópicos

Fonte: Ghaffari, M., Aliahmadi, A., Khalkhali, A., Zakery, A., Daim, T. U., & Yalcin, H. (2023)

Visto que a indústria 4.0 conta com um alto grau de conectividade e digitalização, uma das principais dificuldades em se elaborar uma metodologia na área de gestão da inovação é a geração contínua de grandes volumes de dados, denominada *big data*. Para ajudar a lidar, de forma objetiva, com o excesso de informação, a análise de dados de patentes, assim como uma revisão da bibliografia, pode servir como uma fonte estruturada de dados tecnológicos, que possibilite a identificação de tendências por meio de tópicos tecnológicos recorrentes (Ghaffari et al., 2023). A escolha das fontes de informação depende do tipo de produto e do nível de maturidade da tecnologia (*TRL*). É de extrema relevância para o sucesso do *TRM* saber como extrair informações estratégicas do que a empresa sabe fazer (*know-how*), do tempo ideal de adoção tecnológica (*know-when*) e de quem deve liderar ou executar a adoção (*know-who*), além de tratar informações sensíveis e sigilosas.

A pesquisa em artigos científicos é uma das fontes primárias mais utilizadas para levantamento de tendências tecnológicas em estágio inicial. A integração de estudos científicos com simulações estratégicas é uma forma eficaz de explorar possíveis direções tecnológicas futuras antes mesmo de sua

consolidação no mercado (Zhu, Sun e Zhou, 2023). Dessa forma, os artigos científicos inspiram a construção de cenários tecnológicos plausíveis no *TRM*.

A aplicação prática ou não destes artigos científicos também é uma análise relevante, sobretudo para o *know-when*. Salvo algumas exceções, artigos científicos que já foram aplicados e que apresentem experimentos, estudos de caso e validações técnicas geralmente, nos exemplos da literatura onde essa análise é feita, são usados para compreender o estado atual da tecnologia. Já os artigos que ainda não aplicados na prática, de natureza teórica ou exploratória, tendem a antecipar tendências futuras e avaliar a viabilidade de tecnologias emergentes ainda em fase conceitual para um futuro mais distante.

Por outro lado, ao se analisar as patentes, ou seja, uma base sólida de informações tecnológicas protegidas legalmente, do produto que se está mapeando, é possível alimentar o *TRM* com o que já está sendo desenvolvido por empresas e centros de pesquisa em diferentes lugares do mundo (Jeong, Jang e Yoon, 2021). A filtragem por área de aplicação, país e tendência de crescimento em bases de patentes pode revelar caminhos promissores e lacunas de mercado ainda não exploradas (Santos et al., 2023).

As patentes podem ser concedidas quando uma inovação já é reconhecida e juridicamente estabelecida, o que significa que em um futuro próximo esse novo recurso irá ocupar o mercado.Já as patentes ainda em processo de solicitação, que, são indicadores de tendências tecnológicas que devem impactar o mercado no médio prazo, visto que ainda estão em análise e vão demorar um tempo um pouco maior para ocupar o mercado do produto a ser mapeado. Identificar o status atual da patente permite que os *TRMs* tenham uma linha do tempo tecnológica mais precisa, com base no ritmo de inovação registrado em bancos de dados como o Espacenet ou o USPTO.

Por fim, como técnica complementar de validação e contextualização das informações coletadas por meios bibliográficos e documentais, as entrevista com especialistas trazem percepções sobre viabilidade, riscos, oportunidades e barreiras de implementação das tecnologias levantadas nessa coleta inicial. A integração de métodos formais com conhecimento tácito dos especialistas, aumenta a robustez do *roadmap*, especialmente em ambientes de alta incerteza, como o da indústria 4.0 (Barip e Altun, 2022). Validando também o escopo do *TRM*, delimitado no início da metodologia, as entrevistas também ajudam a compreender aspectos internos da organização, como prioridades estratégicas, restrições operacionais e experiências anteriores com adoção tecnológica, trazendo realismo e alinhamento com a cultura e objetivos da empresa.

2.4 Contextualização do projeto de turbinas hidrocinéticas

fluviais no Brasil

A geração de energia elétrica em comunidades isoladas da região amazônica ainda enfrenta desafios logísticos, ambientais e socioeconômicos. Diversos povoados ribeirinhos, especialmente na região Norte, não são atendidos por redes convencionais de distribuição, o que os torna dependentes de soluções locais, muitas vezes baseadas em geradores a diesel. (VAZ et al., 2023). Com isso, a aplicação de turbinas hidrocinéticas em ambientes fluviais surge como resposta a um problema recorrente em países de grande extensão territorial e diversidade hídrica, como o Brasil: o acesso desigual à energia elétrica.

As turbinas hidrocinéticas oferecem uma alternativa limpa, descentralizada e de baixo impacto ambiental, uma vez que operam pela conversão direta da energia cinética dos rios, sem a necessidade de barramentos ou alterações significativas no leito fluvial. Essas soluções, ao não exigirem alterações significativas no curso dos rios, se alinham à crescente demanda por tecnologias sustentáveis que respeitem o meio ambiente e atendam às necessidades energéticas locais com eficiência e autonomia. A viabilidade técnica deve ser acompanhada da viabilidade social, sendo essencial o envolvimento das comunidades usuárias e a simplicidade na operação e manutenção dos sistemas (Teixeira, 2014).

A integração dessas soluções com políticas públicas de transição energética e desenvolvimento sustentável reforça sua aplicabilidade em contextos de inclusão energética. O avanço da Indústria 4.0 e a digitalização de processos de projeto, simulação e prototipagem têm acelerado o desenvolvimento de turbinas cada vez mais eficientes, a partir de análises hidrodinâmicas, modelagens matemáticas e validações computacionais (Fregonese, 2018).

A maturidade das tecnologias de conversão hidrocinética é influenciada tanto pelo avanço dos materiais e métodos construtivos quanto pelo acúmulo de conhecimento hidrodinâmico nas últimas décadas. A evolução deste setor acompanha um movimento de especialização das turbinas para diferentes contextos de instalação, o que inclui desde aplicações em rios de baixa profundidade até aproveitamentos com estruturas de difusores para amplificação do fluxo (Vaz, 2019).

A avaliação do Custo Nivelado de Energia (LCOE) para turbinas hidrocinéticas envolve múltiplos fatores, incluindo custo de capital, operação e manutenção, vida útil e fator de capacidade. Projetos de energia hidrocinética apresentam custos iniciais elevados devido à customização e à baixa escala de produção, mas oferecem despesas operacionais reduzidas em comparação com sistemas movidos a combustíveis fósseis (Khan et al., 2009). A proximidade do ponto de consumo e a ausência de grandes obras civis compensam parcialmente o investimento inicial (BRASIL, 2022).

Na perspectiva de longo prazo, a redução do LCOE depende fortemente da padronização de

componentes e da ampliação da escala de fabricação. O aumento da vida útil dos componentes críticos, como o rotor e o gerador, é decisivo para diminuir o custo final da energia. Assim, investimentos em durabilidade e confiabilidade são tão relevantes quanto melhorias na eficiência hidrodinâmica (Barbarelli et al., 2017).

A Figura 7 sintetiza as tipologias mais relevantes, evidenciando que não existe um modelo único capaz de atender a todos os cenários, mas sim uma diversidade de configurações que permitem equilibrar eficiência, custo e facilidade de instalação. Afinal, o sucesso das turbinas hidrocinéticas depende diretamente da adequação da topologia ao regime de corrente local (Gorlov, 1998).

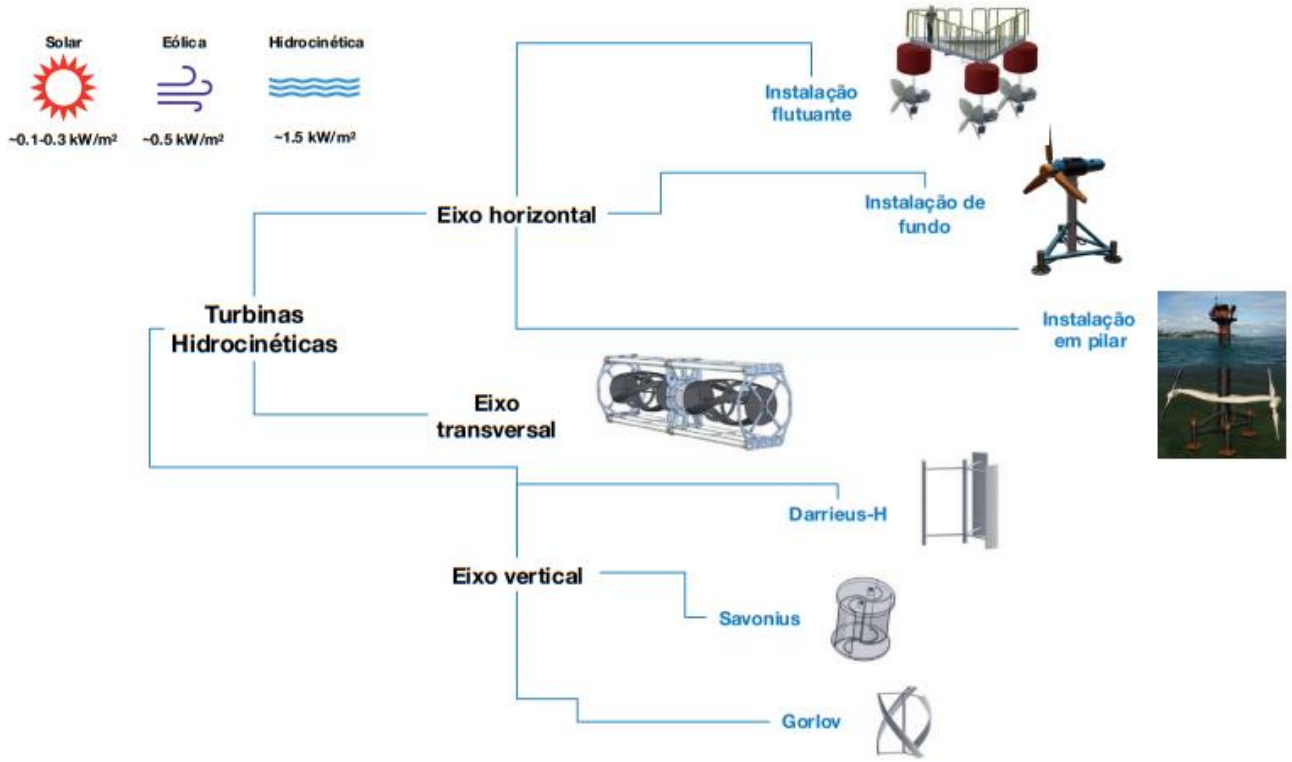


Figura 7 - Tipologias de turbinas hidrocinéticas
Fonte: BRASIL (2022), adaptado de Khan et al. (2009)

Quanto à classificação das turbinas hidrocinéticas em função da orientação de seu eixo principal, as de eixo horizontal, semelhantes às turbinas eólicas convencionais, apresentam maior rendimento em condições de fluxo unidirecional e são mais comuns em projetos fluviais de média e grande escala (Vaz et al., 2011). Já as de eixo vertical oferecem vantagens em ambientes com fluxo bidirecional ou turbulento, pela capacidade de operar independentemente da direção do escoamento (Khan et al., 2009). Embora as turbinas de eixo horizontal dominem as aplicações comerciais, o desenvolvimento de geometrias otimizadas para eixo vertical ainda é um campo promissor, especialmente para contextos de baixa profundidade e restrições de instalação (BRASIL, 2022).

Já classificando pelo tipo de instalação, as instalações fixas ao leito do rio proporcionam estabilidade e eficiência em locais de correnteza constante, mas exigem obras civis e logística mais complexas (Teixeira, 2014). Sistemas flutuantes, por sua vez, oferecem mobilidade, facilitam a manutenção e permitem reposicionamento conforme variações sazonais do nível d'água (Bahaj et al., 2006). Por fim, a integração a estruturas já existentes, como pontes ou barragens, reduz custos e aproveita infraestruturas consolidadas, embora imponha restrições de projeto para compatibilidade estrutural. Essa escolha do tipo de instalação deve considerar simultaneamente fatores hidrodinâmicos, econômicos e de operação (BRASIL, 2022).

O projeto de desenvolvimento de turbinas hidrocinéticas coordenado pela Universidade de Brasília (UnB), neste contexto, representa uma trajetória de inovação orientada à solução dos problemas energéticos descritos. O histórico do projeto remonta à série de estudos e protótipos realizados com as turbinas em 3 gerações iniciais - G1, G2 e G3 - construídos com foco didático, experimental e com validações realizadas em ambientes controlados e semi-controlados. Essas turbinas serviram como ponto de partida para o desenvolvimento das competências técnicas da equipe, especialmente em hidrodinâmica, prototipagem e montagem de equipamentos em campo.

No presente, o projeto evoluiu para turbinas de maior porte e com foco em aplicação real, como a HTUC-01 e a HK-10, que representam transições importantes do laboratório para o campo. A quinta geração da turbina - G5 - está atualmente em desenvolvimento e consolida os aprendizados e técnicas acumulados, incorporando requisitos como fácil transporte, maior robustez estrutural e foco na geração em comunidades com baixa infraestrutura. Diferentemente da HTUC-01 e da HK-10 que demonstram evoluções técnicas em aspectos como difusores, geradores e estruturas de suporte, a G5 busca incorporar o apoio de parcerias institucionais e capacitação técnica acumulada para avançar na construção de um modelo replicável para aplicação em diferentes contextos fluviais.

O futuro do projeto da UnB está diretamente relacionado à validação em campo, licenciamento regulatório e entrada em produção de pequenas séries para uso real. Essa fase exige maior integração entre disciplinas, maturação da gestão de inovação e uma visão de longo prazo. Logo, o *roadmap* tecnológico é fundamental para planejar essa transição e garantir que os objetivos sociais, técnicos e ambientais sejam atingidos de forma coordenada.

3 METODOLOGIA

Esta seção tem como objetivo apresentar a abordagem metodológica adotada para a condução deste trabalho. A pesquisa foi fundamentada no método *Design Science Research (DSR)*,, que propõe seis etapas fundamentais para a construção de artefatos voltados à solução de problemas práticos com base em rigor científico (Peffers et al., 2007). A seção será dividida em duas partes: a primeira descreve os fundamentos e a justificativa do uso do *DSR* como estrutura central do trabalho, conectando os conceitos teóricos com os objetivos práticos do projeto. A segunda parte apresenta os métodos, protocolos e ferramentas utilizadas para executar cada etapa da metodologia.

3.1 *Design Science Research*

Dado a problemática de consolidar e adaptar metodologias de *TRM* para produtos tangíveis que o atual projeto visa desenvolver, a abordagem de *Design Science Research (DSR)* servirá como base para construir e validar artefatos, de forma sistemática e científica, que atendam ao objetivo de propor um modelo de *TRM* replicável em diversos contextos da Indústria 4.0. A abordagem baseada em *DSR* foi escolhida visto que, segundo a literatura, é uma abordagem adequada para pesquisas aplicadas que visam desenvolver métodos, modelos ou sistemas com utilidade concreta (Hevner et al., 2004).

A Figura 8 modela a metodologia de *Design Science Research* em seis etapas principais representando as diretrizes que devem ser combinadas à revisão da bibliografia a fim de se elaborar o constructo a ser apresentado ao final deste projeto. O objetivo de seguir o passo a passo descrito por Peffers é de fortalecer o rigor metodológico do trabalho para criar um elo entre o referencial teórico e os resultados a partir de uma análise crítica das abordagens existentes e da síntese de melhores práticas.

