

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA UTILIZANDO A ANÁLISE
MULTICRITÉRIO E TÉCNICAS BIBLIOMÉTRICAS: ESTUDOS DE
CASO PARA O SETOR DE DEFESA**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Defesa – Mestrado

Autora: Fernanda Castello Branco Madeu

Orientador: Paulo César Pellanda

Coorientador: Aderson Campos Passos

Avaliadores: Prof^a Suzana Borschiver, DSc. da UFRJ

General Juraci Ferreira Galdino, Dr. do IME

RESUMO

Este trabalho apresenta um novo método quantitativo de prospecção tecnológica para apoio à tomada de decisão na área de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I). O objetivo principal é priorizar tecnologias de uma determinada área, com base em um método multicritério conhecido como Processo de Análise Hierárquica (AHP – *Analytic Hierarchy Process*). A ideia é utilizar um novo conjunto de critérios que consideram parâmetros quantitativos relacionados a métricas bibliométricas de patentes, ao ciclo de vida tecnológico e a uma medida do alinhamento entre as tecnologias e os objetivos estratégicos da organização que deseja priorizá-las. Como resultado, é gerada uma lista ordenada das tecnologias, indicando aquelas mais promissoras considerando-se o seu alinhamento com a organização e a sua difusão. O método proposto é aplicado a um estudo de caso de priorização de tecnologias na área de materiais de carbono para o Exército Brasileiro (EB). O mesmo método também é aplicado a outro estudo de caso para a priorização de convênios em CT&I para o Departamento de Ciência e Tecnologia do EB, com algumas alterações nos critérios, fornecendo uma ordenação das potenciais

organizações parceiras, considerando, também, o *know-how* de cada uma delas nas áreas científico-tecnológicas de interesse do EB. As listagens finais mostram que as três principais tecnologias são grafeno, grafite expandido e piche de petróleo e os três principais convênios são com dois países da América do Norte e um da Ásia — as duas listagens mostraram-se coerentes com os critérios estabelecidos, considerando a instituição em questão (EB). Concluiu-se que tanto para a priorização de tecnologias, quanto de convênios em CT&I, o AHP e as técnicas bibliométricas se mostraram úteis e sua combinação se apresentou como uma forte ferramenta de prospecção tecnológica para apoio a decisão envolvendo a área de CT&I.

Palavras chave: *Prospecção tecnológica. Análise multicritério. AHP. Patentes.*

1 INTRODUÇÃO

A prática da antecipação, antevisão, ou previsão do futuro com o intuito de diminuir o risco das decisões a serem tomadas sempre existiu na sociedade. Muitos filósofos, como Agostinho de Hippona (354-430), ou Santo Agostinho, David Hume (1711-1776), Reinhart Koselleck (1926-2006), Immanuel Kant (1724-1804) e, Friedrich Hegel (1770-1831) já discutiram essa questão, indagando se é possível ou não prever o futuro. Contudo, a filosofia não responde definitivamente se é possível para o homem prever o futuro, porém, deixa em aberto esta possibilidade, podendo-se inferir que os estudos do futuro podem ser uma ferramenta para guiar as ações a serem adotadas pelo homem (MADEU, 2019; FREITAS, 2013).

Ou seja, é evidente que nossas ações influenciam o futuro, porém, o mais importante é reconhecer que podemos agir conscientemente para influenciar o futuro nas direções em que desejamos que ele evolua.

Atualmente, vive-se uma nova estrutura social. Percebe-se uma inflexão entre a simplicidade da fase industrial e a complexidade da nova sociedade – a era do conhecimento – sobretudo em razão da expressiva e crescente valorização da inovação. Somado a isso, a globalização das economias mundiais está tornando ainda mais complexo o planejamento das organizações, agravando as incertezas sobre o ambiente de inovação, seja ele público ou privado. Em um período de volatilidade e transição, todas as instituições anseiam por uma visão do futuro, mas a antecipação do futuro é estéril, a menos que seja acompanhada por planos de ação sistemáticos, bem fundamentados e abrangentes (MADEU, 2019; GODET, 2006).

Nessa esteira, a constante atualização de tecnologias e processos torna-se um requisito para a sobrevivência das empresas e instituições de ensino, pesquisa e desenvolvimento. Por

consequência, a informação e o conhecimento passaram a ser fundamentais para o estabelecimento de estratégias eficientes das organizações modernas, sobretudo naquelas cujas atividades e processos finalísticos são fortemente ancorados no tripé Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) (MADEU, 2019; AMARAL et al., 2013).

A análise prospectiva associada à análise de decisão no campo da CT&I se mostra como uma ferramenta para tentar antecipar o desenvolvimento científico e tecnológico, de forma a guiar e orientar o rumo da CT&I de acordo com o planejamento estratégico de uma determinada organização (FREITAS, 2013).

É importante considerar que o exercício de prospecção está diretamente ligado à tomada de decisão estratégica. Existem várias técnicas para auxiliar a tomada de decisão em nível estratégico. Em geral, problemas nesse nível envolvem riscos altos, julgamentos humanos, e suas soluções geram repercussões a longo prazo, requerendo que sejam práticas e minimamente dispendiosas em termos de tempo e recursos. Dessa forma, torna-se interessante mesclar técnicas de prospecção tecnológica e de análise decisória a fim de se obter resultados mais robustos e confiáveis (MADEU, 2019).

Cabe ressaltar que o processo de prospecção tecnológica admite variáveis quantitativas, mas também integra parâmetros qualitativos, tais como projetos e comportamento dos atores, que, em geral, podem ser quantificados, permitindo assim uma união de variáveis qualitativas e quantitativas, enriquecendo a metodologia e possibilitando uma análise holística do futuro. Dessa forma, o processo de prospecção reduz a margem de erro em seus prognósticos, por considerar a incerteza do futuro (MADEU, 2019).

Tanto para diminuir essas incertezas, como também pelo fato de informações referentes a CT&I serem provenientes das mais diversas fontes de dados, tornando assim sua coleta, correlação, análise e manipulação mais complexa, vê-se necessário utilizar métodos variados e adaptá-los de acordo com os objetivos da instituição, a fim de obter os subsídios para decidir prioridades na área de CT&I (MADEU et al., 2017).

O método proposto neste trabalho é voltado para instituições calcadas no tripé CT&I e envolve conjuntamente o método multicritério de tomada de decisão *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e técnicas bibliométricas, visando estabelecer uma lista de tecnologias futuras e outra de prioridades de convênios em determinadas áreas de interesse.

Este estudo está estruturado da seguinte forma: na próxima seção, são apresentados os principais aspectos relacionados com os dois métodos propostos para serem conjuntamente

utilizados; na seção seguinte, o método proposto é apresentado; a quarta e quinta seções apresentam os estudos de caso; as conclusões são apresentadas na última seção.

2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1 Bibliometria

De um ponto de vista mais geral, a bibliometria pode ser definida como o estudo quantitativo da produção, disseminação e utilização da informação registrada. Mais especificamente, ela pode ser vista como a ciência que quantifica os processos de comunicação escrita com o objetivo de desenvolver padrões e modelos matemáticos para medir esses processos, usando seus resultados para elaborar previsões e apoiar tomadas de decisão (VAN RAAN, 1997; MACIAS-CHAPULA, 1998; FARIA, 2015).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) menciona a bibliometria como uma ferramenta que permite observar o estado da C&T através da produção de publicações como um todo, em um determinado nível de especialização. Ela fornece meios de situar a produção de um país em relação ao mundo, de uma organização em relação a seu país, e de cientistas em relação as suas comunidades (OKUBO, 1997; MACIAS-CHAPULA, 1998).

A produção de indicadores de CT&I é uma das principais aplicações da bibliometria, fazendo dos métodos e técnicas para sua elaboração um importante foco de estudo e pesquisa. Esses indicadores permitem macro análises, como a participação de um ou mais países na produção global de literatura científica e/ou patentes em um período específico; assim como microanálises, como o papel de uma instituição na produção de artigos e/ou patentes em um campo científico mais restrito. Além disso, quando combinados a outros indicadores, a análise bibliométrica pode auxiliar tanto na avaliação do estado atual da C&T, como na tomada de decisões e no gerenciamento de pesquisas (MADEU, 2019; VAN RAAN, 1997; OKUBO, 1997).

Segundo Ernst (1997), a análise bibliométrica pode ser usada para avaliar atividade técnica em três níveis: político, no qual o desempenho de um país ou região é analisada; estratégico, no qual o desempenho de empresas, organizações e universidades é avaliado; e tático, no qual aspectos do desenvolvimento de uma determinada área tecnológica são identificados e avaliados. Em todos os três níveis, o processo fundamental é o mesmo: coleta de dados; definição dos indicadores (quantificação), caracterização dos atores; identificação das principais atividades; e, finalmente, a avaliação baseada na análise dos dados obtidos.

O sucesso das análises bibliométricas depende principalmente da qualidade dos dados coletados, os quais podem ser de vários tipos, dependendo da finalidade do estudo bibliométrico. Podem ser considerados como dados tanto o texto completo das publicações como os elementos presentes em registros sobre essas publicações (nomes dos autores, título, fonte, idioma, palavras-chave, classificações e citações) (FARIA, 2015).

Quando o objeto principal são documentos de patentes, trata-se de um tipo específico da bibliometria: a análise de patentes. A análise de patentes utiliza esses documentos como ponto de partida, fornecendo informações estratégicas sobre tecnologias, e podendo ser usada para indicar uma vantagem competitiva baseada na liderança em desenvolvimento tecnológico. Adicionalmente, essa técnica permite identificar quem são os líderes tecnológicos em uma determinada área (caso não haja segredo industrial); comparar organizações e países em relação ao seu nível de domínio de uma tecnologia; e visualizar os campos tecnológicos onde altos níveis de atividade evidenciam-se em andamento. Ela é baseada em métodos estatísticos e mineração de dados (*data mining*) para analisar quantitativamente registros de patentes, por exemplo: um aumento no número de registros em uma área específica reflete um alto potencial para desenvolvimento tecnológico. Uma análise mais qualitativa pode ser obtida focando-se no conteúdo dos documentos de patentes. Em geral, essas análises são usadas para auxiliar na tomada de decisões estratégicas sobre investimento em P&D, bem como para possíveis adaptações ou mesmo aquisições de tecnologias patenteadas (ERNST, 1997; FREITAS, 2013)

Segundo Campbell (1983), dados provenientes da análise de patentes são fontes valiosas de informação para a previsão de mudanças tecnológicas. Além disso, esses dados podem ser usados para prospectar tecnologias emergentes.