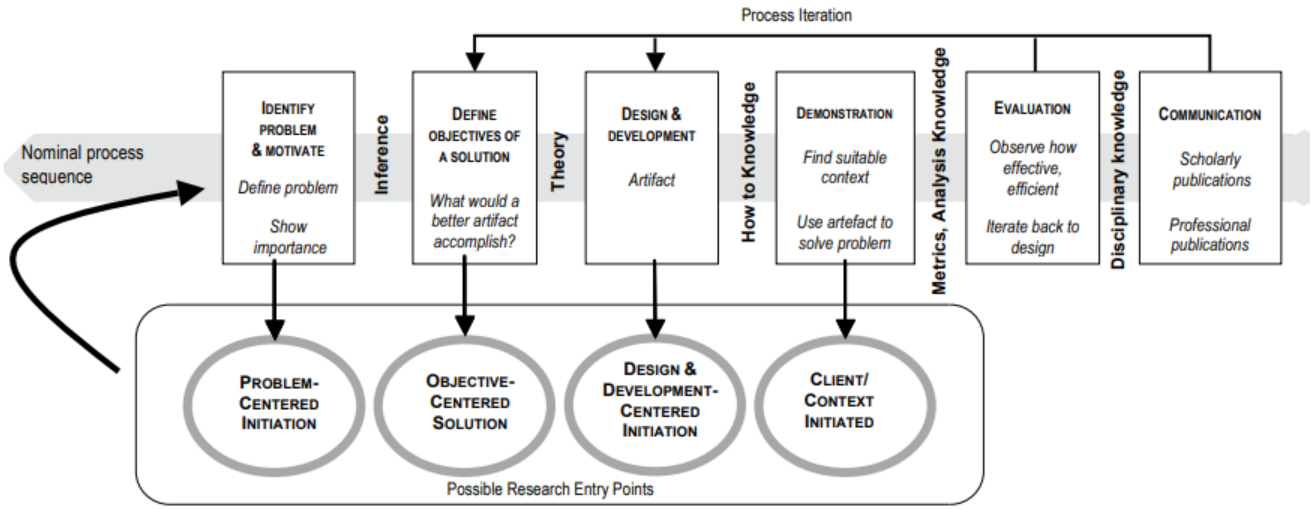


Figura 8 - Modelo de processo da metodologia de *Design Science Research*

Fonte: Peffers (2007)

O *DSR* inicia-se identificando o problema por meio de uma revisão da literatura, onde o pesquisador deve definir a lacuna existente entre a situação atual e o estado desejado. Para isso, é necessário uma análise detalhada da literatura científica e da prática profissional, a fim de justificar a relevância e a urgência do problema. A motivação para resolver o problema deve estar ligada a benefícios práticos ou teóricos que a solução poderá trazer, como melhorias em desempenho, inovação, automação ou eficiência.

Para o problema de consolidação e adaptação de metodologias de *TRM* para produtos físicos, este problema deve ser identificado através de uma revisão sistemática de literatura como o TEMAC para levantar informações acuradas sobre o tema a ser analisado. De forma complementar, analisar o estado da prática da gestão da inovação por meio de entrevistas exploratórias para compreender como as organizações atualmente lidam com o planejamento tecnológico e quais desafios elas enfrentam.

Já para a etapa de definição dos objetivos da solução, o pesquisador, a partir do problema bem estabelecido, deve definir quais características e funcionalidades o artefato precisa apresentar para que a solução seja bem-sucedida. É recomendável que esses objetivos sejam mensuráveis e verificáveis, para, posteriormente, avaliar se o artefato desenvolvido atendeu às necessidades identificadas.

Na seção de introdução, os objetivos gerais e específicos guiarão o desenvolvimento da estrutura metodológica do *TRM* e seus elementos-chave, como horizonte temporal, critérios de seleção tecnológica e níveis de maturidade tecnológica. Após o final do projeto, esses objetivos podem ser mensurados através da aplicação de técnicas como *Delphi,* que estima a probabilidade e o impacto de acontecimentos futuros e incertos (Veiga; Coutinho; Takayanagui, 2013).

Após o foco na resolução do problema, a terceira etapa do *DSR* é o *design* e desenvolvimento do artefato, que corresponde à criação da solução propriamente dita. Esta etapa envolve tanto a concepção conceitual quanto a implementação inicial do artefato, seja um modelo, método, ferramenta ou sistema. O *design* deve incorporar o conhecimento teórico existente e as práticas recomendadas da literatura, sendo documentado de forma que possa ser replicado ou adaptado por outros pesquisadores ou profissionais.

No contexto do *TRM*, essa etapa é a mais crítica pois corresponde à estruturação da metodologia em si e da determinação do protocolo de construção do *roadmap*. Com isso, elementos da literatura sobre TRM (Phaal et al., 2001) combinados com práticas modernas, como o uso de dados de patentes (Ghaffari et al., 2023), algoritmos de previsão (Kim et al., 2023) e validação com especialistas (Barip & Altun, 2022) devem ser utilizadas para se esboçar um fluxograma com etapas definidas, ferramentas recomendadas, fontes de dados sugeridas e critérios de avaliação tecnológica.

Com o artefato desenvolvido na etapa anterior, a etapa de demonstração aplica-o em um cenário real ou simulado para verificar sua funcionalidade e utilidade. Isso serve para mostrar que o artefato é capaz de resolver o problema identificado e cumprir os objetivos estabelecidos. Essa demonstração pode ocorrer por meio de estudos de caso, simulações, experimentos controlados, protótipos ou aplicações em ambientes reais de trabalho.

Neste projeto, a ferramenta de *TRM* a ser desenvolvida será demonstrada por meio da aplicação da metodologia no projeto de turbina hidrocinética da UnB descrito na última subseção do referencial teórico deste trabalho. Além de comprovar que a metodologia que compõe a ferramenta é útil para um projeto de tamanha complexidade técnica, os principais *insights* gerados a partir do mapeamento e organização das tecnologias inseridas nesse contexto serão listadas a fim de agregar valor ao projeto relacionado ao atual.

A quinta etapa da *DSR* é a avaliação do artefato verificando se ele atende aos objetivos da solução e resolve o problema proposto. A avaliação pode considerar critérios como funcionalidade, usabilidade, eficiência, aplicabilidade e confiabilidade. Os métodos de avaliação possíveis incluem entrevistas, questionários, análise comparativa, testes de desempenho, validação empírica ou análise qualitativa de resultados.

No caso da metodologia de *TRM* desenvolvida, essa avaliação pode envolver a validação por especialistas em inovação, engenharia de produto e gestão estratégica, revisando a ferramenta e o protocolo proposto com base em critérios como clareza, utilidade, flexibilidade e relevância estratégica. Também é possível comparar o modelo proposto com exemplos da literatura como os principais listados na Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado. Os *feedbacks* obtidos podem orientar futuros ajustes e reforçar sua validade científica e prática.

Por fim, como produto de todas as etapas anteriores, o *Design Science Research* se encerra na etapa de comunicação dos resultados da pesquisa em artigos acadêmicos, relatórios técnicos, apresentações em conferências ou em implementações práticas. Essa comunicação deve ser direcionada tanto para a comunidade científica quanto para o público-alvo do artefato. Por isso, o atual trabalho está sendo compilado em um artigo científico com a finalidade de marcar o término da graduação do autor.

Como adaptação do modelo de processo da metodologia de *Design Science Research* de Peffers (2007) para o projeto em questão, a Figura 9, de forma análoga divide o projeto em atividades sequenciais para a elaboração da ferramenta a ser consolidada. As interrelações propostas pelo autor entre as etapas se mantém.

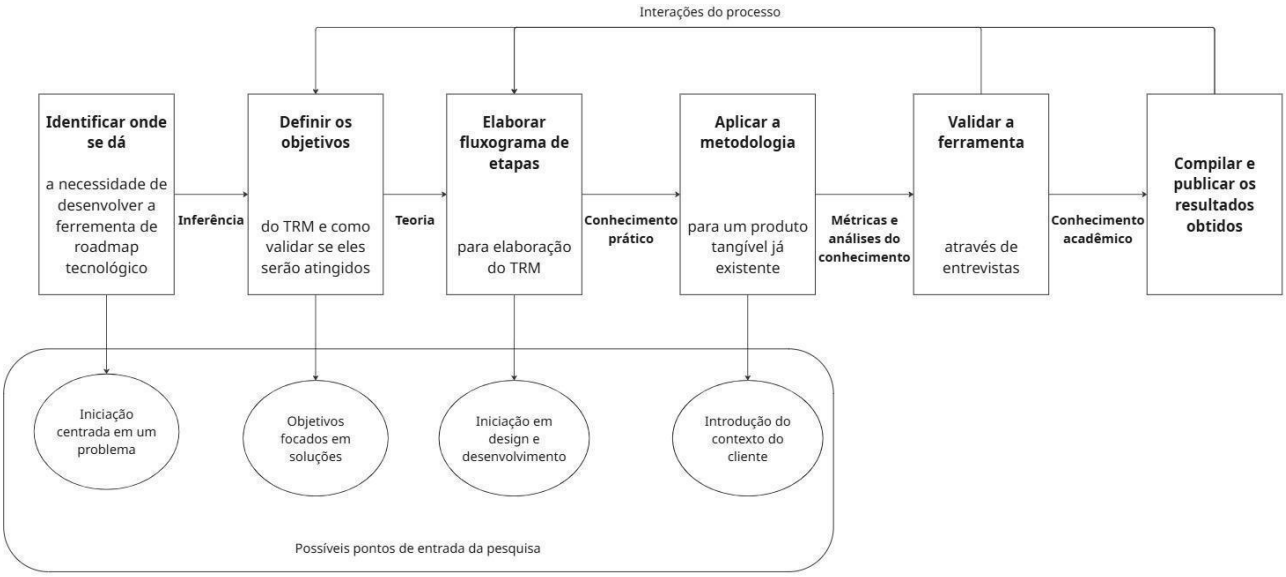


Figura 9 - Adaptação do *Design Science Research* aplicado para o projeto

Fonte: autoria própria (2025), adaptado de Peffers (2007)

Há de se esperar que a abordagem de DSR permita que o conhecimento produzido seja tanto descritivo quanto prescritivo, analisando como os *TRM's* têm sido aplicados ultimamente evoluindo para como eles devem ser planejados e executados. Isso gera uma contribuição científica e prática que pode ser usada tanto em ambientes industriais quanto acadêmicos.

3.2 *Design* e desenvolvimento

A fim de consolidar uma abordagem híbrida para *TRMs* aplicáveis a produtos tangíveis, unindo métodos qualitativos e quantitativos, a Figura 10 detalha de forma sequencial 9 etapas principais que o gestor de inovações do projeto do produto junto à equipe técnica e estratégica devem executar a fim de se elaborar qualquer *TRM* sem gargalos e de forma sistemática. Além de expressar as entradas e saídas

de cada atividade, a imagem segrega cada trio de etapas em blocos: primeiro um alinhamento estratégico da equipe do projeto, depois o levantamento e o tratamento dos dados que serão utilizados no *TRM*, e, por fim, a montagem do mapa tecnológico em si.

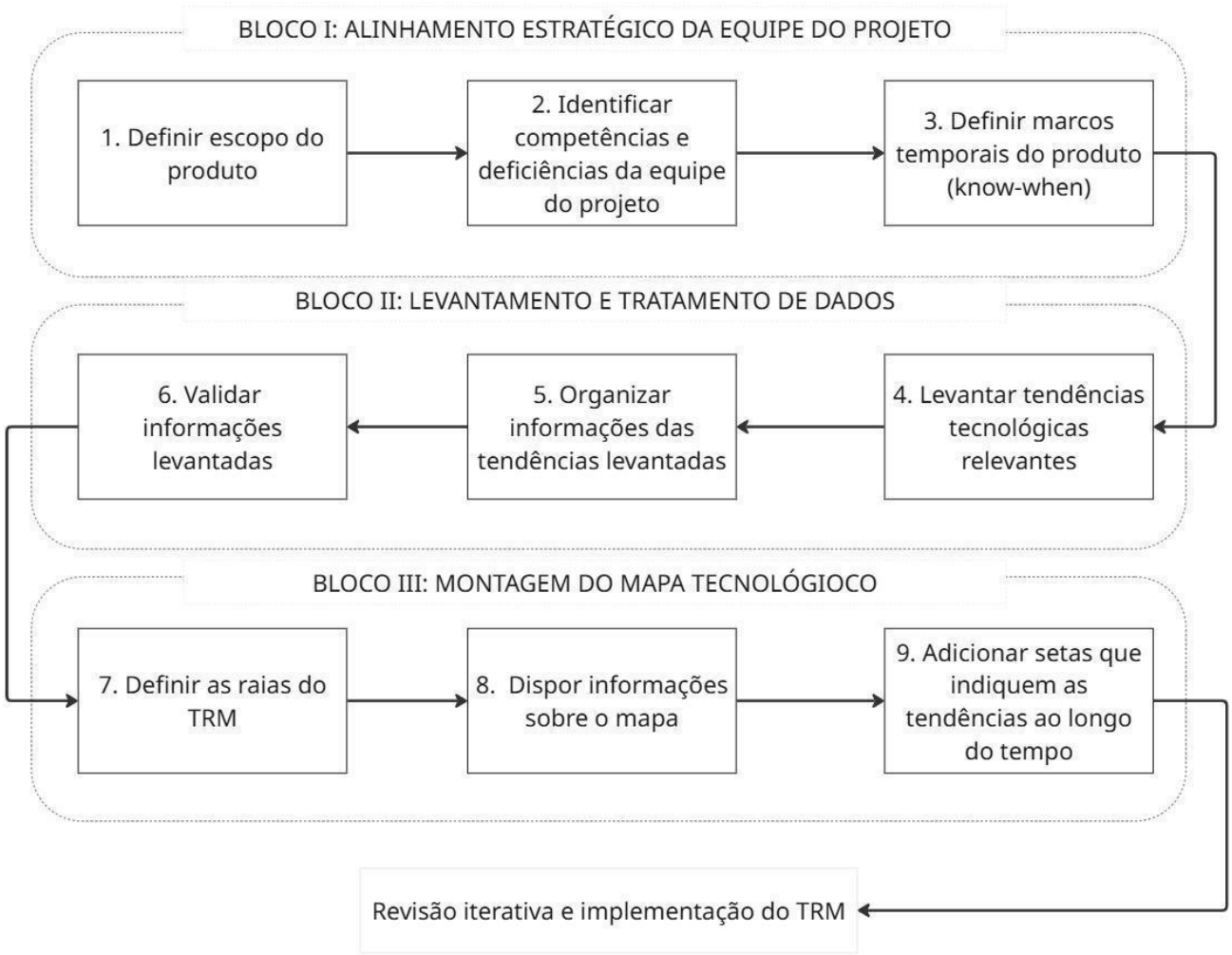


Figura 10 - Blocos de atividades para elaboração do *TRM*

Fonte: autoria própria (2025)

Alinhar a equipe do projeto e o gestor de inovações responsável pela elaboração do *TRM* quanto às visões, missões e objetivos estratégicos das tecnologias a serem desenvolvidas é primordial para que o projeto informacional, onde estará inserido o *TRM*, levante um grande número de informações relevantes para a elaboração do produto. Com isso, este bloco de etapas inicia-se com a definição do escopo do produto, o que também envolve definir seus requisitos de desempenho. Esta fase visa entender o propósito do *roadmap*, como o produto-alvo, o tipo de projeto - seja radical, plataforma, incremental ou follow source -, os requisitos técnicos e mercadológicos desejados - como funcionalidade, desempenho, custo, prazo e exigências regulatórias - e quais áreas do conhecimento, setores da empresa e horizontes temporais devem ser priorizados na análise.

Já referente ao levantamento do *know-how* e *know-who* da organização, a segunda etapa foca na identificação de competências internas e lacunas da equipe do projeto. Nesta, compreende-se quais conhecimentos, habilidades e recursos já estão disponíveis na empresa e quais ainda precisam ser adquiridos ou desenvolvidos. Essa análise deve envolver tanto os recursos técnicos quanto humanos, considerando formação das equipes, infraestrutura laboratorial, propriedade intelectual interna e capacidade produtiva (De Weck, 2022). Uma informação de extrema relevância que se espera obter após essa etapa é a determinação do nível de prontidão tecnológica (*TRL*) da organização e até onde ela pode avançar com os recursos que possui. Com isso, é possível decidir se a estratégia será de desenvolvimento interno, parceria externa, aquisição de tecnologias ou treinamento de pessoal.

Concluindo o bloco de alinhamento estratégico, a terceira etapa trata do levantamento do *know-when* ao definir marcos temporais do produto, alinhando-os com a maturação das tecnologias identificadas e os objetivos estratégicos do negócio. Esta etapa tem um output de extrema relevância para a estrutura final do *TRM* pois, usando conceitos de futurabilidade tecnológica e de ciclos de vida da inovação, é nela em que se determina o eixo horizontal do mapa. Grande parte dos autores revisados na bibliografia classificam os intervalos temporais apenas como passado, presente e futuro, sendo que o futuro normalmente é dividido entre curto, médio e longo prazo. Dependendo do escopo do projeto e do grau de incertezas envolvido, essa classificação é suficiente para organizar o *roadmap*. No entanto, estabelecer marcos mais concretos, seja através de etapas do ciclo de vida do produto, de etapas do processo de desenvolvimento do produto, ou em alguns casos, até em datas críticas do projeto, auxilia futuramente a tomar decisões mais assertivas através do *TRM*. Essa previsão cronológica deve ser cruzada com a capacidade de absorção tecnológica da empresa.

A metodologia então segue para o processo de levantar e tratar dados sobre tecnologias, recursos, habilidades, produtos, componentes e estratégias no mercado que alimentarão o *TRM*. A etapa de levantar tendências tecnológicas relevantes trata de buscar o maior número destas informações em documentos científicos como artigos, relatórios de agências de pesquisa, projetos de pesquisa, relatórios de conferências e eventos científicos e bases de patentes como *NPI, Google Patentes e ESPACENET*. Na bibliografia, algumas recomendações para essa busca envolvem o uso de topic modeling em textos de patentes para mapear tecnologias emergentes, o que ajuda a prever os caminhos tecnológicos mais prováveis para os próximos anos (Ghaffari et al., 2023) e também uma busca e filtragem estruturada de literatura, baseada em palavras-chave, operadores booleanos e critérios de exclusão (Santos et al., 2023). Essas abordagens visam reunir tanto perspectivas acadêmicas quanto comerciais, ampliando a confiabilidade da previsão tecnológica.

Após um grande número de informações levantadas e dispostas em uma planilha na etapa anterior, a quinta etapa busca tratar de uma questão pouco abordada no referencial teórico: a qualificação prévia dos dados levantados a fim de auxiliar na organização do *TRM* quanto à sua disposição no eixo temporal e a sua relação com as demais tecnologias e recursos levantados. O artigo

de Jeong, Jang e Yoon (2021) ressalta que patentes concedidas tendem a indicar tecnologias de aplicação imediata, ou seja, curto prazo, enquanto patentes recentes ou em análise indicam possibilidades de médio prazo, além de que, tendências emergentes em artigos e conferências acadêmicas apontam tecnologias com horizonte de longo prazo. Este nível de informação sobre os dados levantados se torna importante uma vez que nem todos os documentos são precisos em termos da expectativa de quando as tecnologias e/ou recursos entrarão em voga. Além desta informação, já é possível atualizar essa planilha indicando possíveis grupos de tecnologias similares, qual é a classificação da informação levantada referente às possíveis raias do *TRM*, qual a fonte da informação, entre outras colunas que a equipe de gestão da inovação veja como relevante.

Encerrando a etapa de tratamento dos dados, validar as informações levantadas por meio de entrevistas com especialistas internos e externos é um passo adicional que assegura que o *TRM* represente diretrizes mais realistas de negócio. O uso de entrevistas semiestruturadas, permite levantar percepções sobre viabilidade técnica, restrições operacionais, riscos regulatórios e oportunidades comerciais. Além disso, essas entrevistas podem revelar interdependências tecnológicas ou sinergias não captadas nas análises bibliográficas (Barip e Altun, 2022). Com base nos resultados da entrevista, os dados da planilha são refinados e os elementos do *roadmap* são ajustados.

Passando para o último e principal bloco de atividades desta metodologia, o *TRM* começa a tomar forma. Na etapa de definir as raias do *TRM*, a estrutura macro dele é concluída juntamente ao eixo temporal antecipado na etapa de definir marcos temporais do produto. Phaal, Farrukh e Probert (2004), assim como vários outros autores que os referenciam, sugerem um modelo em três faixas: a superior para as necessidades de mercado, a intermediária para os produtos e tecnologias, e a inferior para os recursos e capacidades. No entanto, vale ressaltar que essa estrutura deve ser adaptada para cada tipo de projeto e de produto, podendo incluir subdivisões verticais por área funcional. A partir deste ponto, ferramentas como *Miro, Roadmunk, Sopheon* ou até ferramentas baseadas em *Python/R*, dependendo da capacidade da equipe, podem ser utilizadas para facilitar a organização e tornar o *roadmap* mais funcional como instrumento de tomada de decisão.

Para posicionar as informações levantadas nos eixos do *TRM*, é necessário levar em consideração o estado atual da patente ou artigo científico e projetá-la de forma estimada para o futuro. Isso trará tanto uma perspectiva atual, quanto de longo prazo. Outro fator que é importante de ser levado em consideração, principalmente para simplificação de ideias, é a possibilidade de agrupar ideais de soluções similares, uma vez que é comum patentes diferentes compartilharem do mesmo princípio de inovação.

Por fim, representar como os dados do *TRM* relacionam entre si aumenta ainda mais o entendimento de tendências atuais e futuras a fim de se tomar decisões mais direcionadas e assertivas. Uma distinção clara entre os conectivos orientados por uma legenda é essencial para essa última etapa.

Após todos os passos descritos desta metodologia, o *TRM* pode por fim ser implementado para tomadas de decisão e melhores posicionamentos da organização sobre o mercado, porém ele periodicamente deve ser revisado em ciclos de monitoramento e atualização. A cada novo ciclo, o *roadmap* deve ser reavaliado com dados atualizados e com as mudanças internas da organização (Daim, Oliver e Phaal, 2018). Só assim o *TRM* pode servir como guia vivo para o desenvolvimento de tecnologias, priorização de investimentos e realocação de recursos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia proposta, organizados segundo as etapas previstas no modelo de construção do *Technology Roadmap* nos 3 blocos de atividades. Inicialmente, são definidos os escopos do projeto e do produto, com base nos requisitos técnicos, mercadológicos e regulatórios, identificando o *know-how,* o *know-who* e o *know-when* disponíveis na equipe do projeto. Posteriormente, serão analisadas as bases de dados para mineração de patentes e artigos que alimentarão o *TRM*. Os resultados incluem, por fim, a entrevista com integrantes do projeto de turbinas hidrocinéticas, a análise do ambiente competitivo tecnológico, o agrupamento de patentes e artigos por similaridade e a construção final do *TRM*, subdividido por raias.

4.1 Alinhamento estratégico da equipe de projeto

Para se iniciar a aplicação prática da metodologia desenvolvida para se elaborar um *TRM* voltado para a gestão de inovação das turbinas hidrocinéticas fluviais, é importante detalhar e levantar informações importantes sobre o projeto do produto. O projeto em questão busca o desenvolvimento de turbinas hidrocinéticas fluviais com aplicação em comunidades remotas e/ou arranjos modulares de geração de energia. Com isso, seu escopo se encontra relacionado à inovação tecnológica aplicada ao setor energético, com alinhamento estratégico às diretrizes da ANEEL e à necessidade de soluções sustentáveis para regiões não atendidas adequadamente por sistemas convencionais. Portanto, o objetivo geral do projeto é a concepção e o aprimoramento de turbinas fluviais de diferentes portes, desde pequenas turbinas comunitárias de 1 kW até unidades maiores, como o modelo HTUC-01 de 500 kW.

A visão de futuro associada ao projeto é a disseminação da geração hidrocinética em pequena escala em regiões ribeirinhas brasileiras, criando uma alternativa limpa, acessível e nacional para fornecimento de energia. Já a missão é desenvolver soluções eficientes, adaptáveis e seguras, capazes de enfrentar os desafios técnicos e econômicos de sua inserção no mercado de energia renovável. A contribuição institucional da UnB se insere pela geração de conhecimento tecnológico útil e replicável em território nacional.

Como o projeto busca ampliar soluções existentes ao aplicar novos materiais, geometrias e arranjos de instalação, ele se encaixa no tipo de projeto de desenvolvimento incremental, ainda que com uma inovação radical. A ferramenta de *TRM* se mostra fundamental para esse tipo de projeto por permitir o mapeamento das fases de maturação, das tecnologias habilitadoras, dos requisitos técnicos e dos prazos para desenvolvimento, alinhando as estratégias atuais de P&D com as metas de industrialização e comercialização.

Resumindo a etapa de escopo do produto, a Tabela 2 lista os principais requisitos técnicos que a turbina deve ter para atender às exigências mercadológicas e ao desempenho hidráulico esperado. As exigências regulatórias por sua vez se tratam das normas que devem ser respeitadas em um projeto dessa natureza durante todas as suas etapas. Esta tabela será útil, além da própria gestão do projeto como um todo, para, na fase de levantamento de dados, induzir as palavras-chaves que servirão para a busca de patentes e documentos técnicos e, na fase de montagem do mapa tecnológico, auxiliar na definição das raias do *TRM*.

Desempenho hidráulico	**Exigências mercadológicas**	**Requisitos técnicos da turbina**	**Exigências regulatórias**
Eficiência de	Modularidade e	Componentes	Aplica-se a legislação

conversão: pode chegar a 0,55 para turbinas com difusores); Fator de capacidade anual: 0,33, resultando em 5,8 MWh de produção anual com potência nominal de 2 kW; Vida útil estimada: 10 anos; Produção média de energia: 665 W; Velocidade média de escoamento: 1,39 m/s; Comportamento hidrodinâmico baseado no estudo do escoamento na esteira da turbina;	escalabilidade para diferentes potências (1 kW a 500 kW); Baixo custo de produção facilidade de instalação; Viabilidade técnica e econômica ajustada a contextos de baixo retorno financeiro direto, com alta relevância social; Simplicidade de manutenção e operação com envolvimento da comunidade local; LCOE (Levelized Cost of Energy) baixo.	eletromecânicos confiáveis: sistemas de transmissão, multiplicadores de rotação, geradores, controle e ancoragem; Uso de difusor cônico traseiro; Estrutura submersível (carcaça protetora contra detritos); Coeficientes de potência Cp otimizados; Robustez estrutural; Resistência à corrosão; Compatibilidade com variações de fluxo; Capacidade de operar com velocidade máxima de escoamento de até 2 m/s; Diâmetro compatível com o calado do rio.	ambiental brasileira e diretrizes da ANEEL para projetos de P&D com impacto socioambiental: ● Proteção da fauna aquática (baixo impacto a peixes e sedimentos); ● Necessidade de licenciamento ambiental para instalações fluviais; ● Segurança estrutural; ● Compatibilidade com a navegação local.

Tabela 2 - Características iniciais do projeto de turbina hidrocinética da UnB

Fonte: autoria própria (2025), baseado em BRASIL (2022)

Partindo para a identificação de competências e deficiências da equipe do projeto, esta é composta pela Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal do Pará (UFPA) e Université du Québec (por meio do pesquisador Yves Secretan), e empresas como a Serra do Facão Energia S.A. (SEFAC), a AES Tietê (citada como parceira no projeto Hydro-K), a Hubz (citada na construção da plataforma Hydro-K) e a Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos (Finatec). As

competências unidas se destacam pela engenharia mecânica, hidrodinâmica, eletrônica e pela gestão de projetos. O *know-how* em modelagem numérica, construção de protótipos e testes em campo, permite uma base sólida de desenvolvimento e validação de tecnologias.

Quanto à infraestrutura laboratorial, esta é robusta, com recursos para simulação, prototipagem e testes hidrodinâmicos, porém caso se torne necessário ensaios de longa duração em escala real, os laboratórios precisarão passar por uma ampliação. Para a fabricação de peças sob demanda, a capacidade depende de parcerias externas com centros de usinagem e fornecedores especializados. Uma das lacunas identificadas para a execução do projeto, sobretudo no que tange à capacidade produtiva em escala industrial, é a falta de infraestrutura própria para ensaios prolongados em ambientes fluviais.

Retomando a sub-seção de contextualização do projeto de turbinas hidrocinéticas fluviais no Brasil do referencial teórico, é importante realizar uma qualificação técnica das principais turbinas projetadas pela UnB para identificar seu histórico, compreender as habilidades, competências e conhecimentos teóricos que foram passados de geração em geração deste projeto e antecipar seu posicionamento no *TRM.* A Figura 11 traz uma representação tangível dos 5 principais produtos projetados ao longo do projeto: G1 (a), G2 (b) , G3 (c), HTUC-01 (d) e HK-10 (e).

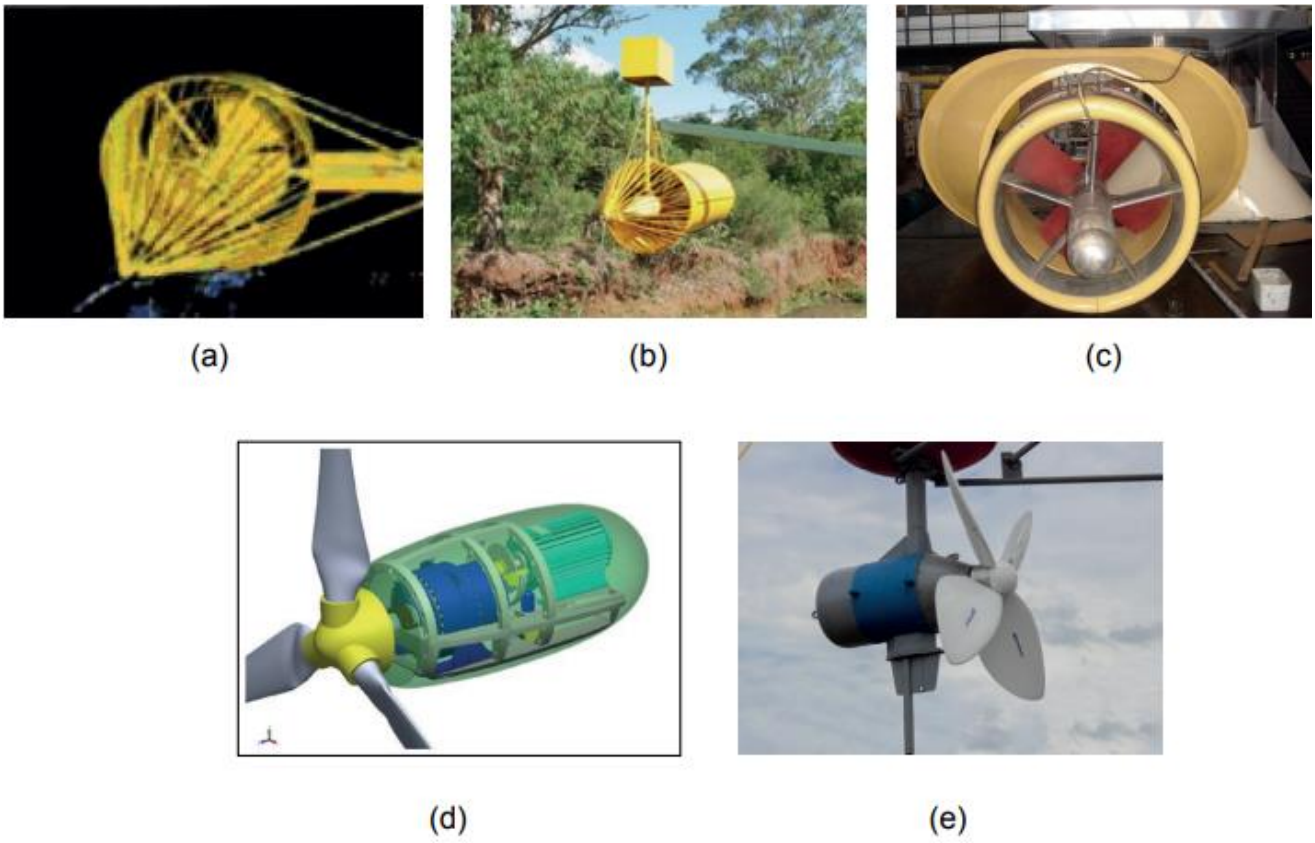


Figura 11: Turbinas projetadas pela UnB

Fonte: BRASIL (2022)

A primeira geração, G1, foi desenvolvida com finalidade predominantemente didática e

experimental. De acordo com os registros de desenvolvimento, ela foi concebida para validação de conceitos básicos de conversão hidrocinética, com foco em medições de torque, potência e comportamento estrutural em tanque de provas. Seu rotor de três pás e configuração de eixo horizontal serviram como plataforma inicial para ajustes geométricos e de materiais, estabelecendo a base para as gerações seguintes.

Já a segunda geração, G2, representou um avanço significativo em relação à G1, incorporando melhorias na hidrodinâmica do rotor e na carenagem do gerador. Essa geração buscou reduzir perdas por arrasto e otimizar o acoplamento do gerador elétrico, aumentando a eficiência global do sistema. A G2 também passou a ser testada em ambientes semi-controlados, permitindo avaliar o desempenho em condições mais próximas da aplicação real.

Por fim, a terceira geração, G3, consolidou o aprendizado das duas primeiras ao incluir um difusor cônico com ângulo otimizado, visando amplificar a velocidade do fluxo na região do rotor . Essa adição resultou em ganhos de potência aproveitável e serviu como base conceitual para as futuras turbinas de maior porte. Os testes dessa geração reforçaram a importância da geometria do difusor na maximização do coeficiente de potência.

Para fins de simplificação, as 3 primeiras gerações de turbinas hidrocinéticas projetadas pela UnB, representarão um *cluster* representando, no *TRM*, as principais habilidades e competências que sustentaram as turbinas sucessoras. Afinal, essas foram construídas com foco didático, experimental e com validações realizadas em ambientes controlados e semi-controlados.

A HTUC-01 foi o primeiro protótipo de grande porte do projeto, concebida para operação em ambiente fluvial real. Possui capacidade nominal de 500 kW e estrutura robusta para suportar condições de correnteza intensa. A turbina foi projetada com foco na geração distribuída e em modularidade, permitindo integração em arranjos múltiplos para aumento de capacidade.

Por fim, a última turbina projetada é a HK-10, que sucedeu a HTUC-01 incorporando avanços no *design* do rotor e melhorias no sistema de transmissão de potência. Seu desenvolvimento priorizou a eficiência energética e a redução de custos de fabricação, sem comprometer a robustez estrutural. Essa geração também introduziu maior atenção ao impacto ambiental e à manutenção simplificada, aspectos fundamentais para operação em comunidades ribeirinhas.