De fato, indicadores de patentes fornecem uma ferramenta de prospecção muito útil para a tomada de decisão nos setores público e privado. Além disso, a análise de patentes pode indicar o padrão de crescimento de uma tecnologia (emergente, madura ou em declínio), bem como as atividades tecnológicas que estão em andamento. Também é possível identificar quais empresas estão prestes a entrar ou sair de um determinado campo tecnológico, o seu tempo de mercado e o tipo de base tecnológica, e as forças tecnológicas relativas de cada uma delas (CAMPBELL, 1983).

Uma limitação dessa técnica é que, mesmo na maioria dos países desenvolvidos (onde o processo de publicação de patentes costuma ser mais ágil) as informações sobre patentes são usualmente defasadas de dois ou mais anos, dependendo do tempo entre o depósito e sua publicação. Além disso, algumas indústrias fazem pouco uso de patentes, preferindo utilizar

outras formas de proteger suas inovações e tecnologias (como o segredo industrial), o que as torna difíceis de serem rastreadas e acessadas. Contudo, isso não deve ser interpretado como baixo ou nenhum investimento em P&D na área analisada por parte dessas organizações (STEWART, 1992; ERNST, 1997).

É importante ressaltar que, dependendo do objetivo em questão, os dados de patentes podem ser usados e tratados de formas diferentes. Para a priorização de convênios, os dados de patentes são encarados de forma mais bruta, levando em consideração apenas sua quantidade depositada, além disso, também são utilizados dados bibliométricos provenientes de publicações científicas e de negócios.

Por outro lado, para a priorização de tecnologias, a etapa que envolve análise de patentes aborda aspectos mais específicos desses documentos, apoiando-se, por exemplo, no trabalho de Altuntas *et al.* (2015), no qual os autores propuseram um método baseado em dados de patentes para estabelecer o sucesso tecnológico de determinada tecnologia. Para isso, eles utilizaram quatro critérios que serão discutidos a seguir: Ciclo de Vida Tecnológico (CVT) (Seção 2.2), Velocidade de Difusão Tecnológica (Seção 2.3) e Abrangência tecnológica – que engloba os critérios Alcance e Potencial de Expansão (Seção 2.4).

2.2 Ciclo de Vida Tecnológico (CVT)

A tendência de desenvolvimento de uma determinada tecnologia em termos de uma medida de desempenho ao longo do tempo (ou recursos investidos) possui um ciclo de vida que pode ser representado por uma curva-S (MERINO, 1990; ERNST, 1997; CIOFF, 2005). Mais especificamente, essa tendência pode ser descrita por uma curva-S que divide o ciclo de vida tecnológico em quatro estágios: iniciação, crescimento, maturidade e saturação (ERNST, 1997; LIU e WANG, 2010), conforme mostra a Figura 1.

Ernst foi um dos precursores em evidenciar a relação entre o desenvolvimento de pedidos de patentes ao longo do tempo e o processo de difusão tecnológica, empregando para isso, um controle numérico computadorizado (CNC) (ERNST, 1997, p. 363). O autor descreve 4 estágios que abarcam o desenvolvimento da tecnologia, conforme ilustra a Figura 1:

- estágio emergente, caracterizado por um crescimento relativamente baixo do desempenho tecnológico em comparação com a quantidade de esforços de P&D;
- estágio de crescimento, no qual o progresso tecnológico marginal sobre os gastos cumulativos de P&D é positivo,
- estágio de maturidade, no qual a relação anterior torna-se negativa, e o

- estágio de saturação, no qual pequenas melhorias de desempenho tecnológico são obtidas por meio de esforços de P&D muito elevados.

Em síntese, o desempenho da tecnologia é diretamente proporcional ao tempo de investimento, e a difusão do conhecimento codificado afeto a um tema repercute na bibliometria. Na fase embrionária, percebem-se poucas publicações de artigos e patentes, normalmente espaçadas ao longo do tempo.

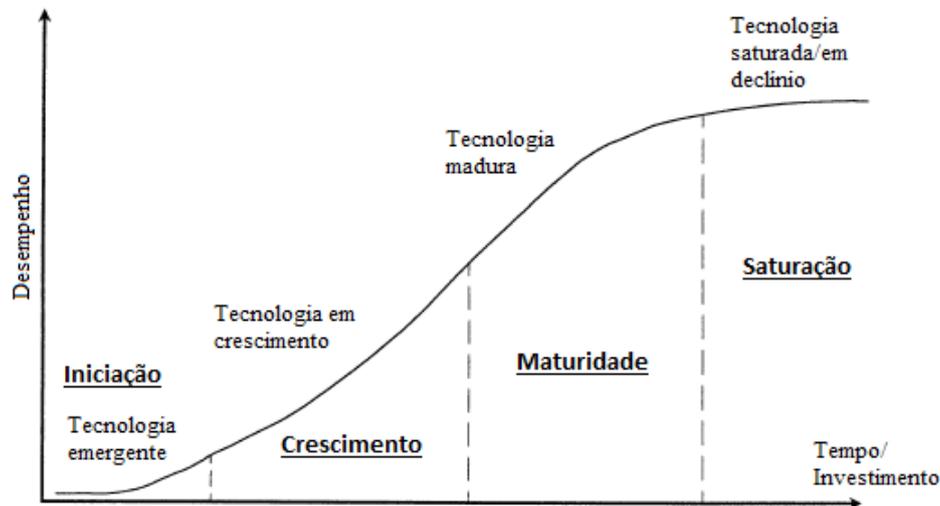


Figura 1 – Curva-S representando o CVT. Fonte: MADEU, 2019, p. 37.

Na fase de crescimento, o aumento de interesse da comunidade científico-tecnológica no tema provoca uma rápida evolução numérica de registros, caracterizada por uma curva ascendente do gráfico, que corresponde, normalmente, ao aumento de produtividade do setor acadêmico, ou ainda de expectativas comerciais de setores competitivos que ambicionam proteger nichos por intermédio de patentes, ou seja, há proeminência ou protagonismo do setor privado no desenvolvimento da área tecnológica analisada.

Na fase de maturidade, a produção anual científica ou dos depósitos de patentes apresentam sinais de arrefecimento e passam a ocorrer em menor intensidade, sinalizando que as evoluções técnicas se tornam mais espaçadas.

Finalmente, o ciclo tecnológico atinge sua fase de saturação a inflexão da curva prenuncia um platô, em que os novos depósitos estabilizam, sofrem pequenas oscilações ou mesmo decaem.

Nesse sentido, informações e dados advindos da análise de patentes podem ser fortes aliados no processo de prospecção tecnológica e, conseqüentemente, no auxílio à tomada de decisão (BROCKHOFF, 1992).

2.3 Velocidade de Difusão Tecnológica

A difusão tecnológica é um processo pelo qual uma inovação se espalha por meios específicos dentro de um sistema social (ROGERS, 1983). Um dos meios mais significativos se dá através do processo de citação de patentes (HUANG e WANG, 2013).

Em um documento de patente, o inventor precisa descrever as técnicas anteriores relacionadas à invenção, as quais são geralmente apresentadas citando patentes e/ou literatura científica publicadas. Quanto mais uma determinada patente é citada por outras subsequentes, mais a tecnologia relacionada pode ser considerada difundida, *i.e.*, ela é mais amplamente aplicada e, portanto, mais valiosa (CHANG *et al.*, 2009).

O processo de citação de patentes pode levar a inovações baseadas nas tecnologias existentes, bem como disseminar novas tecnologias de um campo tecnológico para outro relacionado – contribuindo para o crescimento de determinada área – ou para um completamente diferente – difundindo sua aplicação pelas mais diversas indústrias e países. Além disso, pelas relações de citação de patentes pode-se traçar o processo de difusão tecnológica e de disseminação do conhecimento através de países e organizações, o que não pode ser feito apenas com a simples estatística do quantitativo de patentes ao longo do tempo. Por isso, pesquisadores têm utilizado cada vez mais dados de citações de patentes para análise de tecnologias promissoras (HUANG e WANG, 2013).

Considerando o conceito de difusão tecnológica previamente exposto, pode-se inferir que investimentos em uma tecnologia com um alto potencial de difusão devem apresentar um menor risco e um maior retorno. Sendo assim, utiliza-se nesta pesquisa, como segundo critério, a velocidade de difusão tecnológica definida por Altuntas *et al.* (2015): o número médio de citação por patente, ou seja, $velocidade\ de\ difusão = c/n$, onde c é o número total de vezes que uma patente foi citada e n é o número total de patentes consideradas para a difusão.

2.4 Abrangência tecnológica – Alcance e Potencial de Expansão

A abrangência tecnológica diz respeito ao escopo alcançado por uma tecnologia. Ou seja, quanto maior a abrangência de uma determinada tecnologia, maior é o número de tecnologias diferentes às quais ela está associada (ALTUNTAS *et al.*, 2015). Ela pode ser medida por meio de dois indicadores, definidos por Altuntas *et al.* (2015), aqui denominados de alcance tecnológico e potencial de expansão (MADEU *et al.*, 2021).

O alcance tecnológico é medido através da classificação das patentes associadas àquela tecnologia. O sistema de Classificação Internacional de Patentes (IPC), estabelecido pelo Acordo de Estrasburgo de 1971, é o mais amplamente utilizado sistema de classificação hierárquica de patentes baseado nas diferentes áreas tecnológicas às quais pertencem. Ele utiliza um símbolo independente de linguagem para a classificação, adotado para diferentes graus por cada país ou organização que possua um escritório oficial de patentes. Em geral, assim como neste trabalho, ao usar os códigos IPC como indicadores, utilizam-se os primeiros quatro dígitos do código (ALTUNTAS et al., 2015; GAO et al., 2013).

Quanto mais códigos IPC associados a uma tecnologia, maior o seu alcance. Uma tecnologia com um alto alcance, possui um maior poder de atingir diferentes setores, possuindo assim, um maior potencial de criar setores novos, logo é mais promissora. O alcance A de uma determinada tecnologia pode ser definido pela seguinte expressão (ALTUNTAS *et al.*, 2015):

$$A = x/y,$$

onde x é o número total de códigos IPC associados às patentes coletadas e y é o número total de patentes coletadas.