Atualmente, a equipe do projeto trabalha na quinta geração da turbina, G5, sintetizando os aprendizados acumulados ao longo das fases anteriores, incorporando avanços tanto no desempenho hidrodinâmico quanto na modularidade e logística de transporte. Segundo registros internos do grupo de pesquisa e entrevista com um representante da equipe, a G5 foi concebida para operar de forma eficiente em diferentes contextos fluviais, integrando ajustes estruturais que permitem sua montagem e desmontagem rápida em campo. Entre as inovações, destaca-se a adoção de materiais de alta resistência

à corrosão e baixo peso, como ligas de alumínio tratadas e compósitos poliméricos reforçados, que reduzem custos de manutenção e aumentam a vida útil do equipamento. O projeto também prevê a utilização de um sistema de difusor otimizado, baseado em estudos anteriores, como o de Vaz (2019), para maximizar a velocidade do fluxo na região do rotor sem comprometer a estabilidade estrutural.

Do ponto de vista elétrico, a G5 incorpora um gerador de alta eficiência com capacidade para acoplamento direto ou por multiplicador, facilitando adaptações conforme a vazão e a demanda energética local. Outro diferencial é o projeto de fundação híbrida, capaz de ser configurada tanto para ancoragem fixa quanto para instalação flutuante, o que amplia as possibilidades de aplicação. Em linha com a demanda por soluções de baixo impacto ambiental, a turbina foi projetada para minimizar interferências na fauna aquática, adotando espaçamentos e geometrias de pás compatíveis com diretrizes ambientais internacionais. Essa geração também marca um avanço na gestão do projeto, com maior integração digital no desenvolvimento, prototipagem e monitoramento remoto em operação, alinhando-se às práticas da Indústria 4.0.

O *TRL* é uma escala que descreve, de forma sistemática e padronizada, o grau de maturidade de uma tecnologia ao longo do seu desenvolvimento (GAO, 2020). A Figura 12 é uma escala dos níveis possíveis que uma tecnologia pode ter, de 1 (princípios básicos observados) até 9 (sistema comprovado em ambiente operacional real) baseado na ferramenta originalmente desenvolvida pela NASA. Nesta imagem, estão sinalizados os níveis de prontidão tecnológica das turbinas G1, G2 e G3, da HTUC-01, da HK-10 e, atualmente, a G5. Essas informações foram posteriormente validadas e ajustadas na entrevista com o gerente do projeto da G5, cujo nível de *TRL* esperado para o futuro é o mesmo das primeiras gerações - *TRL* 7.

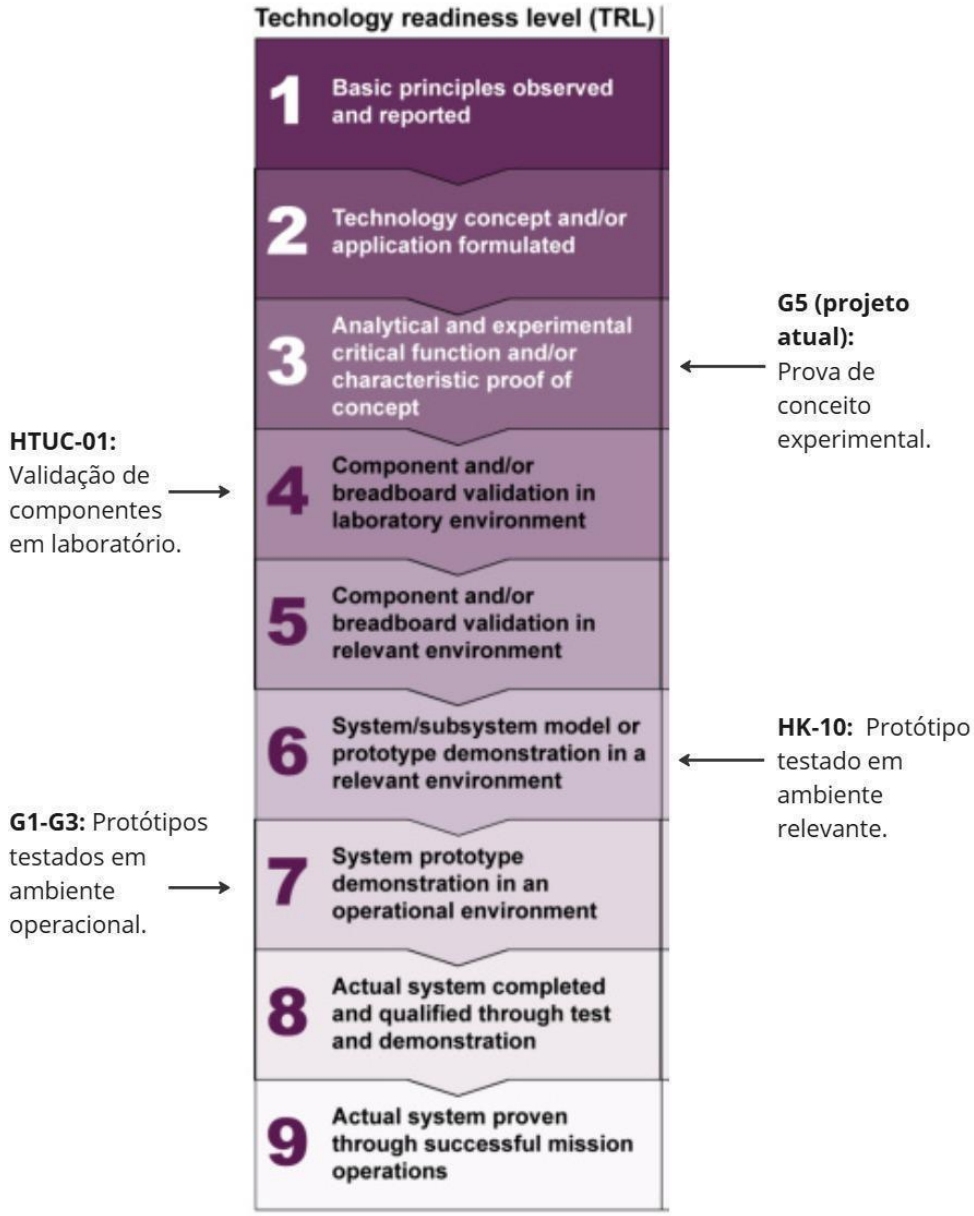


Figura 12 - *TRL* das turbinas desenvolvidas pela equipe do projeto

Fonte: autoria própria (2025), com base nas imagem de GAO (2020) e informações de BRASIL (2022)

Finalizando o alinhamento estratégico, onde há uma análise do *know-how* e do *know-when,* alguns dados históricos e marcos temporais do projeto são definidos, desde as primeiras iniciativas no início dos anos 2000, seguindo para as ações presentes até os passos futuros. Com isso, a Figura 13, configura uma primeira versão do que se tornará o eixo horizontal do *TRM* combinando a linha do tempo com as etapas principais do projeto de turbina hidrocinética da UnB.

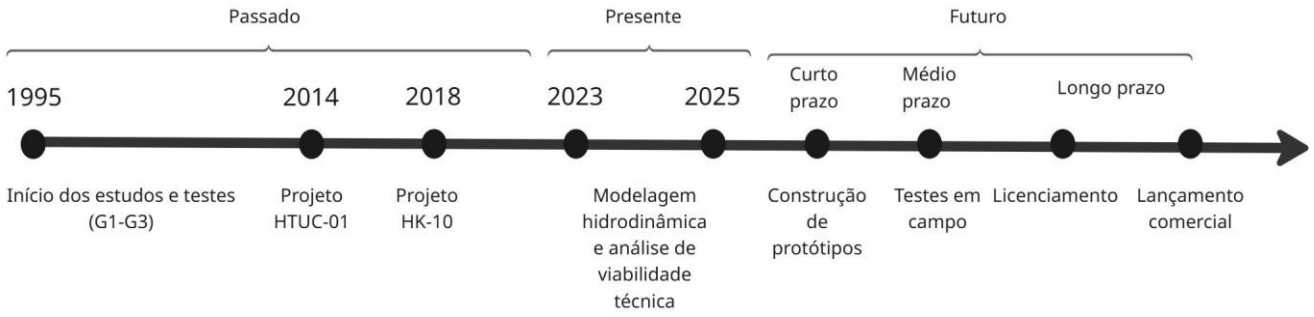


Figura 13 - Linha do tempo do projeto de turbina hidrocinética da UnB baseada em marcos do projeto

Fonte: autoria própria (2025), com base em BRASIL (2022)

A linha do tempo está dividida em passado - considerando os anos exatos de conclusão de cada projeto -, presente - onde as etapas de modelagem hidrodinâmica e análise de viabilidade técnica estão em andamento desde 2023 - e futuro. A precisão da estimativa de datas para os eventos futuros - construção de protótipos, testes em campo, licenciamento e lançamento comercial - será validada através de uma entrevista com um dos gestores do projeto.

4.2 Levantamento e tratamento de dados

Uma vez primeiramente levantadas informações sobre o projeto em si, uma busca mais ampla é feita quanto às tecnologias, recursos, competências e estratégias existentes no mercado que possam vir a agregar o projeto das turbinas hidrocinética. Para isso, foram utilizadas as bases de patentes ESPACENET - que possui mais de 120 milhões de documentos técnicos, sendo amplamente utilizado em pesquisas tecnológicas -, Google Patents - que agrega patentes de diversos escritórios, facilitando a busca por termos não padronizados ou multi linguísticos -, INPI - que é a principal fonte de patentes no Brasil e deve ser obrigatoriamente consultado em projetos financiados com recursos públicos ou aplicados no território nacional -, e, como fonte de artigos científicos, o Google Scholar pois abrangem tanto o escopo internacional quanto o nacional de inovações registrada, complementando a investigação por patentes ao permitir o acesso a conteúdos técnicos, estudos experimentais e tendências emergentes que ainda não foram registradas como propriedade intelectual.

No processo de busca, os operadores *booleanos* foram utilizados para estruturar a pesquisa de forma precisa e excludente. A escolha das palavras-chave foi feita a fim de captar a diversidade terminológica utilizada em publicações técnicas e patentes sobre turbinas hidrocinéticas em ambientes fluviais, tanto em inglês quanto em português, abrangendo pesquisas internacionais e locais. O uso de sinônimos e variações linguísticas assegura que documentos com terminologias distintas não sejam negligenciados.

O primeiro grupo de palavras-chave - (*"hydrokinetic turbine" OR "kinetic hydropower" OR "floating turbine" OR* "turbina hidrocinética" *OR* "energia hidrelétrica cinética" *OR* "turbina flutuante") - refere-se diretamente ao tipo de tecnologia-alvo incluindo os diferentes termos técnicos usados na literatura para descrever turbinas que aproveitam a energia cinética de fluxos fluviais. O segundo grupo de termos - (*"anchoring system" OR "diffuser augmented turbine" OR "DAWT" OR "cross-flow turbine" OR "axial flow turbine"* OR "sistema de ancoragem" *OR* "turbina aumentada por difusor" *OR* "turbina de fluxo cruzado" *OR* "turbina de fluxo axial") - visa capturar as características técnicas estruturais e os tipos de turbina relevantes para o *roadmap* através de elementos-chave do *design* mecânico e hidrodinâmico das turbinas, como difusores (*DAWT*), sistemas de fixação, e a geometria do rotor. As demais expressões - ("river" *OR* "fluvial" OR "rio"), ("*design*" *OR* "structure"), e *("low cost" OR "efficiency" OR "corrosion resistance"*) - serviram para refinar os resultados, direcionando a pesquisa para aplicações fluviais, características construtivas e requisitos técnicos e mercadológicos. Por fim, o operador *NOT - ("tidal*" *OR "ocean" OR "large-scale hydropower" OR* "maré" *OR* "oceano" OR "energia hidrelétrica em grande escala") - exclui documentos irrelevantes como turbinas oceânicas ou projetos de grande escala, que não se alinham ao escopo deste *TRM*, focado em produtos de pequeno a médio porte para aplicação fluvial com viabilidade prática no Brasil.

O resultado das buscas realizadas nas bases de patentes trouxe que, nas fases iniciais da inovação de turbinas hidrocinéticas, onde se encontram os estudos e testes da G1 até a G3 na década de 2000, os esforços de pesquisa e desenvolvimento fundamentais focaram em estabelecer princípios básicos de conversão de energia e abordar desafios iniciais de *design*. Com isso, enquanto a UnB introduziu turbinas do tipo Michell com difusores cônicos e alinhamento de fluxos delimitados para plantas hidrelétricas micro/mini, trabalhos como o de Stephen Mark West focou em unidades de turbinas capazes de produzir energia independentemente da direção do fluxo do fluido, integrando múltiplos conjuntos de lâminas, estatores e bicos convergentes e divergentes para otimizar a dinâmica do fluxo interno. Nesse mesmo período o Conversor de Energia Marinha Espectral (SMEC), também da Verderg LTD também foi introduzido enfatizando a extração de energia "pan-espectral" de ondas, marés ou correntes através de difusores, iniciando aspirações para *designs* modulares e escaláveis. De forma complementar, o *design* de Jair Hamann para um gerador hidrocinético flutuante com lâminas radiais móveis impulsionou soluções de baixo custo e fácil instalação que operam continuamente apesar das mudanças no nível da água, particularmente para aplicações micro-hidrelétricas em áreas remotas.

À medida que a tecnologia amadureceu na primeira metade da década de 2010, período em que o projeto da HTUC-01 foi consolidado, as inovações focaram em refinar *designs* para maior adaptabilidade, robustez e facilidade de implantação. Exemplos de patentes que se inserem neste contexto incluem a busca de Li Ping por uma hidropotência flutuante leve e de baixo impacto, o dispositivo portátil de Fred John Feiler projetado para implantação rápida e remoção de terra, barcos ou docas, utilizando um *design* semi-encoberto com efeitos Venturi e amarração para posicionamento

estável em corrente cruzada, e, principalmente as turbinas modulares patenteadas por Visiers De Toran, que possuem lâminas de área variável e defletores de condicionamento de fluxo. Essa inovação visava melhorar a eficiência em correntes de baixa velocidade, maximizando dinamicamente o “torque de trabalho” e minimizando o "torque de retorno" através de vários mecanismos de lâminas. Pouco tempo depois, a Emrgy Inc. patenteia "sistemas de transição hidro" usando estruturas de tecido reforçado para canalizar e acelerar ativamente o fluxo de água nas turbinas, resultando em aumento da geração de energia e melhoria dos mecanismos de gestão de enchentes.

Os avanços mais recentes ocorreram após o projeto da HK-10 e impulsionaram estratégias para tecnolgias altamente especializadas, ambientalmente sustentáveis e comercialmente viáveis para segmentos de mercado específicos. O *Centre National De La Recherche Scientifique* e o *Institut Polytechnique De Grenoble* desenvolveram plantas hidrelétricas flutuantes especificamente para rios rasos, apresentando turbinas contra-rotativas alojadas dentro de um canal autônomo. Esse *design* prioriza baixos custos de fabricação e instalação e mínima manutenção, tornando-o adequado para áreas remotas ou isoladas onde grandes barragens são impraticáveis. Já baseando-se nas forças dos geradores de fluxo axial e conversores de fluxo cruzado, a Usina Termelétrica Norte Fluminense S/A e seus parceiros introduziram um sistema flutuante projetado para multiplicar a velocidade do fluxo de água em pelo menos quatro vezes dentro de sua carcaça. Essa inovação é importante para a geração de energia ambientalmente viável e de baixo impacto com fácil instalação, rotinas de manutenção e potencial para produção em série.

Enquanto as patentes apresentam contribuições para, principalmente, as esferas de tecnologias emergentes e estratégias, os artigos científicos encontrados proporcionam tendências de P&D e auxiliam a prever o mercado de geração energética no futuro. Para áreas como modelagem computacional, simulação hidrodinâmica e experimentação controlada, estudos com o de Fregonese (2018) pode ser incorporados ao processo formativo de pesquisadores do projeto, promovendo o desenvolvimento interno de capacidades de projeto, análise de desempenho e modelagem de componentes da turbina. De forma análoga, artigos como os de do Rio Vaz et al. (2016) e Vaz (2019) introduzem métodos matemáticos, sendo que o segundo aborda uma teoria do elemento de pá com recursos valiosos para treinamento de uso de ferramentas analíticas avançadas.

Na dimensão tecnológica, os artigos contribuem diretamente para o aprimoramento dos principais componentes da turbina, como difusores, estruturas de ancoragem e dispositivos de geração de energia. O estudo de Vaz & Lins (2023), por exemplo, apresenta uma abordagem aplicada para avaliar o impacto do difusor em turbinas fluviais no contexto da barragem de Tucuruí, podendo ser adaptado ao contexto amazônico abordado no livro. Já Pizza et al. (2023) demonstram um protótipo funcional de turbina de pequeno porte com estrutura submersível e validação experimental, o que oferece *insights* técnicos diretos para a construção de protótipos HK e HTUC descritos no projeto. O artigo de Silva (2019) complementa a análise do difusor, ao investigar ângulos de abertura otimizados,

e pode ser usado como referência para o dimensionamento do canal de aceleração hidráulica nas turbinas estudadas.

Sob a perspectiva de mercado e estratégia comercial, esses artigos ajudam a contextualizar o projeto no cenário nacional e internacional, mostrando a viabilidade técnica de turbinas de baixo custo voltadas para comunidades isoladas — conforme também defendido no livro. A ênfase em soluções simples, robustas e de fácil manutenção, como visto em Teixeira (2014), é coerente com os requisitos mercadológicos do projeto da UnB. Além disso, ao analisar estudos que propõem turbinas de fluxo axial e transversal, com ou sem difusor, os autores contribuem com informações importantes para avaliar quais configurações têm maior aceitação no mercado e menor custo de fabricação, o que é crucial para a transição do projeto para sua fase comercial. Essas referências técnicas fortalecem não apenas a construção do *TRM*, mas também a definição das etapas estratégicas de lançamento e posicionamento da turbina no mercado brasileiro de geração distribuída.

Para compilar todas essas informações levantadas, a tabela presente em Anexo I organiza-as em 3 blocos de colunas de forma a facilitar seus posicionamentos no *TRM*. Nas primeiras 7 colunas, dados de identificação do documento foram expostos – como, título, autores e universidade ou empresa responsável - e, em seguida, a data referente a publicação do documento, a fim de iniciar a construção da cronologia das tecnologias emergentes dos últimos anos.

Os blocos de colunas referentes à abordagem e à posição no eixo horizontal do *TRM* estão relacionadas de forma que, se por um lado o tipo de informação, a classificação dos documentos e a base de dados utilizados ajudam a classificar qual deve ser o posicionamento no marco temporal do *TRM*, a coluna de foco a ser explorado traz *insights* sobre quais raias o mapa tecnológico deve ter baseado nas tendências de componentes, módulos ou estratégias de pesquisa e desenvolvimento que os documentos trazem.

Por fim, para fins de alinhamento dos documentos com os requisitos técnicos e mercadológicos, o último bloco de colunas classifica objetivamente se o documento aborda ou não os principais requisitos e exigências do projeto de turbinas hidrocinéticas: uso de difusor cônico traseiro, estrutura submersível, compatibilidade com variações de fluxo, fácil instalação, fácil manutenção, baixo custo de manutenção e resistência a corrosão. Nesse último bloco, foram descartados os dados que apresentavam uma compatibilidade inferior a 50% com os requisitos citados, excluindo quando não fosse possível inferir (N / A), restando, assim, 7 artigos - representados na Tabela 3 - e 13 patentes - representados na Tabela 4.

Título	**Autores**
Analysis Of Hydrokinetic Turbines For Application In Congo	Giovanni Bracco, Giuliana Mattiazzo
Turbina Hidrocinética De Pequena Escala Para Geração De Energia Em Rios	Pizza, Bruno Pacheco Ramos, Fabricio De Oliveira

	Amorim, Larissa Bolano Mauricio, Victor Griska
Estudo Da Eficiência De Uma Turbina Hidrocinética Com Difusor Projetada Para O Aproveitamento Da Energia Remanescente Da Barragem De Tucuruí	Adry Kleber Ferreira De Lima
Uma Extensão Do Método Bem Aplicada Ao Projeto De Rotores Hidrocinéticos De Eixo Horizontal	Déborah Dias Do Rio Vaz Claudio Cavalcante Blanco Jerson Rogério Pinheiro Vaz André Luiz Amarante Mesquita João Tavares Pinho
Montagem E Instalação De Turbinas Hidrocinéticas	Ricardo Alcântara Gomes Teixeira
Uma Abordagem Matemática Aplicada Ao Projeto De Turbinas Hidrocinéticas E Eólicas Com Difusor Utilizando A Teoria Do Elemento De Pá	Déborah Aline Tavares Dias Do Rio Vaz
Estudo Experimental Do Ângulo De Abertura De Difusores Cônicos Em Um Microgerador Eólico	Thales Cunha E Silva

Tabela 3 - Artigos científicos a serem usados no *TRM*

Fonte: autoria própria (2025)

ID	**Título**	**Inventores**	***Cluster***
BRPI0601595A	Turbina Hidrocinética	Henriques Antonio Manoel Dias Sousa Aldo Joao De Campos Clovis De Oliveira Els Rudi Henri Van Balduino Luis Fernando Salomon Lucio Benedito Renno	*Outlier*
US20210956322A1	Hydro Transition Systems And Methods Of Using The Same	Cochran Craig J [Us] Morris Emily A [Us] White Madeleine M [Us] Charles Kirk William [Us] Stoesser Thorsten [Gb]	Aumento do fluxo por canal fixo/estrutural
EP3707371B1	Floating Hydroelectric Power Plant For Shallow Rivers	Achard Jean-Luc [Fr] Balarac Guillaume [Fr]	Aumento do fluxo por canal fixo/estrutural
FR3154699A1	Centrale Hydroélectrique Flottante Pour Cours D'eau Et Procédé De Maintenance D'une Telle Centrale	Monmarson Bastien [Fr] Achard Jean-Luc [Fr]	Sistemas flutuantes ajustáveis de baixo impacto
CN102418649A	Water-Work-Free Water Power Development Method And Electricity Generation Equipment	Ping Li Li Ping	Independente, porém próximo de "Aumento do fluxo por canal fixo/estrutural"
US20132363314A1	Portable Hydroelectric Kinetic Energy Conversion Device	Feiler Fred John [Us]	Obras de pequena escala com operações adaptativas focadas em uso de defletores e sistemas portáteis
US20171383331A1	Variable Area Blade Turbine And Conditioning Flow Deflectors Device And Method	Visiers De Toran Concepcion [Ve] Toran Jose [Ve]	Obras de pequena escala com operações adaptativas focadas em uso de defletores e sistemas portáteis
ES-2940320-T3	Hydroelectric Transition Systems And Methods Of	Emily A Morris, Craig J Cochran, Madeleine M White, Kirk William	Aumento do fluxo por canal fixo/estrutural

	Using Them	Charles, Thorsten Stoesser	
US-9051913-B2	Portable Hydroelectric Kinetic Energy Conversion Device	Fred John Feiler	Obras de pequena escala com operações adaptativas focadas em uso de defletores e sistemas portáteis
CN-113006012-A	Floating Type Turbine Hydroelectric Generation Small-Sized Base Station	Yang Songtao, Li Wencheng, Yang Yi, Yang Chenchuyi, Yang Chenyuhan, Yang Chenyuxin	Independente, porém próximo de "Sistemas flutuantes ajustáveis de baixo impacto"
BR-102019005400-A2	Sistema Flutuante De Geração De Energia Elétrica	Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão, Antonio Carlos Duarte Ricciotti, Viviane Barrozo Da Silva	Sistemas flutuantes ajustáveis de baixo impacto
BRPI1003571A2	Gerador Hidrocinético De Energia Mecânica	Jair Hamann	*Outlier*
BR112012023409B1	Dispositivo E Processo Para Gerar Eletricidade	Peter Roberts	Sistemas flutuantes ajustáveis de baixo impacto

Tabela 4 - Patentes a serem usadas no *TRM*

Fonte: autoria própria (2025)

Visando minimizar excessos de informações no *TRM*, apenas o primeiro nome de cada grupo de autores ou inventores será mencionado no mapa e algumas patentes serão agrupadas em *clusters*. Um exemplo disso é um trio de documentos que descrevem exclusivamente o uso de estruturas estacionárias e engenheiradas para guiar e acelerar o fluxo de água - inventados por Cochran Craig, Achard Jean-Luc e Emily Morris. Para esse *cluster* será utilizado o nome "Aumento do fluxo por canal fixo/estrutural"

Um outro *cluster* que acrescenta ainda mais ideias de inovação a essa ideia inicial envolvem os documentos de Monmarson Bastien, Peter Roberts e Júlio Militão. Além de citarem o aumento do fluxo, os inventores também abordam sistemas que são inerentemente flutuantes e oferecem mecanismos para ajustar sua profundidade de imersão ou posição na água, adaptando-se às condições ambientais em mudança. Um outro foco dessas patentes é minimizar a perturbação ambiental, frequentemente direcionadas à produção de energia descentralizada e em menor escala em corpos d'água menos energéticos. A esse trio de patentes será dado o nome "Sistemas flutuantes ajustáveis de baixo impacto".

As invenções de Ping Li e Yang Songtao não são *outliers,* porém, o primeiro não se trata de sistemas flutuantes ou submersíveis ajustáveis e o segundo não se trata de aumento do fluxo por canal. Portanto, no *TRM*, eles ocuparão de forma livre uma relação intermediária entre esses dois primeiros *clusters* citados.

Um terceiro *cluster* se demonstra ser o mais completo em termos de atendimento aos requisitos do projeto de turbina hidrocinética da UnB e é composta por patentes de Fred Feiler - que possui duas patentes similares - e Jose Toran. Essas inovações envolvem defletores especializados ou bicos que são colocados perto da própria turbina para condicionar e melhorar o fluxo de água que afeta diretamente as lâminas da turbina, sistemas hidrocinéticos portáteis - focando em fácil implantação, remoção e

operação em vários ambientes aquáticos sem exigir infraestrutura fixa extensa -, métodos que adaptam a operação da turbina não necessariamente mudando a área da lâmina e *designs* que evitam grandes obras de engenharia civil, e são adequados para condições típicas de rios, como baixas velocidades de fluxo ou quedas modestas de água. O nome desse trio de documentos foi dado como “Obras de pequena escala com operações adaptativas focadas em uso de defletores e sistemas portáteis”.

Por fim, duas patentes se demonstram ser *outliers* por, apesar de sua relevância técnica no contexto de geração de energia no contexto apresentado, não apresentarem características de soluções semelhantes o suficiente para entrar em um dos 3 *clusters* descritos, mesmo que parcialmente compartilhando princípios parecidos. A turbina hidrocinética patenteada por Henrique Dias foca em Implantação Rápida e Ancoragem Não Fixa enquanto o Gerador Hidrocinético De Energia Mecânica de Jair Hamann foca em otimizar a captura de energia na região de trabalho para minimizar o arrasto na região de retorno.

Concluindo as etapas de pré-montagem do *TRM*, o Anexo II compõe de 14 perguntas abertas de uma entrevista livre com um dos representantes do projeto de turbina hidrocinética da UnB e tem o objetivo de validar as etapas até então executadas da metodologia do *Technology Roadmap* e também apontar caminhos possíveis para as etapas posteriores. A entrevista foi feita remotamente via *Microsoft Teams,* durou 27 minutos e foi permitido verbalmente pelo entrevistado o uso das informações para o atual projeto de graduação.

As 8 primeiras perguntas, voltadas à definição do escopo do projeto e à missão estratégica das turbinas hidrocinéticas, serviram para validar as etapas 1 e 2 da metodologia - identificação do escopo do projeto, escopo do produto e levantamento de competências internas. Quanto à segunda etapa, as respostas identificaram quais recursos humanos e laboratoriais estão disponíveis e quais precisam ser desenvolvidos, o que ajudou a mapear com maior precisão os níveis atuais de maturidade da equipe, ilustrado na Figura 21, abrindo espaço para a elaboração de planos para suprir deficiências em infraestrutura ou conhecimento específico.

Assim como a determinação dos níveis de *TRL* das tecnologias projetadas pela equipe foi ajustado após a entrevista, um requisito técnico e uma exigência mercadológica foram identificados além do que já havia sido levantado previamente: ter o diâmetro da turbina compatível com o calado do rio e manter o LCOE (Levelized Cost of Energy) baixo. Ambos foram listados como importantes além da velocidade de escoamento e o uso de difusor. Outro ajuste realizado durante a décima segunda pergunta da entrevista foi relacionado ao eixo horizontal do *TRM*. A Figura 14 demonstra que a etapa “presente” já engloba a construção de protótipos e as etapas futuras já podem ser definidas por anos ao invés de marcos.

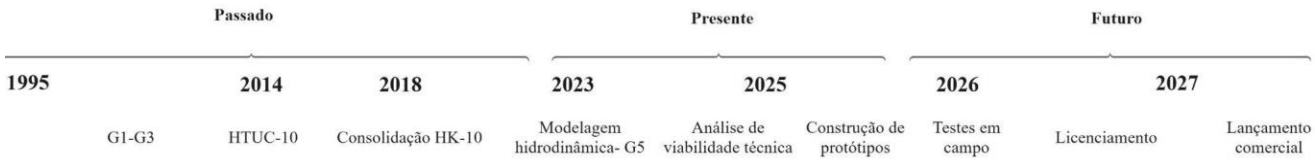


Figura 14 - Linha do tempo do projeto de turbina hidrocinética da UnB ajustado após entrevista

Fonte: autoria própria (2025)

Um importante gargalo foi identificado na metade da entrevista relacionado ao gerador de energia da turbina. O objetivo da equipe é parar de depender de um gerador importado e incorporar tecnologias suficientes para produzir o próprio que pode até ser embutido na turbina, tornando-a mais integrada. Para o teste da resolução desse gargalo, uma parceria recente com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo - IPT-SP - entra em ação para suprir essa lacuna.

Por fim, voltado à construção do *Technology Roadmap,* o entrevistado divide a turbina em 3 módulos principais: rotor, que envolve as pás que convertem a energia da água para potência de eixo, difusor, que serve para otimizar a eficiência e o módulo de transformação da potência de eixo em potência de gerador, que envolve a caixa multiplicadora e o gerador. Essa resposta foi útil para subdividir a raia central de tecnologias em desenvolvimento do *TRM* visto que as patentes, validado na entrevista como única forma de encontrar produtos tangíveis no mercado, apresentam soluções e inovações voltadas, ou para apenas um dos módulo citados, ou para um sistema como um todo. O *trade-off* entre a velocidade que o rotor consegue girar e o tamanho do gerador é um ponto importante a ser notado.

4.3 Montagem do mapa tecnológico

Neste ponto da aplicação da metodologia, muitas incertezas referentes ao que o projeto poderia ter de escopo, não-escopo, requisitos técnicos, regulatórios, mercadológicos, estrutura laboratorial, produtos a serem dado foco, tecnologias existentes que podem ser impactantes e conhecimento técnico sobre os módulos e componentes da turbina hidrocinética foram minimizados. Com isso, é possível realizar o último bloco de atividades previstas na metodologia que é a elaboração do mapa tecnológico em si. Baseado no escopo do *TRM*, nas aplicações do *TRM* para produtos tangíveis, e em pontos levantados na entrevista, 4 raias principais serão usadas para a aplicação da ferramenta no contexto de turbinas hidrocinéticas

Iniciando com a raia “Mercado”, inclui negócio e estratégias e assume papel central em *TRM’s* voltados para produtos tangíveis, pois estabelece a conexão entre os requisitos de aplicação real, a viabilidade comercial e a proposta de valor do produto. O posicionamento estratégico de turbinas

fluviais como solução para comunidades ribeirinhas exige que o *roadmap* incorpore critérios como baixo custo, facilidade de instalação e robustez, fatores fundamentais para inserção em nichos de mercado não atendidos.

Subdividida em “Gerador de Energia”, “Difusor”, “Rotores” e “Sistemas” a raia “Tecnologias e Desenvolvimento de Tecnologias” organiza a materialização dos conceitos que definem o produto no centro do *TRM*. Essa decomposição modular dos elementos críticos permite monitorar a evolução técnica, atribuir *TRL's* e priorizar recursos de forma orientada à entrega (Hofer et al., 2019). No projeto em questão, essa raia captura o avanço individual e integrado de subsistemas das turbinas.

A raia de “Habilidades e Competências” busca relacionar a capacitação da equipe em áreas como prototipagem, testes hidrodinâmicos, operação em campo e modelagem computacional. Planejando o desenvolvimento de competências como parte da estratégia de inovação (Santos et al., 2023). Durante a entrevista com membros do projeto, foi destacado que o avanço dos níveis de *TRL* só foi possível pela continuidade de formação técnica e científica, indicando que o *TRM* deve prever o amadurecimento das capacidades humanas e dos dispositivos laboratoriais.

Por fim, a raia de “Pesquisa e Desenvolvimento” representa o ambiente de concepção e validação técnica que precede e alimenta o desenvolvimento dos produtos. Como bem pontuado durante a entrevista, a escolha de geometrias de rotores e difusores, bem como a definição de materiais e estratégias de fabricação, depende fortemente do ciclo de aprendizado em P&D. Assim, essa raia dá suporte às demais, assegurando que o *roadmap* seja construído sobre evidências científicas e dados validados.