O potencial de expansão é definido como o número total de códigos IPC diferentes de um banco de dados de patentes relacionados com a tecnologia de interesse. Assim, um maior potencial de expansão implica em uma maior possibilidade de uso dessa tecnologia em outras novas abarcadas por esses códigos IPC. Ainda, o potencial de expansão indica o número de tecnologias diferentes relacionadas com a tecnologia analisada e, então, o desenvolvimento de determinada tecnologia pode contribuir para o desenvolvimento de outras novas tecnologias associadas a ela (MADEU *et al.*, 2021).

Sendo assim, quanto maior o alcance e o potencial de expansão de uma determinada tecnologia, maior será a sua abrangência tecnológica, tornando-a uma tecnologia portadora de futuro de menor risco de investimento e maiores chances de sucesso (MADEU *et al.*, 2021).

2.5 Analytic Hierarchy Process (AHP)

O Método de Análise Hierárquica ou AHP foi desenvolvido pelo pesquisador americano Thomas L. Saaty, na época em que era diretor de projetos de pesquisa na Agência de Desarmamento e Controle de Armas dos Estados Unidos, na década de 1970. Ele desenvolveu esse método, baseado em sua experiência adquirida na agência, onde constatou que não havia

uma metodologia consagrada, de fácil compreensão e implementação para auxiliar a tomada de decisões complexas. Desde então, devido ao seu poder e simplicidade, o método AHP tem sido aplicado em diversas áreas no mundo todo. Ele tem sido útil nas áreas de negócios, governamental, social, Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), defesa e outras, quando decisões envolvendo escolhas, priorização ou previsão são necessárias (BUHSHAN e RAI, 2003).

Sua simplicidade e facilidade de utilização advém do fato de que o método permite decompor um problema complexo em uma cadeia hierárquica de subproblemas mais simples que podem ser mais facilmente resolvidos e avaliados subjetivamente. As avaliações subjetivas são convertidas em valores numéricos que, em seguida, são processados para associar uma nota a cada alternativa analisada no processo (BUHSHAN e RAI, 2003).

A hierarquia indica a relação entre elementos de um determinado nível e outros em um nível imediatamente abaixo, essa relação se perpetua ao longo da estrutura de forma que cada elemento esteja ligado aos outros, mesmo que de forma indireta. No topo da estrutura hierárquica do AHP, encontra-se a descrição do problema decisório, no nível abaixo estão os critérios (ou atributos) considerados no processo, abaixo deles podem estar subcritérios, se for o caso, e no último nível (base da cadeia) estão as alternativas analisadas. Dessa forma, é como se o problema principal fosse dividido em problemas menores mais fáceis de serem resolvidos. As pequenas soluções são, então, agregadas por meio de pesos estipulados, a fim de se obter a solução final (PASSOS, 2010). Esses pesos são calculados considerando a relação entre os critérios, a qual é baseada na Escala de Saaty, ilustrada no Quadro 1. A Figura 2 ilustra uma estrutura hierárquica genérica do método AHP.

Quadro 1 – Escala de Saaty para definição da importância entre critérios.

Escala de Saaty	
1	Mesma importância
2	Critério intermediário
3	Importância moderada de um sobre o outro
4	Critério intermediário
5	Importância essencial ou forte
6	Critério intermediário
7	Importância muito forte
8	Critério intermediário
9	Importância extrema

Fonte: MADEU et al., 2021; SAATY, 2006

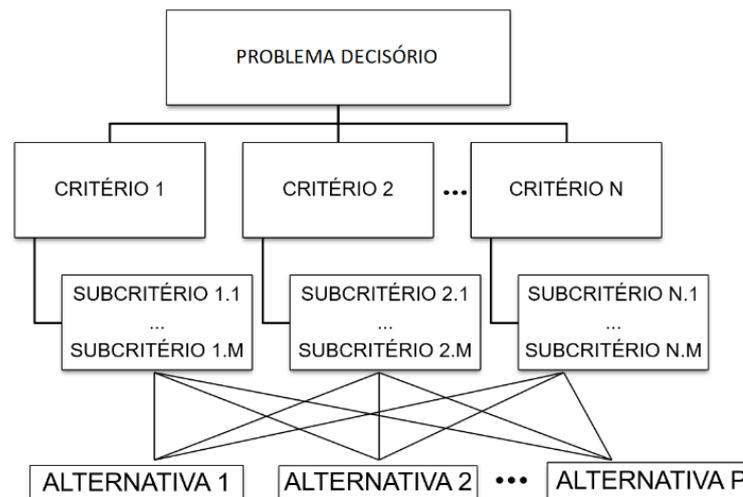


Figura 2 – Estrutura hierárquica genérica do AHP (MADEU, 2019).

Em geral, métodos de decisão multicritério, incluindo o AHP, podem ser descritos nas seguintes etapas (PASSOS, 2010):

- Etapa 1: Definição do(s) decisor(es) e agentes de decisão – os decisores são aqueles que vão tomar a decisão final propriamente dita, já os agentes de decisão vão realizar todas as atividades, cálculos e estimativas, e auxiliar os decisores.
- Etapa 2: Determinação das alternativas a serem avaliadas, de forma a garantir que todas as opções relevantes sejam levantadas, porém, caso surja alguma alternativa no meio do processo, o método permite inseri-la.
- Etapa 3: Determinação dos critérios, ou seja, de como as alternativas serão analisadas.
- Etapa 4: Determinação da importância relativa entre os critérios.
- Etapa 5: Avaliação das alternativas à luz de cada critério.
- Etapa 6: Determinação da solução final.
- Etapa 7: Realização da análise de sensibilidade.

A Figura 3 ilustra o fluxograma geral das etapas do processo, as quais são descritas detalhadamente a seguir.

A primeira etapa independe do AHP, neste trabalho, como já mencionado; é utilizado apenas um decisor para efeito de aplicação do método. Porém, ressalta-se a importância de avaliar a escolha dos decisores e analistas de decisão.

Cabe elucidar que, dependendo do problema decisório, o tomador de decisão pode optar por realizar a etapa 3 antes da etapa 2, ou seja, determinar os critérios antes das alternativas. Essa

ordem deve ser adotada quando o número de alternativas é muito grande como, por exemplo, a escolha de um dentre centenas de candidatos para uma vaga (PASSOS, 2010).

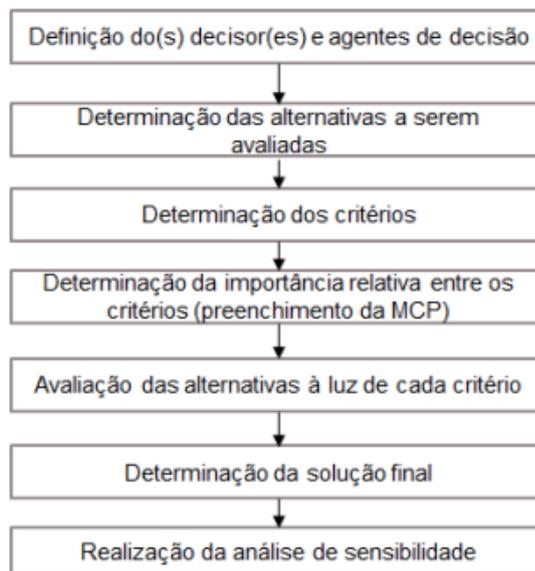


Figura 3 – Fluxograma geral das etapas do método AHP.

Tanto os critérios quanto as alternativas são determinados pelo decisor, podendo recorrer a diversos meios para isso. Por se tratar de um método de prospecção, pode haver consulta a especialistas da área em que as tecnologias serão avaliadas, por exemplo.

A etapa seguinte é a determinação da importância entre os critérios. Nessa etapa, o(s) decisor(es) define(m) o quanto um critério é mais ou menos relevante que os outros na estrutura geral do problema. Essa comparação é feita utilizando a escala de Saaty ilustrada no Quadro 1, por meio de uma matriz quadrada denominada Matriz de Comparações Paritárias (MCP), representada na Figura 4.

O preenchimento da MCP é feito por linhas, por exemplo: na linha i , o elemento a_{ij} reflete a importância do critério i sobre o critério j . Analogamente, o elemento a_{ji} é o inverso do elemento a_{ij} . Dessa forma, quando $i = j$, o elemento $a_{ij} = 1$, ou seja, os elementos da matriz MCP possuem uma relação de dependência em relação à diagonal principal, na qual aqueles abaixo dela são o inverso daqueles acima dela.

Após o preenchimento da MCP, deverá ser obtido o vetor peso dos critérios (p) associado a essa matriz, o qual reflete a importância geral de cada critério em relação aos outros. Esse vetor pode ser obtido de algumas formas, contudo, adota-se aqui a forma utilizada por Passos (2010); Passos *et al.* (2014).

Critérios	Critério 1	...	Critério r	...	Critério m
Critério 1	1	...	a_{1r}	...	a_{1m}
...
Critério r	a_{r1}	...	1	a_{rm}	
...
Critério m	a_{m1}	...	a_{mr}	...	1

Figura 4 – Matriz de comparações paritárias genérica (MADEU, 2019).

Para calcular o valor do peso do critério i (w_i), o primeiro passo é calcular a média aritmética da linha i , em seguida dividi-la pela soma de todos os componentes do vetor p .

Saaty (2006) alerta para a inconsistência que pode ocorrer no resultado dos pesos, dado que julgamentos humanos podem ser tendenciosos e falhos. Essa inconsistência pode ser medida pelos autovalores da matriz MCP; porém Saaty (2006) sugere uma outra maneira de calcular o vetor peso para substituir o cálculo dos autovalores (PASSOS et al., 2014).

Com os elementos do vetor p , constrói-se a matriz alternativa mostrada na Equação (1), a qual possui consistência nula pois seus elementos são determinados pela razão entre os pesos dos critérios associados a cada elemento:

$$MCP' = \begin{bmatrix} \frac{a_1}{a_1} & \frac{a_1}{a_2} & \dots & \frac{a_1}{a_n} \\ \frac{a_2}{a_1} & \frac{a_2}{a_2} & \dots & \frac{a_2}{a_n} \\ \frac{a_3}{a_1} & \frac{a_3}{a_2} & \dots & \frac{a_3}{a_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_n}{a_1} & \frac{a_n}{a_2} & \dots & \frac{a_n}{a_n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Essa nova matriz será utilizada para o cálculo do vetor final de pesos dos critérios W , de maneira similar ao vetor p . Calcula-se a média aritmética de cada linha, dividindo em seguida esse valor pela soma de todos os componentes de W .