Baseado nessa divisão do *TRM*, é possível determinar inicialmente onde estará inserido as turbinas de geração 1 à 3, a HTUC-01, a HK-10 e, por fim, a atual G5. Por serem protótipos de pesquisa, as primeiras gerações da turbina ocupam um estágio mais exploratório na raia de desenvolvimento de habilidades e competências, uma vez que, assim como o congelado projeto da HTUC-01, foi essencial para desenvolver as habilidades técnicas às quais os integrantes da equipe têm hoje, assim como passar esses conhecimentos para as próximas gerações. Já a turbina HK-10 foca em modelos que empregam soluções distintas de acoplamento entre rotor e gerador, visando eficiência e robustez de geração de energia. Isso está alinhado a estratégias de inserção em comunidades ribeirinhas, com foco em baixo custo, fácil instalação e impacto social, o que posiciona essa solução e o sistema integrado que compõe a turbina hidrocinética de geração 5 na parte mais avançada da raia de mercado.

Se por um lado as patentes listadas na Tabela 3, já determinadas em posicionamento no *TRM*, se dividem entre 3 *clusters* e 4 documentos soltos, a conexão entre os artigos científicos e as patentes revela um alinhamento estratégico entre a produção acadêmica e os avanços tecnológicos protegidos por propriedade intelectual. Os estudos de Pizza et al. (2023) e Vaz & Lins (2023) tratam da aplicação

prática de turbinas de pequeno porte com difusores e validação de desempenho em ambientes fluviais oferecendo soluções de mercado alinhadas a nichos de aplicação social e regional, como comunidades ribeirinhas com baixa densidade de carga energética, formando estratégias de entrada comercial e de baixo custo descrita nos *clusters* de patentes relacionados a obras adaptáveis. Estes autores abordam diretamente o aumento do coeficiente de potência (Cp) por meio do *design* geométrico e do controle de fluxo dos difusores e possuem protótipo validado, e aplicação de difusores em sistemas energéticos reais, como Tucuruí.

Quanto à parte de P&D, métodos matemáticos e analíticos para otimização de rotores propostos nos trabalhos de Rio Vaz et al. (2016) e Vaz (2019) contribui para a geometria e aerodinâmica das pás, como as que tratam de defletores variáveis e perfis otimizados. Outra contribuição para a pesquisa sobre os sistemas de turbina hidrocinética inclui as simulações, ensino e exploração conceitual de Fregonese (2018) Já Teixeira (2014), com ênfase em montagem e instalação prática, assim como Silva (2019), traz um estudo experimental sobre difusores e suas habilidades técnicas de instalação, operação e avaliação de sistemas em campo.

Considerando essa análise prévia das contribuições tecnológicas para o *TRM*, a Figura 15 posiciona-as nas raias de sua competência ao longo do tempo. Blocos quadrados indicam patentes e blocos de patentes, blocos quadrados com as pontas arredondadas indicam artigos científicos e os círculos indicam os principais produtos projetados pela equipe da UnB. Blocos com linhas pontilhadas indicam sua projeção futura, como é o exemplo do lançamento comercial da HK-10 e da G5.

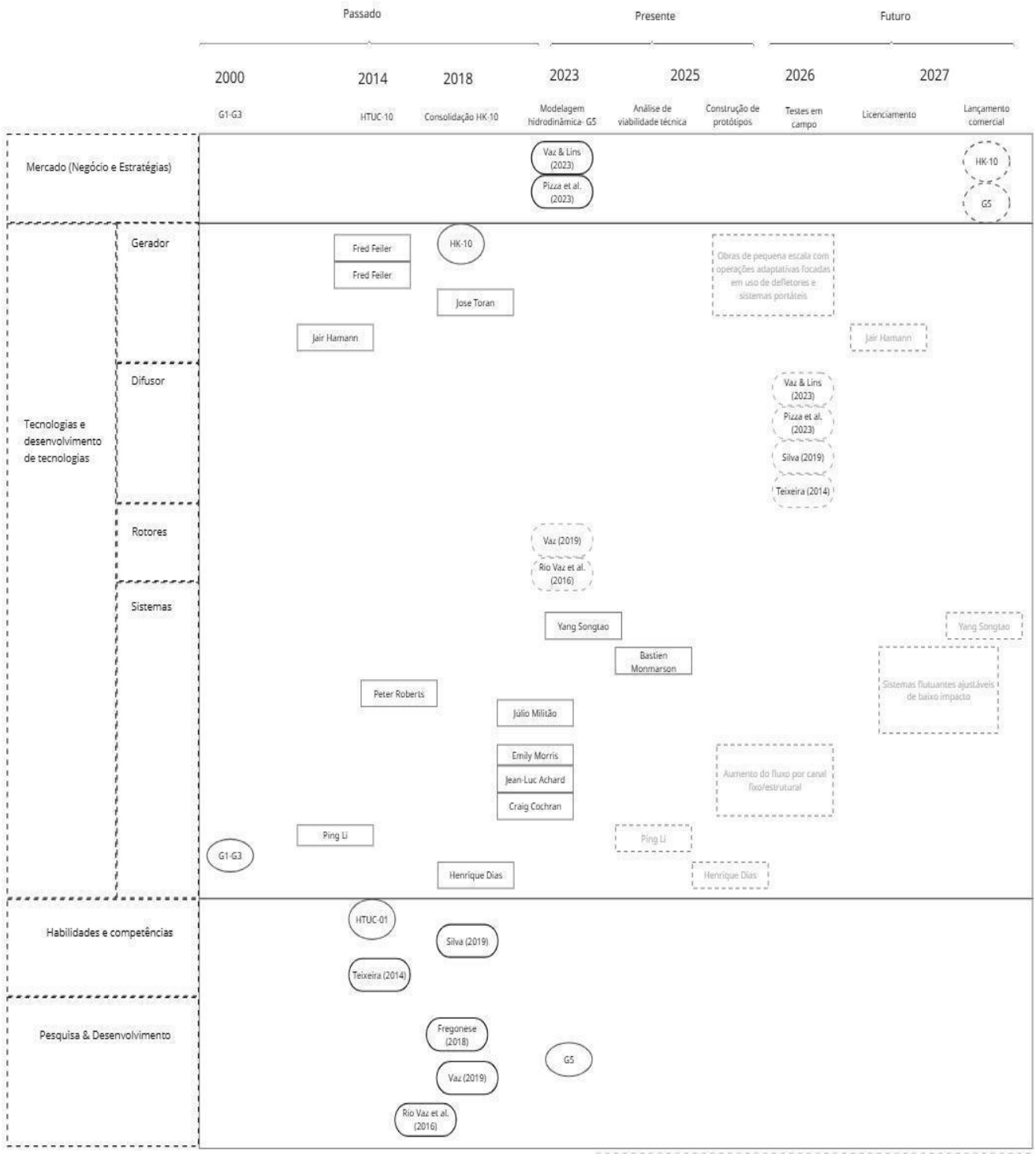


Figura 15 - Posicionamento das informações no *TRM*

Fonte: autoria própria (2025)

Por fim, para fins de identificar a forma como uma contribuição reflete, ou em outra, ou em sua mesma em um horizonte futuro, a Figura 16 define, além do significado dos blocos explicado anteriormente, a separação por cores de cada seta e da sua forma de integrar as informações do mapa a fins de facilitar a criação de insights e identificação de oportunidades e lacunas. Para fins de não poluir visualmente o TRM, as conexões entre os produtos desenvolvidos na UnB não serão interligados entre si. A Tabela 5 apresenta números de identificação para cada patente ou artigo com seu respectivo

hiperlink, focando em diminuir a quantidade de texto no roadmap. Com isso, como produto final desse projeto, a Figura 17 representa o TRM completo incluindo todas as suas informações levantadas e como elas se relacionam ao longo do tempo.

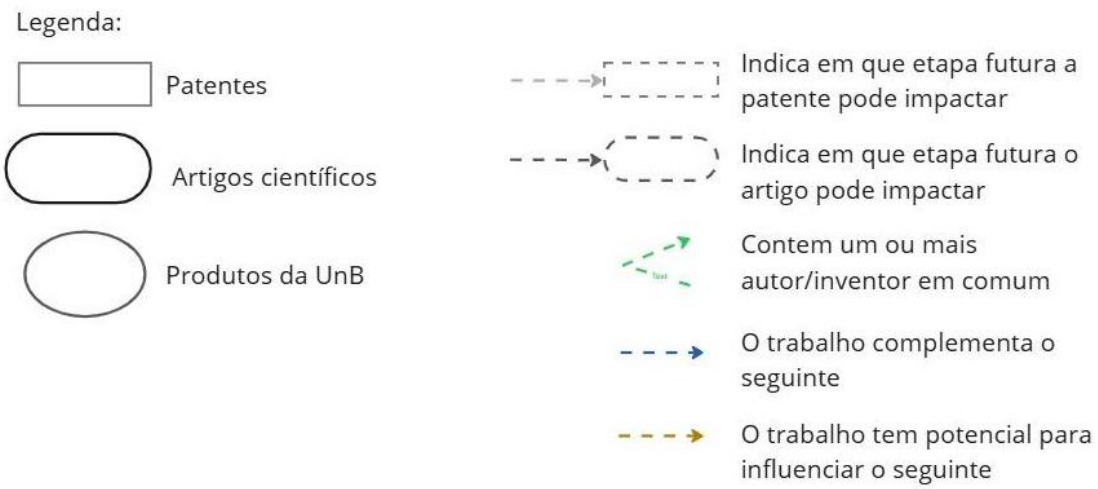


Figura 16 - Legenda do *TRM*

Fonte: autoria própria (2025)

Número	**Autores**	***Link***
1	Henriques Antonio Manoel Dias Sousa Aldo Joao De Campos Clovis De Oliveira Els Rudi Henri Van Balduino Luis Fernando Salomon Lucio Benedito Renno	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/038828795/publication/BRPI0601595A?q=pn%3DBRPI0601595A
2	Cochran Craig J [Us] Morris Emily A [Us] White Madeleine M [Us] Charles Kirk William [Us] Stoesser Thorsten [Gb]	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/065720061/publication/US11591998B2?q=pn%3DUS11591998B2
3	Achard Jean-Luc [Fr] Balarac Guillaume [Fr]	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/061802019/publication/EP3707371A1?q=pn%3DEP3707371A1
4	Monmarson Bastien [Fr] Achard Jean-Luc [Fr]	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/089977634/publication/FR3154699A1?q=pn%3DFR3154699A1
5	Ping Li Li Ping	https://patents.google.com/patent/CN102418649A/zh
6	Feiler Fred John [Us]	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/049114277/publication/US2013236314A1?q=pn%3DUS2013236314A1
7	Visiers De Toran Concepcion [Ve] Toran Jose [Ve]	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/058689850/publication/US2017138331A1?q=pn%3DUS2017138331A1
8	Emily A Morris, Craig J Cochran, Madeleine M White, Kirk William Charles, Thorsten Stoesser	https://patents.google.com/patent/ES2940320T3/en?oq=ES-2940320-T3
9	Fred John Feiler	https://patents.google.com/patent/US9051913B2/en?oq=US-

		9051913-B2
10	Yang Songtao, Li Wencheng, Yang Yi, Yang Chenchuyi, Yang Chenyuhan, Yang Chenyuxin	https://patents.google.com/patent/CN113006012A/en?oq=CN-113006012-A
11	Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão, Antonio Carlos Duarte Ricciotti, Viviane Barrozo Da Silva	https://patents.google.com/patent/BR102019005400A2/en?oq=BR-102019005400-A2
12	Jair Hamann	https://patents.google.com/patent/BRPI1003571A2/en?oq=BRPI1003571A2
13	Peter Roberts	https://patents.google.com/patent/BR112012023409B1/en?oq=BR112012023409B1
14	Giovanni Bracco, Giuliana Mattiazzo	https://webthesis.biblio.polito.it/9375/
15	Pizza, Bruno Pacheco Ramos, Fabricio De Oliveira Amorim, Larissa Bolano Mauricio, Victor Griska	https://repositorio.maua.br/handle/MAUA/548
16	Adry Kleber Ferreira De Lima	https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPA_9c5243bd2ce848a5675527712520c24a
17	Déborah Dias Do Rio Vaz Claudio Cavalcante Blanco Jerson Rogério Pinheiro Vaz André Luiz Amarante Mesquita João Tavares Pinho	https://rbens.org.br/rbens/article/view/61
18	Ricardo Alcântara Gomes Teixeira	https://core.ac.uk/download/pdf/196882215.pdf
19	Déborah Aline Tavares Dias Do Rio Vaz	https://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/11281/1/Tese_AbordagemMatematicaAplicada.pdf
20	Thales Cunha E Silva	https://bdm.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/b0dc4fad-0d66-41ee-8d0c-1990b769a952/content

Tabela 5 - Números de identificação e *links* das patentes e artigos científicos utilizados no *TRM*

Fonte: autoria própria (2025)

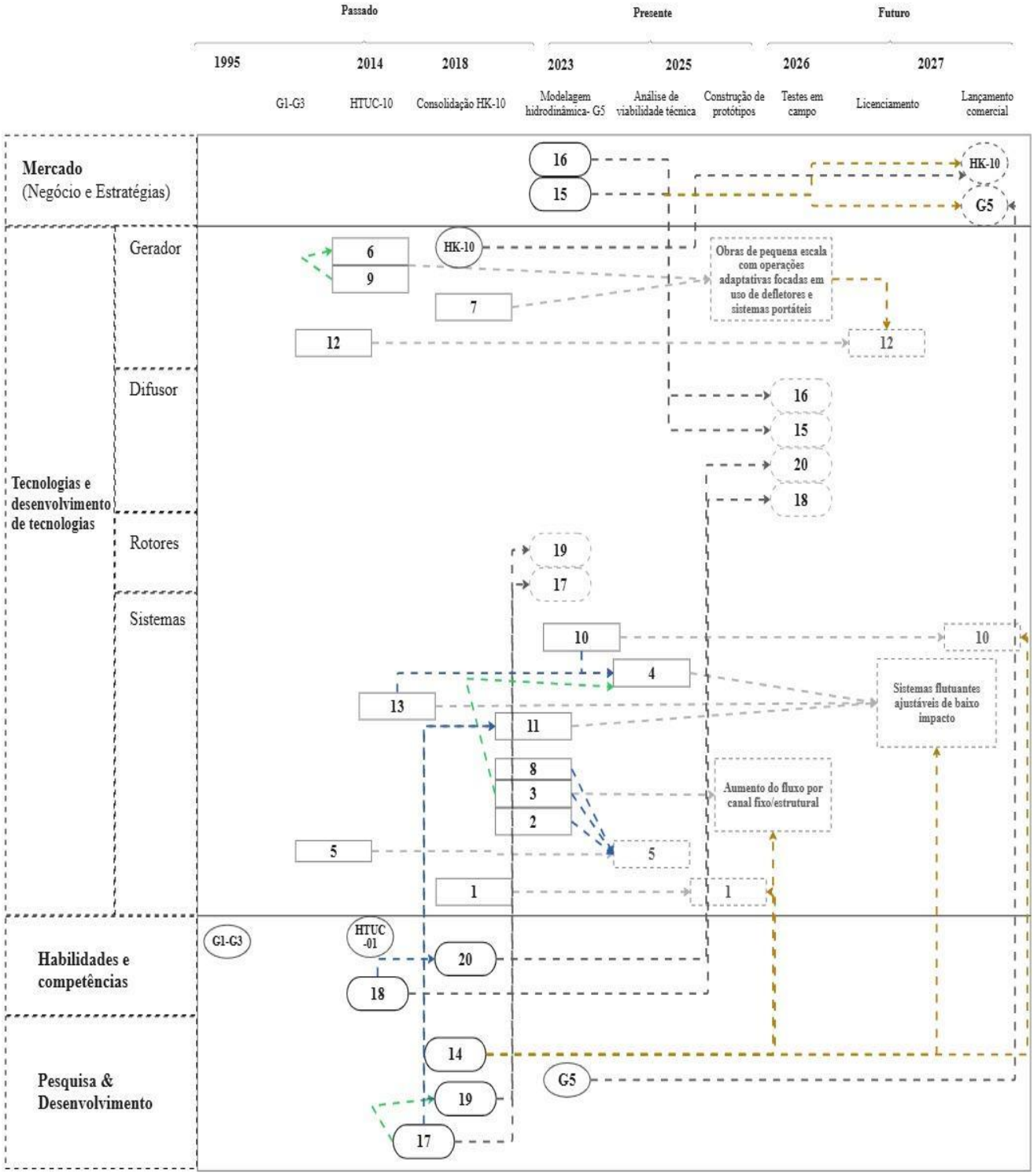


Figura 17 - *Technology Roadmap* para turbinas hidrocinéticas

Fonte: autoria própria (2025)

Alguns *insights* que podem ser úteis para a equipe de projeto da UnB dependem das decisões das mesmas para seu posicionamento futuro no mercado. Quanto à evolução da HK-10, por exemplo, uma observação é que ela está inserida no meio do contexto de inovações voltadas para a geração de energia, foco que teve destaque principalmente na segunda metade da década de 2010. Cabe a equipe que a projetou decidir se seguirá a tendência de Fred Feiler e Jose Toran de trazer melhorias ao gerador

através de condicionamentos no fluxo de água, se seguirá a alternativa de Jair Hamann de diminuir o arrasto da água na região de retorno do gerador, se abordará uma combinação entre um ou dois desses métodos, ou se pretendem inovar algo radicalmente.