Após determinar a importância relativa entre os critérios, a etapa seguinte é avaliar as alternativas à luz de cada critério. No AHP, isso pode ser feito através da medição relativa ou absoluta. A avaliação com medição relativa é similar ao processo de determinação dos pesos dos critérios descritos anteriormente. Nesse caso, as alternativas são avaliadas em relação a cada critério separadamente e comparadas duas a duas em uma MCP, à qual é atribuída um vetor peso que representa a importância de cada alternativa em relação as outras sob à luz do critério em questão. A medição relativa não favorece casos com um grande número de alternativas, pois muitas MCP precisariam ser preenchidas, tornando o processo inviável ou fatigante (PASSOS, 2010).

Este trabalho utiliza a medição absoluta, na qual são atribuídas a cada alternativa pontuações absolutas em relação a cada critério por meio de uma escala definida pelo decisor. Essa escala funciona como uma mensuração de cada critério e, em geral, associa valores quantitativos a julgamentos subjetivos. No final da avaliação de cada alternativa, é obtido um vetor de pontuações, cuja dimensão é igual ao número de critérios, que representam os julgamentos da alternativa sob à luz de cada critério (SAATY, 2006; PASSOS, 2010).

A etapa seguinte é combinar os pesos dos critérios e os valores de cada alternativa em relação a cada critério para obter uma pontuação final para cada uma das alternativas, as quais poderão ser ordenadas em ordem de prioridade. Essa pontuação é obtida pela seguinte expressão:

$$N_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij} \quad (1)$$

em que N_i é a pontuação final da alternativa i , w_j é o peso do critério j e v_{ij} é o valor da alternativa i em relação ao critério j .

Como última etapa do processo de aplicação do método AHP, realiza-se a análise de sensibilidade. Essa análise visa verificar se não houve alguma discrepância entre os valores dados pelo decisor ao mensurar a importância relativa entre os critérios, pois é natural que haja dúvidas por parte do decisor no preenchimento da MCP. Ela é realizada após a obtenção dos resultados, alterando-se alguns parâmetros para que seja observada o impacto dessas mudanças no resultado (por exemplo, pode haver dúvida se um determinado critério possui importância forte – valor 5 na escala de Saaty – ou muito forte – valor 7). Se as mudanças não afetam a resposta, o resultado pode ser considerado confiável; caso essas alterações impliquem em mudanças relevantes na resposta final, os valores devem ser reavaliados para se chegar a um consenso quanto aos que serão de fato escolhidos (SAATY, 2006; PASSOS, 2010).

Cabe ressaltar que para decisões envolvendo um grupo de decisores, o procedimento seria semelhante, porém seria efetuada a média geométrica de cada elemento do vetor peso (PASSOS, 2010).

3 METODOLOGIA

O método aqui proposto baseia-se fortemente nas capacidades/competências a serem aprimoradas e/ou adquiridas pela organização em questão. Sendo assim, o primeiro passo é listar as capacidades e competências requeridas por ela para atingir os objetivos pretendidos. No contexto de Instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) da área de defesa, em especial do

Exército Brasileiro (EB), as Capacidades Militares Terrestres (CMT) e Capacidades Operativas (CO) devem ser vistas com particular atenção. As CMT se desdobram nas CO – um exemplo de CMT é a Proteção, a qual se desdobra em Proteção ao Pessoal, Proteção Física e Segurança das informações e Comunicações¹.

O método ordena tecnologias a fim de auxiliar na tomada de decisão para a priorização das mesmas quanto a investimento na área de CT&I. Ele utiliza técnicas de prospecção aliadas a um método multicritério para computar o sucesso tecnológico e sistematicamente apontar e priorizar áreas tecnológicas promissoras.

Inicialmente, selecionam-se as tecnologias a serem analisadas dentro da área de interesse, as quais podem ser definidas por meio de reunião com especialistas, *brainstorming*, ou simplesmente pelo decisor ou equipe de decisão. Em seguida, definem-se os critérios que serão utilizados na análise (MADEU et al., 2019).

No caso das tecnologias, foram definidos cinco critérios: i) interação com as capacidades a serem desenvolvidas/aprimoradas pela organização — para o EB, levaram-se em consideração as CMT e as CO; ii) o potencial de desenvolvimento de cada tecnologia, que diz respeito ao estágio em que ela se encontra no seu ciclo de vida tecnológico, baseado na curva-S de patentes; iii) a velocidade tecnológica de difusão, a qual considera o número total de citações das patentes daquela tecnologia; iv) o alcance tecnológico, o qual considera a quantidade total de códigos (subclasses) IPC envolvendo aquela tecnologia; e v) o potencial de expansão, que é equivalente ao número de códigos IPC diferentes cobertos por cada tecnologia. Os quatro últimos critérios são calculados baseados no método de prospecção tecnológica envolvendo patentes proposto por Altuntas *et al.* (2015).

Por outro lado, no caso priorização de convênios, os critérios podem ser definidos como: nível de atividade científica (quantidade de publicações de artigos), nível de atividade tecnológica (quantidade de patentes publicadas), nível de atividade mercadológica (quantidade de publicações de negócios e receita anual de empresas), habilidades socioculturais (Modelo de Lewis, Índice de Hofstede e Índice de Progresso Social) e o Índice Global de Inovação (GII)². Ainda, nesse caso, a metodologia é similar, diferindo apenas na seleção dos critérios. Ressalta-se aqui que as áreas e linhas de pesquisa do Plano Estratégico Exército (PEEx) (EXÉRCITO,

¹ Para a lista completa de CMT e CO ver (EXÉRCITO, 2015a).

² O *Global Innovation Index* (GII) é um relatório anual, o qual é publicado pela Universidade de Cornell, *Institut Européen d'Administration des Affaires* (INSEAD) e a Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI), que ordena os países e os compara de acordo com diversos índices relacionados ao nível de inovação dos mesmos (MADEU, 2019).

2015b), as quais são estabelecidas considerando-se as CMT e CO, serviram de base para a mensuração de cada alternativa sob à luz de cada critério.

Por fim, os dados são processados e as alternativas priorizadas em uma lista.

Conforme apresentado anteriormente, o método multicritério de apoio à decisão AHP é dividido em etapas, as quais são descritas a seguir, aplicando-as aos estudos de caso, para melhor entendimento.

- Etapa 1: Definição do(s) decisor(es) e agentes de decisão – para as tecnologias, o decisor, nesse caso, são os próprios autores, auxiliados por especialistas em tecnologias de carbono do Centro Tecnológico do Exército (CTEx); para convênios, o Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) do EB atuou como decisor nas escolhas das alternativas e os próprios autores como o decisor das demais etapas.
- Etapa 2: Determinação das alternativas a serem avaliadas – são as tecnologias dentro da área de interesse e os países a serem analisados.
- Etapa 3: Determinação dos critérios – como cada tecnologia/país será avaliado: os critérios mencionados anteriormente.
- Etapa 4: Determinação da importância relativa entre os critérios – cálculo dos pesos de cada critério por meio da MCP.
- Etapa 5: Avaliação das alternativas à luz de cada critério – são as notas de cada alternativa (tecnologia/país) referentes a cada critério, já descritas como foram obtidas na seção anterior.
- Etapa 6: Determinação da solução final – cálculo final com as notas de cada alternativa à luz de cada critério. Nessa etapa, são calculadas as notas finais de cada alternativa. Para a priorização de convênios, são calculadas separadamente as notas finais considerando convênios para especialização e para desenvolvimento e produção de Produtos de Defesa (PRODE). Em seguida, a nota final geral de cada país é calculada pela média aritmética das outras duas.
- Etapa 7: Análise de sensibilidade – são realizadas algumas pequenas alterações nos elementos das MCP, no intuito de verificar seu impacto no resultado.

As estruturas hierárquicas do método AHP para a ordenação de tecnologias e de convênios estão representadas nas Figuras 5 e 7, e os fluxogramas do método aqui descrito para cada caso são apresentados na Figuras 6.

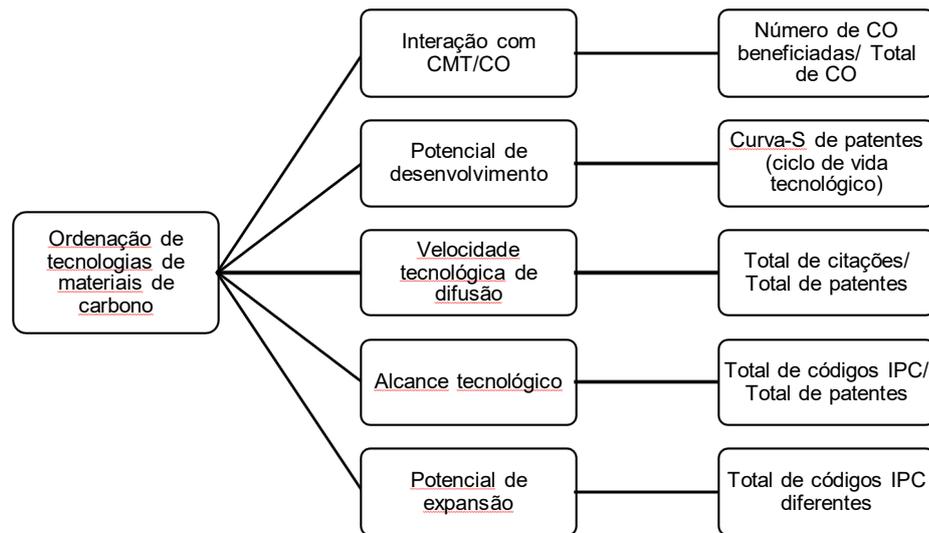


Figura 5 – Estrutura hierárquica do método proposto utilizando o AHP para priorização de tecnologias (MADEU, 2019).

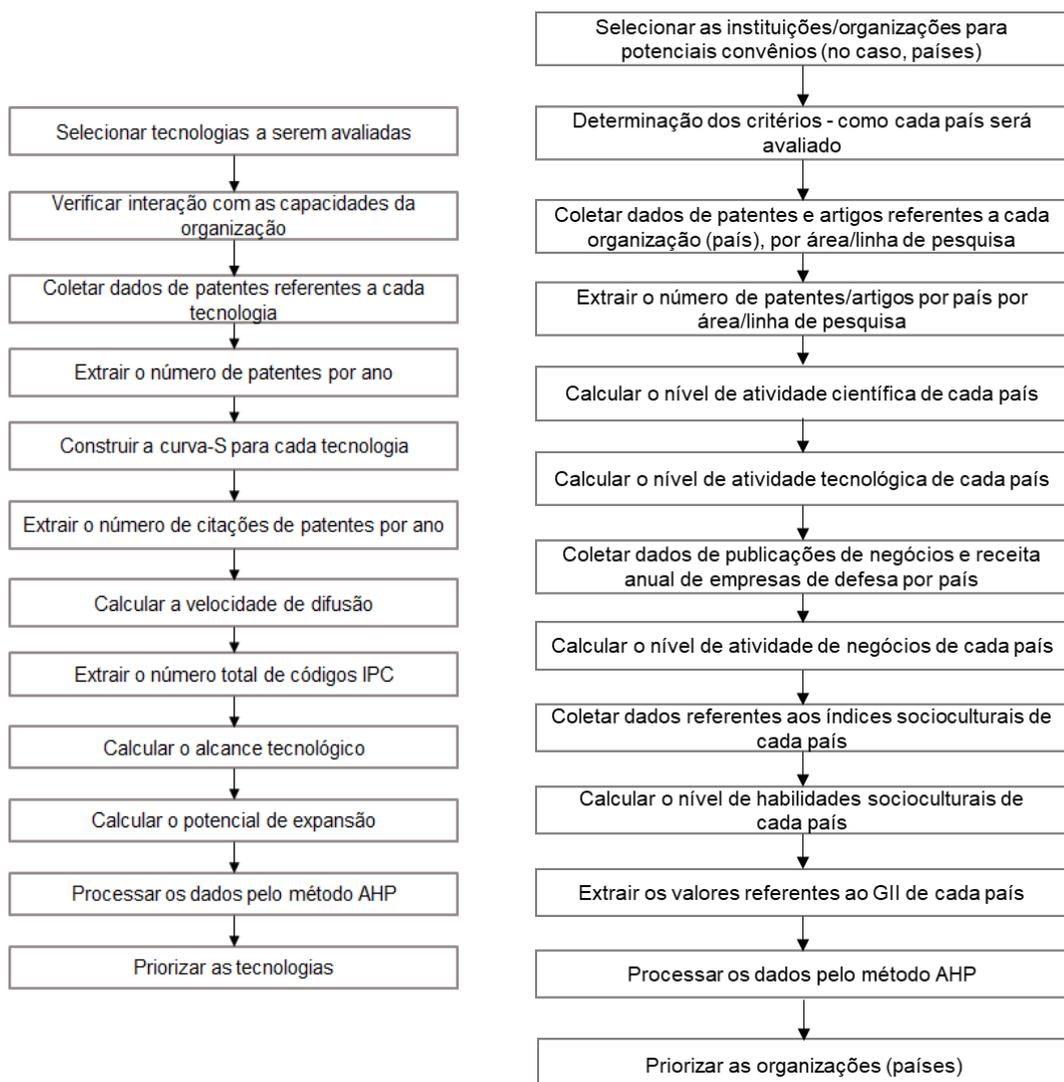


Figura 6 – Fluxograma do método proposto para: i) priorização de tecnologias (MADEU, 2019); e ii) priorização de convênios.

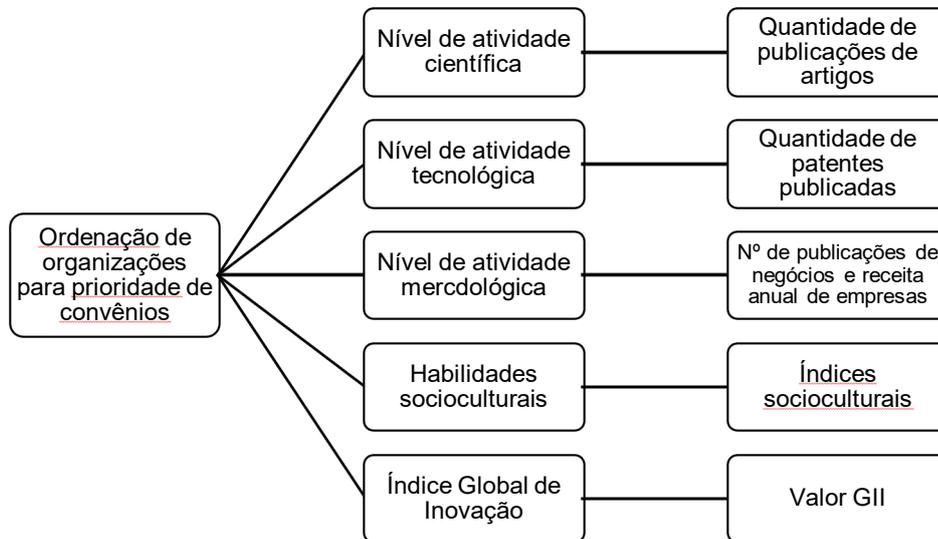


Figura 7 – Estrutura hierárquica do método proposto utilizando o AHP para priorização de convênios (MADEU, 2019).

4 RESULTADOS

4.1 Estudo de caso dos Materiais de Carbono para a Defesa

A metodologia foi aplicada a um exemplo prático envolvendo materiais de carbono para a defesa, visto que esta área é de interesse do EB, que inclusive possui um núcleo de pesquisa no assunto dentro do CTE_x, o qual desenvolve um projeto em parceria com a Petrobrás para o desenvolvimento de fibras de carbono (QUEIROZ, 2015). De fato, esta área está inclusa nas Áreas e Linhas de Pesquisa previstas no PEE_x e contribui com quase todos os projetos estratégicos do EB e com o Projeto COBRA (Combatente do Futuro) (EXÉRCITO, 2015; ESCRITÓRIO DE PROJETOS DO EXÉRCITO, 2013). Além disso, esta área é extremamente promissora e aplicável em diversos setores industriais, tais como: aeronáutico, automobilístico e eletrônico (MADEU, 2019).

Sendo assim, após extensa revisão da literatura utilizando as bases de dados de artigos científicos *Scopus*, *Google Scholar* e *Lexis Nexis*, foram selecionadas 10 potenciais tecnologias emergentes na área de materiais de carbono avançados para serem priorizadas utilizando o método proposto neste trabalho. Esta foi uma triagem inicial, a qual foi validada por especialistas da Seção de Tecnologia de Materiais de Carbono do CTE_x que propuseram mais seis tecnologias adicionais, totalizando 16, conforme mostra a Tabela 2.

Existem estudos de prospecção tecnológica com análise de patentes envolvendo algumas das tecnologias selecionadas, a saber: Altuntas *et al.* (2015), Chang *et al.* (2014), Jun e Lee (2012), Yoon e Kim (2012), Chen *et al.* (2010), Cheng e Chen (2008), Yoon e Park (2007) e Daim *et al.* (2003). Contudo, eles diferem deste trabalho pois são focados em apenas uma tecnologia ou uma aplicação mais específica da mesma.

O método consiste em doze etapas, conforme apresentado no fluxograma da Figura 7. A primeira etapa de seleção de tecnologias foi descrita anteriormente, na qual foram selecionadas 16 tecnologias na área de materiais de carbono para serem priorizadas.

A segunda etapa consiste na determinação da importância entre os critérios, a qual é definida pela matriz de comparações paritárias, representada na Tabela 1, cujos valores foram determinados pelos decisores.

Em seguida, aplica-se o primeiro critério determinado para análise: a interação com as capacidades da organização, que neste estudo de caso para o EB são as CMT e CO. Como as CMT se desdobram nas CO, foram utilizadas as 38 CO para avaliar as 16 tecnologias. As CO foram cruzadas com as tecnologias em uma tabela e com base na descrição de cada CO contida em (EXÉRCITO, 2015) e nas principais aplicações de cada tecnologia listada. Definiu-se, então, com quantas CO cada tecnologia poderia contribuir. Essa etapa foi realizada baseada no julgamento do decisor, apesar de poder ser feita também com o auxílio integrado de especialistas e Oficiais combatentes do EB. O valor atribuído a cada tecnologia sob a luz deste primeiro critério foi o valor dado pela razão do número total de CO com as quais aquela tecnologia pode contribuir sobre o número total de CO (38). Ou seja:

$$V_{ij} = w/z,$$

em que V_{ij} é o valor atribuído a tecnologia i sob à luz do critério j , w é o número total de capacidades com as quais a tecnologia i pode contribuir e z é o número total de capacidades. Neste estudo de caso, todas as tecnologias contribuem com pelo menos uma capacidade operativa, tendo destaque o grafeno e o grafite expandido, que contribuem com 27 das 38 CO. Os valores finais foram normalizados.

Tabela 1 – MCP para o estudo de caso do DCT considerando convênios para especialização.

	INTERAÇÃO CMT/CO	POTENCIAL DE DESENVOLV.	VELOCIDADE DE DIFUSÃO	ALCANCE TECNOL.	POTENCIAL DE EXPANSÃO	VETOR PESO DOS CRITÉRIOS
INTERAÇÃO CMT/CO	1	2	2	2	2	0,270
POTENCIAL DE DESENVOLV.	1/2	1	3	3	3	0,315
VELOCIDADE DE DIFUSÃO	1/2	1/3	1	2	2	0,175
ALCANCE TECNOL.	1/2	1/3	1/2	1	1/3	0,080
POTENCIAL DE EXPANSÃO	1/2	1/3	1/2	3	1	0,160

Na etapa seguinte do processo, são coletadas as patentes para cada tecnologia. Essa coleta foi feita no banco de dados da plataforma *Lexis Nexis*, que cobre todos os principais escritórios de patentes do mundo. Para a busca, foram utilizados como palavras-chave, para cada tecnologia, o nome de cada uma delas em inglês, conforme mostrado na Tabela 2. Esses termos foram utilizados para coletar os documentos de patentes para cada tecnologia e, com base nesse resultado, foram extraídos os números totais de patentes, de citações, de códigos IPC e de códigos IPC diferentes. O período escolhido para busca foi de 01 de janeiro de 1990 a 31 de dezembro de 2017, visto que o período de vigência de uma patente a contar de sua publicação é de no máximo 20 anos.

O quarto passo é extrair o número de patentes por ano e em seguida construir a curva-S de cada tecnologia baseada no número acumulado dessas patentes. A Figura 8 mostra a curva-S para a tecnologia “nanopartículas de carbono”, todas as 16 tecnologias encontram-se no estágio de crescimento ou maturidade, dessa forma, todas receberam o valor 1. A Tabela 2 mostra um resumo dos principais dados coletados na pesquisa.