Quanto aos espaços mais ociosos do *TRM*, é notável a ausência de patentes que tratem especificamente do rotor e do difusor. Apesar de um número elevado de patentes abordarem todos os elementos da turbina de forma integrada, há ainda poucas propostas de melhoria no mercado voltadas exclusivamente para esses componentes. Dado que são pontos em que a equipe da UnB relatou não ter grandes dificuldades em projetar, seria uma estratégia segura propor novas soluções para essa parte da turbina, baseado nos projetos anteriores, como o da HTUC-01 e da G1-G3, e nos artigos que se encontram nessas duas subdivisões da raia de tecnologias.

Por fim, em se tratando do mais recente projeto de geração 5 da turbina hidrocinética, é possível se apoiar em ideias que estão nascendo junto com o projeto dentro do intervalo de momento presente do mapa para escolher quais tendências são estrategicamente viáveis ou não seguir. Caminhos com soluções mais completas envolvem os *clusters* das patentes que abordam o aumento do fluxo de água por meio de um canal fixo ou estrutural com o acréscimo dos trabalhos complementares de Monmarson Bastien, Peter Roberts e Júlio Militão que envolvem requisitos importantes para a tecnologia que se pretende desenvolver, que é o sistemas ajustável a diferentes velocidades de correnteza e o baixo impacto ambiental.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de tecnologias aplicadas à geração de energia renovável, especialmente voltadas para o atendimento de comunidades isoladas, ainda representa um desafio técnico, estratégico e social. De alguma forma, o atual trabalho auxiliou a organizar o conhecimento e as decisões envolvidas no desenvolvimento de turbinas hidrocinéticas por meio de uma metodologia estruturada. A proposta de aplicar o *TRM* como ferramenta de gestão da inovação em produtos tangíveis, tendo como estudo de caso o projeto coordenado pela Universidade de Brasília revelou tanto os pontos fortes da aplicação do *TRM* quanto as lacunas que ainda persistem na literatura.

A relevância do projeto de turbinas hidrocinéticas foi comprovada em sua capacidade de responder a um problema real de acesso à energia, com impactos sociais e ambientais significativos. Porém, a escolha de se desenvolver um sistema simples, de fácil manutenção e com uso de recursos locais exige um planejamento cuidadoso da inovação. Ao aplicar ferramentas da engenharia de produção e da gestão de tecnologia, é possível equilibrar os elementos técnicos, humanos e mercadológicos do projeto, criando uma trajetória coerente de evolução e tecnologias.

Ao longo da pesquisa bibliográfica, foi possível analisar diferentes aplicações do *TRM* em diversos setores. Essa diversidade reforça a versatilidade da ferramenta, mas também evidencia a carência de modelos específicos voltados para produtos físicos em estágio inicial, como as turbinas hidrocinéticas.Para garantir que os artigos utilizados fossem realmente representativos e relevantes dentro da literatura sobre *roadmaps* tecnológicos, o método do TEMAC permitiu identificar os artigos com maior impacto e recorrência dentro do campo temático, conferindo rigor à seleção e análise dos estudos.

Para combinar o rigor científico necessário com a utilidade prática do projeto, o DSR orientou a criação de uma metodologia robusta e eficaz para ampliar a tomada de decisão da equipe do projeto de turbinas hidrocinéticas da UnB. A referência principal do projeto de turbinas hidrocinéticas (BRASIL, 2022) junto à parte da entrevista que validou as informações formaram uma base concisa para a montagem do *TRM*. Mesmo tendo um curto tempo entre a publicação do livro e o atual trabalho, algumas informações importantes tiveram que ser adicionadas às informações iniciais do projeto.

No que diz respeito ao escopo, ao *know-how* e ao *know-who* do projeto, percebe-se que a equipe da UnB possui um histórico sólido de desenvolvimento técnico e uma boa base de competências internas. No entanto, ainda existem oportunidades de melhoria, especialmente em relação à organização formal do conhecimento acumulado sobre o mercado de turbinas hidrocinéticas. A metodologia

proposta neste trabalho pode justamente servir como guia para articular o capital intelectual com os objetivos estratégicos.

A análise do mercado de patentes revelou um cenário rico em inovações sobre turbinas hidrocinéticas, mas também indicou áreas de lacunas tecnológicas. A ausência de registros com foco exclusivo em elementos como rotores e difusores pode representar uma oportunidade para a equipe da UnB atuar com diferencial competitivo, mesmo que o principal desafio do projeto seja o gerador de energia. Por outro lado, o alto volume de patentes concedidas por países com forte tradição em pesquisa e desenvolvimento evidencia a necessidade de refinar estratégias de propriedade intelectual para garantir a proteção e valorização do conhecimento gerado no Brasil.

A organização das patentes e artigos por *clusters*, realizada neste trabalho, contribuiu para tornar o *TRM* mais inteligível e objetivo. Esse agrupamento possibilitou visualizar as áreas prioritárias de desenvolvimento e as lacunas ainda não exploradas. Já a escolha por incluir no *roadmap* tecnologias em diferentes estágios de maturidade, como patentes concedidas ou não e artigos com ou sem aplicação, proporcionou uma visão mais abrangente do horizonte tecnológico no futuro, algo que em poucos estudos sobre o *TRM* na literatura foi abordado.

Entre os principais *insights* estratégicos, destaca-se o caso da HK-10, que está inserida em um momento-chave da curva de desenvolvimento de turbinas com foco no gerador de energia, onde os desenvolvedores podem seguir linhas de otimização do fluxo, como as de Fred Feiler, de redução de arrasto, como a de Jair Hamann, ou ainda propor abordagens disruptivas. Já a G5, por estar sendo desenvolvida em paralelo ao *roadmap*, tem a vantagem de incorporar desde o início tendências tecnológicas validadas, como soluções ajustáveis a diferentes vazões e de baixo impacto ambiental.

Por fim, os objetivos do trabalho foram plenamente atingidos: foi possível aplicar uma metodologia de *TRM* adaptada a produtos tangíveis e, a partir da análise de convergências e divergências nos *TRM's* existentes, na avaliação de pontos críticos para o projeto e na elaboração de uma metodologia padrão para esse tipo de produto final, validar e aplicar essa ferramenta no contexto de geração de energia hidrocinética. Como trabalhos futuros, recomenda-se expandir sua aplicação a outros produtos físicos, ajustar sua manutenção ao longo do desenvolver do projeto de turbinas hidrocinéticas, testar sua aplicação em ambientes industriais reais e buscar automatizar etapas da metodologia proposta por meio de outras ferramentas que integre as entradas e saídas de cada atividade necessária para a elaboração do *TRM*.

6 BIBLIOGRAFIA

Abuseem, A. J.; Alzaabi, Y. J.; Alhammadi, A. H.; Dweiri, F. T.; Ubaid, A. M. (2020, March). Technology mapping: Definitions, types, and applications. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, (March), pp. 377-386.

Akoum, M.; Abdallah, D.; Grandi, A. (2019, October). Technology Management System TechRoad for a Technology Driven Company. SPE Gas & Oil Technology Showcase and Conference, p. D022S028R001.

Almeida, D. P. F. (2016, October). Tools for strategic management of postharvest technology: an application to the Portuguese pear industry. III International Symposium on Horticulture in Europe-SHE2016, 1242, pp. 231-238.

Assunção, L. R.; Mendes, P. A.; Matos, S.; Borschiver, S. (2021). Technology roadmap of renewable natural gas: Identifying trends for research and development to improve biogas upgrading technology management. Applied Energy, 292, 116849.

Blunden, L. and Bahaj, A. [2006]. Initial evaluation of tidal stream energy resources at portland bill, uk, Renewable Energy 31(2): 121–132.

Barip, S.; Altun, K. (2022). A novel approach based on type-2 fuzzy sets to augment technology roadmaps. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University.

BRASIL JUNIOR (2022), Antonio Cesar Pinho et al. (org.) Turbinas hidrocinéticas fluviais: tecnologias, potencial hidrocinético e impactos ambientais. Brasília: Casa 73, 2022. 512 p., il.

Carreiro Santos, R.; Pinheiro de Lima, E.; Gouvea da Costa, S. E.; Ribeiro da Silva, E. H.; Deschamps, F. (2022). A Decision-Aiding Procedure for the Selection of Manufacturing Technologies. International Conference on Production Research, pp. 40-46. Cham: Springer Nature Switzerland.

Daim, T. U.; Oliver, T.; Phaal, R. (2018). Technology roadmapping improvement through an add-on process: Presentation and initial application. Technology Roadmapping 2, pp. 383–424. https://doi.org/10.1142/10859.

De Weck, O. L. (2022). Technology roadmapping and development: A quantitative

approach to the management of technology. Springer Nature.

ELSEVIER. Scopus: Content Coverage Guide. Disponível em: https://www.elsevier.com/solutions/scopus/how-scopus-works/content.

Flatscher, M.; Riel, A.; Kösler, T. (2014). The need for a structured approach towards production technology roadmaps in innovation-driven industries. EuroSPI 2014, Luxembourg, June 25–27, pp. 251–261.

Fregonese, S. (2018). Analysis of Hydrokinetic Turbines for application in Congo (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).

Ghaffari, M.; Aliahmadi, A.; Khalkhali, A.; Zakery, A.; Daim, T. U.; Yalcin, H. (2023). Topic-based technology mapping using patent data analysis: A case study of vehicle tires. Technological Forecasting and Social Change, 193, 122576.

Gładysz, B.; Corti, D.; Montini, E. (2021). Forecasting the development of RFID technology. Management and Production Engineering Review, 12(1).

Gorlov, A. [1988]. Development of the helical reaction hydraulic turbine, techreport DE-FG01-96EE 15669, US Department of Energy.

GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE – GAO. (2020). Technology Readiness Assessment Guide – Best Practices for Evaluating the Readiness of Technology for Use in Acquisition Programs and Projects. Washington, D.C.: GAO.

HEVNER, A. R. et al. (2004). Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly, 28(1), 75–105.

Ho, J. Y.; O'Sullivan, E. (2020). Toward integrated innovation roadmapping: lessons from multiple functional roadmaps beyond technology R&D. IEEE Transactions on Engineering Management, 69(1), 155–167.

Hofer, A.; Schnell, J.; Beck, B.; Reinhart, G. (2019). Potential-based technology planning for production companies. Procedia CIRP, 81, 1400–1405.

Holmes, C.; Ferrill, M. (2008). A process for the update and review of operation and technology roadmaps. International Journal of Innovation and Technology Management, 5(02), 247–258.

Huang, J. Y.; Lee, C. L. (2024). A network-based method for constructing a technology roadmap. International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications

and Practice, 31(2).

Jeong, Y.; Jang, H.; Yoon, B. (2021). Developing a risk-adaptive technology roadmap using a Bayesian network and topic modeling under deep uncertainty. Scientometrics, 126(5), 3697–3722.

Khan, M., Bhuyan, G., Iqbal, M. and Quaicoe, J. [2009]. Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review, Applied Energy 86(10): 1823–1835.

Kim, S.; Choi, C. (2018). Strategic technology roadmapping for inter-ministry R&D cooperation. International Journal of Technology Management, 76(3–4), 236–257.

Kim, S.; Jang, H.; Yoon, B. (2023). Developing a data-driven technology roadmapping method using generative adversarial network (GAN). Computers in Industry, 145, 103835.

Knoll, D.; Golkar, A.; De Weck, O. (2018). A concurrent design approach for model-based technology roadmapping. 2018 IEEE International Systems Conference (SysCon), pp. 1–6.

Kompis, C.; Malek, K. (2016). Fuel cell modeling strategic roadmap: A systematic approach. Fuel Cells, 16(6), 760–770.

Lu, H.; You, H. (2018). Roadmap modeling and assessment approach for defense technology system of systems. Applied Sciences, 8(6), 908.

Malinga, L.; Strauss, A.; Letaba, P.; Pretorius, M. W. (2022). Technology roadmapping and 4IR in defence: Case of command and control systems. 2022 IEEE ICE/ITMC & IAMOT Joint Conference, pp. 1–8.

Mariano, A. M.; Santos, M. R. (2017). Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora. AEDEM International Conference, September, pp. 427–443.

Matani, B.; Shirazi, B.; Soltanzadeh, J. (2019). F-MaMcDm: Sustainable green-based hydrogen production technology roadmap using fuzzy multi-aspect multi-criteria decision-making. International Journal of Innovation and Technology Management, 16(08), 1950057.

Phaal, R.; Farrukh, C.; Probert, D. (2001). T-Plan: Fast start to Technology Roadmapping – Planning your route to success. Cambridge: University of Cambridge, Institute for Manufacturing.

PEFFERS, K. et al. (2007). A design science research methodology for information systems research. Journal of Management Information Systems, 24(3), 45–77.

Perez, M. R. (2016, May). Technological challenges on the path to discovery in astrophysics. Micro-and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications VIII, 9836, pp. 36–41.

Petrick, I. J.; Echols, A. E. (2004). Technology roadmapping in review: A tool for making sustainable new product development decisions. Technological Forecasting and Social Change, 71(1–2), 81–100.

Pizza, B. P.; Ramos, F. D. O.; Amorim, L. B.; Mauricio, V. G. (2023). Turbina hidrocinética de pequena escala para geração de energia em rios.

Romanski, B.; Daim, T. (2019). A technology roadmap to uncontested market space using autonomous vehicles. IEEE Engineering Management Review, 47(1), 67–76.

Santos, R. C.; de Lima, E. P.; Deschamps, F.; da Costa, S. E. G.; da Silva, E. R.; Martinho, J. L. (2023). Selection of manufacturing technologies in the context of digital transformation: a systematic review. IEEE Engineering Management Review, 51(1), 143–163.

Santos, R. C.; de Lima, E. P.; da Costa, S. E. G.; Deschamps, F. (2021). Selection of Industry 4.0 Technologies: A Research Agenda. IIE Annual Conference. Proceedings, pp. 145–150.

Sareminia, S.; Hasanzadeh, A.; Elahi, S.; Montazer, G. (2019). Developing Technology Roadmapping Combinational Framework by Meta Synthesis Technique. International Journal of Innovation and Technology Management, 16(02), 1950019.

SHREEJITH, T. V. (2021). Technology roadmap models for liquid propulsion system development for Indian Space Programme. International Astronautical Federation, IAF, Volume C4.

SILVA, T. C. (2019). Estudo experimental do ângulo de abertura de difusores cônicos em um microgerador eólico.

Silvello, G. C.; Alves, A. D. S.; Alcarde, A. R. (2020). Integrated technology roadmapping in startups: a case study of an AgTech in the Cachaça industry. Scientia Agricola, 78(5), e20190343.

Teixeira, R. A. G. (2014). Montagem e instalação de turbinas hidrocinéticas.

Valentim Rocha, G.; Pereira Mello, C. H. (2016). How to develop technology roadmaps? The case of a Hospital Automation Company. Production/Produção, 26(2).

VAZ, J. R. P. (2019). Uma abordagem matemática aplicada ao projeto de turbinas hidrocinéticas e eólicas com difusor utilizando a teoria do elemento de pá.

VAZ, J. R. P.; LINS, E. F. (2023). Estudo da eficiência de uma turbina hidrocinética com difusor projetada para o aproveitamento da energia remanescente da barragem de Tucuruí.

VEIGA, T. B.; COUTINHO, S. S.; TAKAYANAGUI, A. M. M. (2013). Aplicação da técnica Delphi na construção de indicadores de sustentabilidade. Fórum Ambiental da Alta Paulista, 9(4).

Vishnevskiy, K.; Karasev, O.; Meissner, D. (2015). Integrated roadmaps and corporate foresight as tools of innovation management: the case of Russian companies. Technological Forecasting and Social Change, 90, 433–443.

Wang, Y. H. (2024). Exploring Technology-Driven Technology Roadmaps (TRM) for Wearable Biosensors in Healthcare. IRBM, 45(3), 100835.

Zhu, Z.; Sun, Y.; Zhou, X. (2023). Technological Management Innovation: A Combination of Technology Roadmap and Wargame. 2023 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), Vol. 1, pp. 1–6.