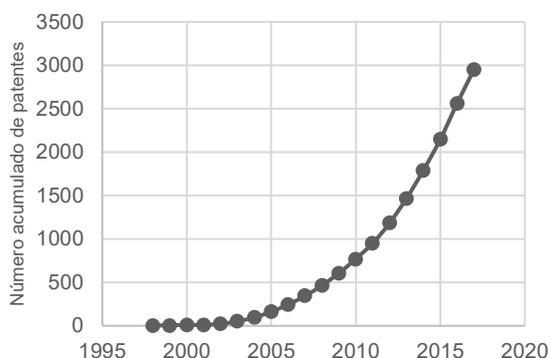


Figura 8 – Curva-S para a tecnologia nanopartículas de carbono (MADEU, 2019).

A etapa seguinte consiste em calcular a velocidade de difusão baseada no número de citações. Segundo Gay *et al.* (2005), a primeira citação de uma patente ocorre em média quatro

anos após a sua publicação. Sendo assim, são consideradas para difusão as patentes publicadas até 2013.

Em seguida, calculam-se o alcance tecnológico e o potencial de expansão, conforme detalhado anteriormente. A Tabela 3 fornece os resultados obtidos para cada tecnologia analisada.

Por fim, processam-se os resultados dos critérios estipulados pelo método AHP, a fim de se obter um valor final para cada tecnologia. Os valores finais para cada critério também foram normalizados, e a Tabela 4 apresenta a ordenação final obtida para as tecnologias analisadas, com os valores normalizados.

Tabela 2 – Resumo dos principais dados coletados.

Tecnologias	Termos de busca	Total de patentes	INPADOC³	Total de citações	Total de códigos IPC	Total de códigos IPC ≠
Fibra de carbono	<i>carbon fiber</i>	121355	114646	378048	252406	122
Nanotubos de carbono	<i>carbon nanotube</i>	66814	48712	208735	108073	120
Nanodiamante	<i>nanodiamond</i>	1336	1040	2566	2532	69
Nanodots de carbono	<i>carbon nanodot</i>	145	130	80	272	18
Nanopartículas poliméricas	<i>polymer nanoparticle</i>	2023	1537	7738	3658	80
Grafite expandido	<i>expanded grafite</i>	8912	8041	20225	17625	103
Carvão e carvão ativado	<i>coal or activated coal</i>	262219	252571	173918	517326	123
Filmes finos de carbono	<i>carbon thin film</i>	1910	1566	13255	3352	66
Grafeno	<i>graphene</i>	56535	45436	39326	90320	120
Polímeros conjugados	<i>conjugated polymers</i>	9493	6070	67733	10786	77
Carbeto de Silício	<i>silicium carbide</i>	150	121	414	268	45
Carbeto de Boro	<i>boron carbide</i>	11019	8687	46515	18083	112
Piche de petróleo	<i>coal tar</i>	10175	8876	24308	18718	97
Negro de fumo	<i>carbon black</i>	121612	99775	300678	218731	121
Grafite com pureza nuclear	<i>nuclear graphite or high purity graphite</i>	1708	1374	1513	2817	61
Grafites especiais	<i>special graphite</i>	275	241	229	490	43

³ Uma Família de patentes INPADOC define-se como um grupo de patentes que engloba todos os documentos possuindo a mesma prioridade ou combinação de prioridades. Ou seja, pedidos da mesma patente realizados em organismos diferentes dentro do período de prioridade do primeiro pedido.

Tabela 3 – Resultados obtidos para cada tecnologia analisada.

Tecnologias	Interação CMT/CO	Total de patentes para difusão	Velocidade de difusão	Alcance Tecnológico	Potencial de Expansão
Fibra de carbono	22	74.124	5,100	3,115	122
Nanotubos de carbono	21	39.144	5,332	3,124	120
Nanodiamante	22	630	4,073	1,921	69
Nanodots de carbono	20	19	4,211	0,552	18
Nanopartículas poliméricas	7	1.051	7,363	3,825	80
Grafite expandido	27	4.484	4,510	2,269	103
Carvão e carvão ativado	13	139.548	1,246	0,663	123
Filmes finos de carbono	21	1.729	7,666	6,940	66
Grafeno	27	13.084	3,006	0,696	120
Polímeros conjugados	23	6.606	10,253	7,135	77
Carbeto de Silício	16	123	3,366	2,760	45
Carbeto de Boro	11	6.979	6,665	4,221	112
Piche de petróleo	22	6.046	4,021	2,389	97
Negro de fumo	7	71.667	4,195	2,472	121
Grafite com pureza nuclear	2	841	1,799	0,886	61
Grafites especiais	18	111	2,063	0,833	43

Tabela 4 – Ordenação final das tecnologias e termos de busca.

Ordenação final		
Tecnologias	Termos de busca	Nota
Fibra de carbono	<i>carbon fiber</i>	1,000
Nanotubos de carbono	<i>carbon nanotube</i>	0,989
Nanodiamante	<i>nanodiamond</i>	0,913
Nanodots de carbono	<i>carbon nanodot</i>	0,911
Nanopartículas poliméricas	<i>polymer nanoparticle</i>	0,883
Grafite expandido	<i>expanded grafite</i>	0,868
Carvão e carvão ativado	<i>coal or activated coal</i>	0,841
Filmes finos de carbono	<i>carbon thin film</i>	0,838
Grafeno	<i>graphene</i>	0,784
Polímeros conjugados	<i>conjugated polymers</i>	0,768
Carbeto de Silício	<i>silicium carbide</i>	0,742
Carbeto de Boro	<i>boron carbide</i>	0,726
Piche de petróleo	<i>coal tar</i>	0,698
Negro de fumo	<i>carbon black</i>	0,686
Grafite com pureza nuclear	<i>nuclear graphite or high purity graphite</i>	0,672
Grafites especiais	<i>special graphite</i>	0,564

Fonte: (MADEU *et al.*, 2021)

4.1.1 Discussão dos resultados e conclusões parciais

Este estudo de caso foi realizado no intuito de validar o método de prospecção aqui proposto para a priorização de tecnologias emergentes promissoras.

O método é baseado em dois outros já consagrados na literatura: o método multicritério de análise hierárquica (AHP) e o método quantitativo de prospecção de análise de patentes. Como critérios, foram escolhidos o alinhamento com as capacidades da organização com interesse na priorização de tecnologias, e outros quatro critérios baseados no trabalho de Altuntas *et al.* (2015): potencial de desenvolvimento baseado no estágio do ciclo de vida tecnológico (curva-S), potencial de difusão da tecnologia, alcance tecnológico e potencial de expansão.

A utilidade do método proposto foi validada em um estudo de caso para avaliar 16 tecnologias na área de materiais de carbono para a defesa, uma área-chave para o EB. Apesar do trabalho de Altuntas *et al.* (2015) comparar 3 tecnologias na área de eletrônica digital, ele não considera as capacidades a serem desenvolvidas ou aprimoradas pela organização e não utiliza o método AHP. Além disso, na busca por patentes de Altuntas *et al.* (2015), foi utilizada uma plataforma que busca as palavras-chave apenas nos títulos das patentes, enquanto neste trabalho a busca foi feita no título, resumo, palavras-chave e reivindicações das patentes, o que certamente conduziu a resultados mais completos.

Dos resultados obtidos no estudo de caso, a tecnologia grafeno ganhou a maior prioridade, seguida de grafite expandido, nanotubos de carbono e piche de petróleo. Este resultado faz sentido, visto que, dentre as tecnologias analisadas, grafeno e nanotubos de carbono estão entre as quatro tecnologias que mais possuem patentes no mundo, bem como as que possuem mais artigos publicados no Brasil, além de serem a terceira e a segunda tecnologias com mais artigos publicados no mundo, respectivamente. Essas duas tecnologias ainda possuem o mesmo potencial de expansão (0,975), e grafeno tem a segunda maior velocidade de difusão (0,748) e a maior interação com as CO (1,00).

Por outro lado, piche de petróleo e grafite expandido estão entre as dez tecnologias que mais possuem artigos no mundo e no Brasil e entre as oito que possuem mais patentes. Porém grafite expandido, assim como o grafeno, possui a maior interação com as CO (1,00) e a terceira maior velocidade de difusão (0,718), seguido de piche de petróleo com a quarta maior velocidade de difusão (0,65).

De fato, grafeno é uma tecnologia disruptiva com extremo potencial de futuro, visto que possui uma vasta e importante gama de aplicações, além de existirem muitas pesquisas sobre o tema no Brasil e no mundo. Além disso, as três primeiras tecnologias possuem relevância em listas de tecnologias resultadas de exercícios de prospecção tecnológica de países, organizações

e empresas como: Alemanha (MCDOUGALL, 2014), Estados Unidos (DARPA, 2018), União Europeia (ECD, 2016; PENNY *et al.*, 2013; WEPNER, 2012), *Lanlink* (LANLINK, 2018) e Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum*) (MEYERSON e DICHRISTINA, 2016).

Cabe ressaltar que nenhuma das tecnologias que ficaram mais bem colocadas em cada critério figuram entre as quatro primeiras no ranking geral, demonstrando a importância de se considerar mais de um critério e a abrangência do método. Além disso, era esperado que fibra de carbono figurasse entre as primeiras prioridades, visto que o EB já possui um núcleo de desenvolvimento focado nessa tecnologia e ela contribui bastante para o desenvolvimento das CO (0,815). Entretanto, deve-se lembrar que a fabricação dessa fibra é realizada com a matéria prima do piche de petróleo, a qual é a quarta tecnologia de maior importância no resultado final.

4.2 Estudos de caso para Relações de Cooperação em CT&I

Foi feito um estudo de caso para o DCT que consiste em ordenar países para estabelecer prioridades de convênios internacionais. Dezoito países foram pré-selecionados e chamados aqui de P_k ($1 \leq k \leq 18$). O nome dos países é omitido devido ao caráter sensível e sigiloso do estudo demandado pelo DCT. Para conhecimento, pode-se dizer que: P1, P3 e P16 são da América do Norte; P18 da América do Sul; P2 e P14 da Ásia; P15 da África; P4 e P12 da Oceania; e os demais da Europa.

Entende-se que a demanda do DCT é fundamental para o EB, uma vez que, no âmbito da Defesa Nacional, o planejamento estratégico na área de CT&I assume um papel preponderante, sendo componente importante da presença atuante e autônoma de uma nação no mercado mundial (PELLANDA, 2013; MADEU, 2019).

Para estruturar o caso, utilizou-se a segunda edição do Plano Estratégico do Exército (PEEx) para os anos de 2016 a 2019 (EXÉRCITO, 2015), do qual se extraíram as Áreas e Linhas de Pesquisas⁴ para o estabelecimento dos critérios considerando os aspectos científico e mercadológico. Esses parâmetros funcionaram como filtros utilizados nas buscas em bases de dados de patentes, literatura científica e de negócios, tais como *Derwent Innovation*, *Lexis Nexis*, *Web of Science* e *Scopus*. O critério sociocultural foi tomado como parâmetro unificado, ou seja, possui um valor numérico para cada país pré-estabelecido pelos indicadores utilizados, os quais são a seguir apresentados.

Para os três primeiros critérios – níveis de atividade científica, tecnológica e mercadológica, estabeleceram-se os seguintes dados para valoração das alternativas: produção de literatura

⁴ Foram 26 Áreas de Pesquisa de curto prazo (2016-2019) e 17 Linhas de Pesquisa de médio prazo (2020-2027). Para informações mais detalhadas ver EXÉRCITO (2015).

científica – período de janeiro de 2000 a janeiro de 2016; pedidos de patentes – período de janeiro de 2000 a janeiro de 2016; e notícias sobre negócios – período do ano de 2015.

As etapas 1, 2 e 3 do método já foram realizadas. A quarta etapa – a importância relativa entre os critérios – conforme já mencionado, se deu por meio de duas MCP: uma considerando o estabelecimento de convênios para especialização e outra considerando o desenvolvimento e a produção de PRODE. As Tabelas 3 e 4 ilustram essas matrizes e fornecem os pesos calculados para cada critério.

Tabela 3 – MCP para o estudo de caso do DCT considerando convênios para especialização.

	ATIVIDADE CIENTÍFICA	ATIVIDADE TECNOLÓGICA	ATIVIDADE MERCAD.	HABILIDADES SOCIOCULT.	GII	VETOR PESO DOS CRITÉRIOS
ATIVIDADE CIENTÍFICA	1	3	4	3	4	0,399
ATIVIDADE TECNOLÓGICA	1/3	1	3	2	3	0,248
ATIVIDADE MERCAD.	1/4	1/4	1	1/3	1/2	0,262
HABILIDADES SOCIOCULT.	1/3	1/2	3	1	2	0,182
GII	1/4	1/3	2	1/2	1	0,109

Tabela 4 – MCP para o estudo de caso do DCT considerando convênios para desenvolvimento e produção de PRODE.

	ATIVIDADE CIENTÍFICA	ATIVIDADE TECNOLÓGICA	ATIVIDADE MERCAD.	HABILIDADES SOCIOCULT.	GII	VETOR PESO DOS CRITÉRIOS
ATIVIDADE CIENTÍFICA	1	1/3	1/3	3	2	0,165
ATIVIDADE TECNOLÓGICA	3	1	3	4	3	0,347
ATIVIDADE MERCAD.	3	3	1	4	2	0,322
HABILIDADES SOCIOCULT.	1/3	1/4	1/4	1	1/2	0,058
GII	1/2	1/3	1/2	2	1	0,108

A próxima etapa é a avaliação das alternativas à luz de cada critério, ou seja, como cada alternativa será valorada em relação a cada um dos cinco critérios escolhidos.

O nível de atividade científica foi mensurado aplicando-se os filtros de busca na base de dados *Web of Science*. Obteve-se, então, uma lista ordenada segundo o volume de publicações científicas por país, para cada uma das citadas Áreas e Linhas de Pesquisas consideradas. As notas atribuídas a cada uma das nações selecionadas foram calculadas como a razão entre o número de publicações do país em análise e o do país que mais publicou dentre os pesquisados (obtendo-se 1 para o de maior destaque e valores entre 0 e 1 para os demais). No caso de o país não aparecer no *ranking* fornecido pela plataforma *Web of Science*, ou seja, de não demonstrar relevância em publicações para determinados filtros de busca, foi atribuída a ele a nota 0.

A nota de cada país nesse critério foi calculada por meio de ponderação, atribuindo-se pesos diferentes para cada Área e Linha de acordo com sua prioridade estabelecida no PEEEx 2016-2019 (EXÉRCITO, 2015). Assim, obtiveram-se duas mensurações relacionadas ao nível de atividade científica de cada país: uma relativa às Áreas de Pesquisa e outra às Linhas de Pesquisa. Considerou-se no cálculo da nota final geral desse critério a composição das Linhas de Pesquisa com as Áreas de Pesquisas, para as quais, respectivamente, atribuíram-se os pesos 2 e 1. A nota final foi então normalizada.

Em processo similar, no intuito de mensurar o nível de atividade tecnológica de cada país, buscaram-se na base *Derwent Innovation*, para cada Área e Linha de Pesquisa, patentes depositadas relacionadas a pelo menos uma das expressões utilizadas como filtros desse critério.

Dada a definição de tecnologia⁵, assume-se como premissa que as patentes, como indicadores da captação de conhecimento intelectual e de emprego para a produção de bens e serviços, traduzem em termos práticos e objetivos tal definição. Sendo assim, foram usadas classificações internacionais de patentes como indicador e métrica/quantificador do uso do conhecimento obtido em qualquer área de pesquisa com fins industriais e comerciais.

Dessa forma, extraíram-se as principais classificações IPC associadas às palavras-chave de ambas as listas de pesquisas. Adicionalmente, para a ordenação dos países, foram utilizados os filtros gerais supracitados associados aos vinte códigos IPC (disponibilizados pela plataforma) com maior número de ocorrências nos registros da Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI ou, em inglês, *WIPO*). Obteve-se, assim, a lista dos cem países com mais patentes depositadas em cada Área e Linha de pesquisa. A partir dessa lista, destacaram-se as posições dos dezoito países em questão, caso estivessem citados.

A fim de atribuir notas a cada um dos dezoito países no critério nível de atividade tecnológica, foi construída uma tabela para cada Área e Linha de Pesquisa. Como a plataforma *Derwent Innovation* forneceu os números absolutos e os percentuais dos cem países que mais depositaram patentes em cada Área e Linha de Pesquisa (há casos em que o quantitativo máximo de nações não atingiu o citado limite), as notas foram calculadas da seguinte forma: usou-se o percentual de cada país como nota inicial; em seguida, normalizaram-se as mesmas, obtendo-se, assim, a nota de cada país em cada Área e Linha de Pesquisa.

Por fim, calculou-se a nota final de cada país nesse critério da mesma forma que no critério anterior: aplicaram-se os pesos e proporções para cada uma das áreas e linhas de acordo com a prioridade de cada uma delas.

⁵ Dicionário Aurélio: ciência cujo objeto é a aplicação do conhecimento técnico e científico para fins industriais e comerciais.

Para avaliar o nível de atividade mercadológica, utilizou-se o conjunto de todas as palavras-chave para Áreas e Linhas de Pesquisas, na mesma busca, e adicionou-se um filtro vinculado aos países, obtendo a quantidade de publicações na área de negócios⁶ de cada país. Para complementar a análise nesse critério, foram utilizados dados das cem empresas internacionais que mais se destacaram na comercialização de produtos de Defesa no ano de 2015. As informações desse critério foram obtidas no *Top 100 for 2015*, elaborado pela *Defense News*⁷. A lista de 2015, centrada prioritariamente na política, no orçamento e nas questões estratégicas, apresenta uma classificação ordenada das empresas do setor de defesa de acordo com suas respectivas receitas. Dessa lista, selecionaram-se os valores da receita gerada exclusivamente por produtos de Defesa das empresas de origem nos dezoito países em questão e ordenaram-se os mesmos em ordem decrescente de receita.

Nessa esteira, estabeleceram-se duas notas referentes ao nível de atividade mercadológica para cada país: uma dividindo-se cada quantidade absoluta de publicações de cada um deles pela soma de todas elas, e a outra dividindo-se cada receita pela soma total, e ambas as notas foram normalizadas.

Na composição da pontuação relativa a negócios, a proporção entre os dados obtidos via *Derwent Innovation* e *Defense News – Top 100* foi 4:1 (0,8 e 0,2, respectivamente). Além disso, para pontuar os dados provenientes da plataforma *Derwent Innovation*, adotou-se peso 2 para as Linhas de Pesquisa 2020-2027 e peso 1 para as Áreas de Pesquisa 2016-2019. A este item, não se aplicaram os pesos calculados para cada uma das Áreas e Linhas de Pesquisa citadas, em razão da não discriminação das mesmas (os filtros relativos a ambas foram aplicados em conjunto).

Para o critério habilidades socioculturais, adotaram-se os seguintes indicadores:

- Infográfico que sintetiza o Modelo de Lewis (LEWIS, 2006) para as dimensões do comportamento, obtido no site *Cross Culture*⁸;
- Valores das Seis Dimensões do Modelo das Culturas Nacionais no site do *Hofstede Centre*⁹ (HOFSTEDÉ, 2001), centro de pesquisa dedicado à instrução e aprofundamento desta modelagem para o estudo da influência cultural no ambiente corporativo; e

⁶ As publicações de negócios da plataforma utilizada (*Derwent Innovation*) fornecem informações e notícias sobre o mercado, empresas, indústrias e produtos envolvendo os filtros de busca.

⁷ <http://people.defensenews.com/>

⁸ <http://www.crossculture.com/latest-news/the-lewis-model-dimensions-of-behaviour/>

⁹ <http://geert-hofstede.com/countries.html>

- Índice de Progresso Social, publicado por *The Social Progress Imperative*¹⁰, entidade norte-americana sem fins lucrativos. O Índice de Progresso Social oferece um enquadramento para medir as múltiplas dimensões do progresso social de vários países, medindo a capacidade de um país em satisfazer as necessidades sociais e ambientais de seus cidadãos.

Os aspectos socioculturais tiveram suas pontuações calculadas em função dos valores já atribuídos aos respectivos países analisados, segundo cada uma das fontes consultadas. Foram calculadas as diferenças entre cada país e o Brasil, de forma a evidenciar as diferenças culturais que possam vir a dificultar a negociação e o andamento de convênios.

Para compor um único índice associado às diferenças socioculturais entre os países de interesse deste estudo e o Brasil, decidiu-se por tomar a média aritmética dos 3 índices obtidos para cada país.