Zupone, G. L., Amelio, M., Barbarelli, S., Florio, G., Scornaienchi, N. M. and Cutrupi, A. [2017]. Lcoe evaluation for a tidal kinetic self balancing turbine: Case study and comparison, Applied Energy 185: 1292–1302.

ANEXO I - Análise de patentes e artigos científicos

Título	Inventores / Autores	Empresa	Data de publicação
Sistema Flutuante De Geração De Energia Elétrica	Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão, Antonio Carlos Duarte Ricciotti, Viviane Barrozo Da Silva	Usina Termelétrica Norte Fluminense S/A, Centro De Gestão De Tecnologia E Inovação - Cgti, Jordão Consultoria E Projetos Ltda	2020-09-29
Dispositivo E Processo Para Gerar Eletricidade	Peter Roberts	VERDERG LTD	2012-09-17
Turbina Hidrocinética	Henriques Antonio Manoel Dias Sousa Aldo Joao De Campos Clovis De Oliveira Els Rudi Henri Van Balduino Luis Fernando Salomon Lucio Benedito Renno	UNIV BRASILIA FUNDACAO [BR]	2007-12-18
Gerador Hidrocinético De Energia Mecânica	Jair Hamann	Jair Hamann	2013-02-26
Floating Type Turbine Hydroelectric Generation Small-Sized Base Station	Yang Songtao, Li Wencheng, Yang Yi, Yang Chenchuyi, Yang Chenyuhan, Yang Chenyuxin	杨松涛	2021-06-22
Water-Work-Free Water Power Development Method And Electricity Generation Equipment	Ping Li Li Ping	PING LI LI PING	2012-04-18
Floating Hydroelectric Power Plant For Shallow Rivers	Achard Jean-Luc [Fr] Balarac Guillaume [Fr]	CENTRE NAT RECH SCIENT [FR] INST POLYTECHNIQUE GRENOBLE [FR]	2021-08-18
Hydroelectric Transition Systems And Methods Of Using Them	Emily A Morris, Craig J Cochran, Madeleine M White, Kirk William Charles, Thorsten Stoesser	Emrgy Inc	2023-05-05
Centrale Hydroélectrique Flottante Pour Cours D'eau Et Procédé De Maintenance D'une Telle Centrale	Monmarson Bastien [Fr] Achard Jean-Luc [Fr]	CENTRE NAT RECH SCIENT [FR] INST POLYTECHNIQUE GRENOBLE [FR] UNIV GRENOBLE ALPES [FR]	2025-05-02
Portable Hydroelectric Kinetic Energy Conversion Device	Fred John Feiler	Fred John Feiler	2015-06-09

Título	Inventores / Autores	Empresa	Data de publicação
Portable Hydroelectric Kinetic Energy Conversion Device	Feiler Fred John [Us]	FEILER FRED JOHN [US]	2013-09-12
Variable Area Blade Turbine And Conditioning Flow Deflectors Device And Method	Visiers De Toran Concepcion [Ve] Toran Jose [Ve]	CORPORACION ANDINA DE FOMENTO [VE]	2017-05-18
Hydro Transition Systems And Methods Of Using The Same	Cochran Craig J [Us] Morris Emily A [Us] White Madeleine M [Us] Charles Kirk William [Us] Stoesser Thorsten [Gb]	EMRGY INC [US]	2023-02-28
Analysis Of Hydrokinetic Turbines For Application In Congo	Giovanni Bracco, Giuliana Mattiazzo	Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Ingegneria Meccanica	2018
Turbina Hidrocinética De Pequena Escala Para Geração De Energia Em Rios	Pizza, Bruno Pacheco Ramos, Fabricio De Oliveira Amorim, Larissa Bolano Mauricio, Victor Griska	CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA Escola de Engenharia Mauá	2023
Estudo Da Eficiência De Uma Turbina Hidrocinética Com Difusor Projetada Para O Aproveitamento Da Energia Remanescente Da Barragem De Tucuruí	Adry Kleber Ferreira De Lima	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ INSTITUTO DE TECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA - PRODERNA	5/15/2023
Uma Extensão Do Método Bem Aplicada Ao Projeto De Rotores Hidrocinéticos De Eixo Horizontal	Déborah Dias Do Rio Vaz Claudio Cavalcante Blanco Jerson Rogério Pinheiro Vaz André Luiz Amarante Mesquita João Tavares Pinho	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ	11/30/2016
Montagem E Instalação De Turbinas	Ricardo Alcântara Gomes Teixeira	Universidade de Brasília - FACULDADE DE	12/3/2014

Título	Inventores / Autores	Empresa	Data de publicação
Hidrocinéticas		TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA	
Uma Abordagem Matemática Aplicada Ao Projeto De Turbinas Hidrocinéticas E Eólicas Com Difusor Utilizando A Teoria Do Elemento De Pá	Déborah Aline Tavares Dias Do Rio Vaz	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia	4/30/2019
Estudo Experimental Do Ângulo De Abertura De Difusores Cônicos Em Um Microgerador Eólico	Thales Cunha E Silva	Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua	12/13/2019

Tipo de informação	Foco a ser explorado / diferencial	Base de dados	Classificação do documento	Posicionamento no marco temporal
Aplicação de patente de invenção	Sistema de geração hidrelétrica flutuante que utiliza um gerador elétrico de ímã permanente de fluxo axial (AFPM) combinado com um conversor hidrocinético de fluxo cruzado flutuante	INPI	Em processo de aplicação	Lançamento comercial
Patente de inovação	Conversor de energia marinha espectral (SMEC), um sistema projetado para converter energia de ondas, marés ou correntes em um corpo de água em eletricidade	INPI	Concedido	Licenciamento
Aplicação de patente de invenção	turbina hidrocinética que converte a energia cinética do fluxo de água nos rios em energia elétrica	INPI	Em processo de aplicação	Construção de protótipos
Aplicação de patente de invenção	gerador de energia mecânica hidrocinética projetado para operar em uma jangada flutuante em rios ou córregos	INPI	Em processo de aplicação	Licenciamento
Aplicação de patente de invenção	pequena estação base de energia hidráulica de turbina flutuante	Google Patents	Em processo de aplicação	Lançamento comercial
Aplicação de patente de invenção	método para desenvolver projetos hidrelétricos "sem água" e seus equipamentos associados, que envolve a suspensão de unidades de geração de energia hidrocinética em rios naturais para converter diretamente a energia cinética do fluxo de água natural em energia mecânica	ESPACENET	Em processo de aplicação	Estudo de viabilidade técnica

	para geração de energia			
Patente de inovação	usina hidrelétrica flutuante projetada especificamente para rios rasos	ESPACENET	Concedido	Testes em campo
Patente de inovação	sistemas e métodos de transição hidrelétrica projetados para manipular a velocidade e a direção do fluxo de fluido em uma hidrovia	Google Patents	Concedido	Construção de protótipos
Aplicação de patente de invenção	usina hidrelétrica flutuante para cursos d'água, especialmente rios rasos	ESPACENET	Em processo de aplicação	Lançamento comercial
Patente de inovação	Dispositivo portátil de conversão de energia cinética hidrelétrica para geração de eletricidade a partir de fluxos de água, particularmente em correntes de velocidade moderada	Google Patents	Concedido	Construção de protótipos
Patente de inovação	Dispositivo portátil de conversão de energia cinética hidrelétrica que usa turbinas de fluxo axial horizontal para posicionamento de corrente cruzada e rápida implantação e remoção	ESPACENET	Concedido	Testes em campo
Aplicação de patente de invenção	A invenção apresenta um dispositivo modular para geração de energia baseado em uma turbina acionada por fluido, especificamente turbinas de fluxo tangencial com eixo vertical, projetadas para serem total ou parcialmente imersas	ESPACENET	Em processo de aplicação (porém divide conteudos similares com a concedida US9051913B2)	Construção de protótipos
Patente de inovação	abrange sistemas e métodos de transição hidráulica para geração de energia hidrelétrica. Ela descreve um sistema que redireciona e acelera o fluxo de água através de uma estrutura para uma turbina, aumentando assim a geração de energia. Semelhante a ES2940320T3	ESPACENET	Concedido	Construção de protótipos
Estudo de casos	Avaliação de turbinas para o rio Congo	Google Scholar	Artigo sem aplicação prática	Estudo de viabilidade técnica
Projeto e construção de protótipo	Desenvolvimento de turbina de pequena escala para rios.	Google Scholar	Validação experimental	Construção de protótipos
Análise de projeto / Simulação computacional	Estudo da eficiência com difusor aplicado à barragem de Tucuruí	Google Scholar	Artigo sem aplicação prática	Modelagem hidrodinâmica

Modelo matemático	Projeto de rotores de eixo horizontal peração estendida a razões de velocidade menores que 2m/s	Google Scholar	Artigo sem aplicação prática	Etapa inicial do projeto
Manual técnico com estudo aplicado do projeto de turbina hidrocinética de Tucunaré	procedimento técnico para o transporte, para a montagem e para a instalação desta turbina	Google Scholar	Abordagem prática	Testes em campo
Modelo matemático	Projeto com difusor baseada na teoria do elemento de pá	Google Scholar	Artigo sem aplicação prática	Etapa inicial do projeto
Estudo experimental	ângulo de abertura de difusores cônicos	Google Scholar	Validação experimental	Testes em campo

Usa difusor cônico traseiro?	**Estrutura submersível?**	**Compatível com variações de fluxo?**	**Fácil instalação?**	**Fácil manutenção?**	**Custo de produção**	**Resistente à corrosão?**
N/A	Sim	Sim	Sim	Sim	Baixo	N/A
Não	Sim	Sim	N/A	N/A	Alto	Sim
Sim	Sim	Sim	Sim	N/A	N/A	N/A
Não	Não	Sim	Sim	N/A	Baixo	N/A
Não	Sim	N/A	Sim	Sim	Baixo	N/A
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Baixo	N/A
Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Baixo	Sim
Sim	Sim	Sim	N/A	N/A	N/A	Sim
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Médio	N/A
Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Baixo	N/A
Sim	Sim	Sim	Sim	N/A	Médio	N/A
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Baixo	Sim
Sim	Sim	Sim	N/A	N/A	Baixo	Sim
N/A	Sim	Sim	N/A	N/A	Médio	N/A
Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Baixo	N/A
Sim	Sim	Sim	Não	N/A	Médio	N/A
Não	N/A	Sim	N/A	N/A	Baixo	N/A
N/A	Sim	Sim	Sim	Sim	Médio	Sim
Sim	N/A	Sim	Não	N/A	Baixo	N/A
Sim	Não	N/A	N/A	N/A	Baixo	N/A

ANEXO II - Entrevista com representante do

projeto de turbina hidrocinética da UnB

1. De forma resumida, como você definiria o escopo e o objetivo geral do projeto?

R.: É um projeto que tem como objetivo o aprimoramento de turbinas fluviais com o escopo de atender regiões que não são atendidas por sistemas energéticos convencionais.

2. Quais são as formações dos integrantes da equipe técnica envolvida neste projeto?

R.: É uma equipe multidisciplinar composta majoritariamente por engenheiros mecânicos, alguns poucos engenheiros eletricista, um técnico e doutor de engenharia mecânica, e por questão de análise de impacto ambiental tem uma geóloga que faz visita às comunidades isoladas para a instalação das turbinas.

3. As competências da equipe foram desenvolvidas de experiências em outros projetos anteriores? Poderia citar exemplos?

R.: Todos os projetos anteriores estão relacionados à UnB. Na década de 90 e anos 2000 teve a Geração 1, 2 e 3, depois teve a turbina de Tucunaré (HTUC-01) que só ficou no papel, depois teve a HK-10 que foi a última que a UnB desenvolveu e agora a turbina nova do laboratório é a G5. Boa parte dos integrantes trabalha desde os primeiros projetos da UnB, mas os conhecimentos dos projetos anteriores são passados para os novos integrantes.

4. Quanto às parcerias com outras universidades e empresas como a SEFAC e a Finatec, de que forma elas colaboram em etapas como modelagem numérica, construção de protótipos e teste?

R.: A UFPA colabora em conjunto com a UnB nas principais etapas (simulação, captação de recursos, design, testes, estudos em campo) As outras universidades, como o ISEN (Institut Supérieur de l'Électronique et du Numérique) e empresas entram com, estudos em laboratório, testes de simulação e design

5. Quais competências técnicas, tecnologias ou estruturas laboratoriais você considera que ainda são necessárias para avançar no projeto?

R.: O gargalo atual é a construção da manufatura do gerador da turbina. Estamos comprando o gerador da França, mas ele é caro, difícil de trabalhar e demora para chegar no Brasil.
Então um objetivo para um futuro distante é ter as tecnologias necessárias para fazer o gerador, talvez até embutido na carcaça da turbina para minimizar o tamanho dela.

6. Existe alguma parceria ou apoio que seria estratégico para preencher essas lacunas?

R.: Em termos de laboratório, há uma parceria recente (fevereiro ou março de 2025) com o IPT-SP da USP que tem o principal tanque de ensaio da América Latina, que é um canal de água onde é possível instalar as turbinas e fazer os testes. Com isso, estamos tentando resolver esse gargalo.

7. Quais turbinas já foram aplicadas em campo?

R.: G1, G2, G3 e HK-10.

8. No caso da HTUC-01, quais validações ainda precisam ser feitas antes da implantação em uma comunidade real?

R.: O projeto da HTUC parou na validação de componentes e não foi dado prosseguimento desde então.

9. Quanto aos requisitos técnicos (Componentes eletromecânicos confiáveis, uso de difusor cônico traseiro, estrutura submersível (carcaça protetora contra detritos), coeficientes de potência, Cp otimizados, robustez estrutural, resistência à corrosão, compatibilidade com variações de fluxo, capacidade de operar com velocidade máxima de escoamento de até 2 m/s) quais são considerados mais importantes para o projeto? Há algum outro requisito que deve ser levado em consideração?

R.: Geralmente essas turbinas têm um grande requisito que é o diâmetro delas que é definido pelo calado do rio que é a altura do fundo do rio até a superfície. Dentre esses que foram citados, a velocidade de escoamento e o uso do difusor são bem importantes. A potência da máquina está atrelado ao diâmetro da máquina, então é um trade-off importante a ser considerado.

10. Quanto às exigências mercadológicas (modularidade e escalabilidade para diferentes potências, baixo custo de produção, facilidade de instalação, viabilidade técnica e econômica ajustada a contextos de baixo retorno financeiro direto e simplicidade de manutenção) Há alguma outra que deve ser levada em consideração?

R.: Nada a acrescentar. Só ressaltando que na análise de viabilidade no setor de energias se usa um parâmetro chamado de LCOE (Levelized Cost of Energy). Recomendo dar uma olhada, porque geralmente é muito usado nesse tipo de estudo. Basicamente, a gente diz quanto custa o Kilowatt gerado por cada tecnologia, então quanto menor, mais viável. Então quando se compara fontes de energias isso é levado em consideração.

11. Quanto às exigências regulatórias, há algo a acrescentar além das diretrizes da ANEEL?

R.: Não há regulamentação para esse tipo de máquina. A gente segue as diretrizes da ANEEL que é o global para todo sistema de geração de energia.

12. Atualmente, o projeto se encontra em fase de modelagem hidrodinâmica e análise de viabilidade técnica, correto? Quanto às etapas futuras, construção de protótipos, testes em campo, licenciamento e lançamento comercial, já há uma estimativa de conclusão das mesmas?

R.: A fabricação de protótipos já está em andamento e, em um cenário otimista, até o final do ano essa parte do protótipo já estará feita e irá para campo no primeiro semestre de 2026 para teste, tentando chegar em um *TRL* perto de 7.

13. Existem tecnologias, conhecimentos ou designs importantes para o projeto que não estão protegidos por patentes, mas que devem ser levados em consideração? Em que tipo de documentos é possível pesquisar mais sobre além de artigos e patentes (ex.: normas técnicas,, manuais de fabricantes, etc.)?

R.: Não. Não tem prateleira ainda, apenas pesquisa. Até tem alguns fabricantes que dizem que vendem, mas ao conversar com eles, falam que é necessário desenvolver um projeto para instalação que vai levar mais tempo ainda, ou seja, ainda está em nível de pesquisa.

14. Quais componentes e módulos você considera mais importantes para o bom funcionamento da turbina?

R.: A grosso modo, a turbina tem 3 divisões: rotor (pás que convertem a energia da água para potência de eixo), difusor (vai aumentar a eficiência) e o conjunto que vai transformar a potência de eixo em potência de gerador, isso envolve a caixa multiplicadora, que não é um problema pois tem muito no mercado, e o gerador, como eu já falei, é um gargalo tecnológico porque é difícil conciliar a velocidade que o rotor consegue girar com a necessidade de geração do gerador para gerar a energia que você precisa. Esse casamento de velocidades é um desafio quando se pega um gerador de prateleira, principalmente pelo tamanho.