Como um último critério, foi escolhido o GII. O GII é um projeto em evolução, que se baseia em suas edições anteriores incorporando novos dados disponíveis e que é inspirado na mais recente pesquisa sobre a medição da inovação¹¹. Em 2015, o modelo GII incluiu 141 países / economias que representam 95,1% da população mundial e 98,6% do PIB mundial (em dólares americanos). O GII baseia-se em dois subíndices: o Subíndice de Entrada de Inovação e o Subíndice de Saída de Inovação, cada um construído em torno de pilares tais como: Instituições, Capital Humano e Pesquisa, Infraestrutura etc. Foram tomados os valores absolutos do GII de cada país analisado, os quais foram normalizados (MADEU, 2019).

A partir de tais listagens particulares, acima descritas, e por meio de critérios de mensuração associados ao AHP e especificados anteriormente, estabeleceu-se a ordenação geral dos países.

As 26 Áreas e 17 Linhas de pesquisa de curto e médio prazo, respectivamente, estabelecem a base para a mensuração de cada alternativa sob à luz de cada critério. Como exemplos de Áreas podem ser citadas: Mísseis e Defesa Antimísseis, Sistemas de Guerra Eletrônica; e de Linhas: Segurança de Redes e Sistemas de Comunicações (*wireless*, *wired*, satélite, óptico e *mobile*) (EXÉRCITO, 2015).

Como citado anteriormente, o estudo foi organizado analisando-se o potencial de cada um dos dezoito países nos seguintes critérios: nível de atividade científica, nível de atividade tecnológica, nível de atividade mercadológica, habilidades socioculturais e índice global de inovação, cujos resultados associados serão discutidos a seguir.

¹⁰ <http://https://www.socialprogress.org/>

¹¹ <https://www.globalinnovationindex.org/content/page/GII-Home/>

4.2.1 Discussão dos resultados e conclusões parciais

Como resultado do nível de atividade científica, os cinco países mais bem classificados (P1, P2, P3, P4 e P6) nessa avaliação obtiveram as seguintes notas, respectivamente: 1; 0,379; 0,194; 0,128; e 0,125. Os demais países obtiveram notas menores que 0,08.

Como resultado do nível de atividade tecnológica, os dois países mais bem classificados (P1 e P2) na avaliação de patentes obtiveram as seguintes notas: 1; e 0,406. Os demais apresentaram notas menores que 0,12.

Para o nível de atividade mercadológica, refletindo o desenvolvimento dos negócios e da indústria, o resultado mostrou que os três melhores classificados¹² obtiveram notas significativamente mais altas, respectivamente 1,0, 0,323 e 0,237. Os demais países obtiveram notas menores que 0,08.

Em uma análise preliminar dos dados obtidos via *Derwent Innovation* e *Web of Science*, evidenciaram-se algumas informações consideradas relevantes no que tange às Linhas de Pesquisa de Sistemas de Informação e Contramedidas de Acesso não-autorizado (2020-2027):

- Em relação à primeira, somente P1 obteve destaque na lista dos cem que mais depositaram patentes. Apenas três membros apareceram nessa lista — Estados Unidos, Escritório de Patentes Europeu (*European Patent Office* – EPO) e OMPI;
- Em relação à segunda, no critério nível de atividade científica, da lista dos 18 países, apenas P2 apresentou publicações. Contudo, seu quantitativo (01) foi de pouca expressão em relação ao total (43), que já foi bem reduzido.

Esse resultado mostra que essas linhas de pesquisa ainda apresentam ampla possibilidade de exploração, tanto pelo Brasil quanto por todos os 18 países analisados. Assim, verifica-se a oportunidade de estabelecimento de convênio, com uma ou mais nações dentre as analisadas, com o foco nestas linhas de pesquisa, integrando ao grupo pelo menos um país que seja destaque nessas áreas.

No que tange às notas calculadas referentes ao critério das habilidades socioculturais, o país com a menor diferença cultural com relação ao Brasil, apresentando também um progresso social bastante avançado e a maior nota final, foi P6 (1,0), sendo assim o mais recomendado para convênios considerando somente este aspecto. Por outro lado, P11 (0,553) seria o menos recomendado, por ser o país cuja cultura no ambiente de trabalho mais se distancia da brasileira.

¹² A plataforma *Derwent Innovation* retornou uma quantidade de publicações em negócios para P1 acima de 15.000.000, e como ela não computa um valor tão alto, foi considerado para este país o valor de 15.000.000.

Em relação ao Índice Global de Inovação, o país com maior GII foi o P5 (68,3), seguido de P12 (62,4) e P1 (60,1). O país com menor GII foi P17 (36,41). Para efeitos comparativos, cita-se o índice GII atribuído ao Brasil: 34,95.

Na sexta etapa do método, são calculadas as notas finais de cada alternativa (país) de forma ponderada, utilizando o vetor peso dos critérios. São calculadas separadamente as notas finais considerando convênios para especialização e para desenvolvimento e produção de PRODE. Em seguida, a nota final geral de cada país é calculada pela média aritmética das outras duas. A Tabela 5 apresenta as classificações finais.

Na sétima e última etapa, é realizada a análise de sensibilidade, na qual são realizadas algumas pequenas alterações nos elementos das MCP, no intuito de verificar seu impacto no resultado, verificou-se que as mudanças nas pontuações finais das alternativas foram muito pequenas, não alterando a ordenação das mesmas.

Ressalta-se que, devido à natureza do problema decisório, algumas alterações na ordenação das potenciais organizações para cooperação são aceitáveis, visto que elas foram pré-selecionadas pelo órgão decisor e vê-se vantagens em se firmar parcerias com todas elas, uma pequena diferença nas prioridades não afetaria as decisões tomadas baseadas nesse resultado.

Mesmo com algumas alterações nas matrizes de comparações paritárias, mantendo as relações de importância entre os critérios, mudando apenas sua intensidade, percebeu-se que a classificação final geral de prioridade para convênios praticamente não se alterou, mostrando a consistência do método.

Nesta seção, foi apresentado um novo método de apoio à decisão para o estabelecimento de convênios e parcerias institucionais focadas em capacitação técnica de pessoal e desenvolvimento e produção de produtos/tecnologias, utilizando o método multicritério de apoio à decisão AHP de Saaty (2006). Seguiram-se as bases metodológicas difundidas e empregadas com sucesso por Tetlock e Gardner (2016), elegendo a objetividade como minimizador de fundamentos decisórios equivocados.

Por meio de uma matriz de decisão (MCP), na qual se correlacionam numericamente diferentes parâmetros, utilizando fatores de relevância e pesos, é possível classificar instituições distintas segundo as capacidades que elas dispõem para catalisar a efetiva conquista dos objetivos que a interessada na parceria necessita atingir. Tais fatores são estabelecidos pela análise dos objetivos estratégicos e de dados pesquisados em plataformas específicas. Um exemplo prático ilustra a aplicação e a possibilidade de análise dos resultados obtidos.

Tabela 5 – Ordenação final dos convênios/países.

Ordenação final					
Especialização		PRODE		Final	
P1	1,000	P1	1,000	P1	1,000
P2	0,483	P2	0,410	P2	0,446
P6	0,344	P3	0,296	P3	0,319
P4	0,343	P4	0,281	P4	0,311
P3	0,317	P5	0,192	P6	0,261
P8	0,296	P6	0,181	P8	0,245
P5	0,282	P7	0,178	P5	0,243
P7	0,275	P8	0,176	P7	0,229
P14	0,274	P11	0,164	P9	0,216
P9	0,273	P9	0,161	P11	0,208
P15	0,265	P10	0,155	P10	0,207
P10	0,261	P12	0,154	P12	0,205
P12	0,259	P13	0,152	P14	0,203
P13	0,257	P14	0,136	P13	0,203
P11	0,254	P15	0,135	P15	0,198
P17	0,242	P16	0,131	P16	0,185
P16	0,237	P17	0,130	P17	0,183
P18	0,220	P18	0,111	P18	0,164

Neste exemplo prático, as organizações para potenciais convênios eram países. Por se tratar do EB, faz sentido o estabelecimento com os setores tecnológicos das Forças Armadas desses países. Contudo, vê-se necessário avaliar as universidades, empresas, centros de pesquisa e demais instituições de cada país em questão para o fechamento das parcerias. Por meio da plataforma utilizada (*Derwent Innovation*) é possível extrair algumas dessas instituições de acordo com os filtros de busca, como por exemplo aquelas universidades/empresas que mais publicam artigos e/ou patentes nas áreas de interesse. Essa etapa pode ser realizada após a obtenção da lista de prioridades de convênios.

Nota-se que o método AHP também apresenta coerência e robustez de resultados; permitindo a customização da análise por meio da adição e/ou refinamento de critérios ou subcritérios, dado que a matriz de comparações paritárias pode ter uma alta dimensão e permite relacionar os critérios de forma mais fiel à realidade, considerando a subjetividade do decisor por meio da escala de Saaty.

Essa análise de causalidade múltipla e inter-relações possíveis é uma lição importante que muitas vezes é negligenciada por raciocínios qualitativos imediatos, mas enganosos, que permitem atalhos perigosos para a tomada de decisões estratégicas fundamentais (TALEB, 2014).

5 CONCLUSÃO

O sucesso da aplicação da prospecção tecnológica para gerar esforços de inovação depende de diversos fatores, incluindo o estabelecimento de acordos de cooperação relevantes. Nessa esteira, este trabalho sugere um método de priorização de parcerias na área de CT&I baseado em dados bibliométricos e nas áreas e linhas de pesquisa prioritárias da ICT interessada nas parcerias.

Uma das contribuições desse trabalho é a utilização do método AHP aliado a técnicas bibliométricas, considerando para a avaliação das alternativas o alinhamento com a visão de futuro da ICT.

Para a validação do método, foi realizado um estudo de caso para o DCT no intuito de ordenar 18 países para prioridade de convênios com o EB. Foram utilizados cinco critérios para a avaliação das alternativas baseados em dados bibliométricos de patentes, artigos e negócios, dados socioculturais e no Índice Global de Inovação (GII).

O método se mostrou eficiente e apresentou resultados satisfatórios, coerentes com a realidade de cada país avaliado. Dessa forma, pode-se utilizá-lo como auxílio na tomada de decisão no que tange ao estabelecimento de parcerias na área de CT&I tanto para capacitação de pessoal e especialização, como para pesquisa, desenvolvimento e produção de produtos e tecnologias.

Como proposta de melhoria para o método de priorização de convênios, sugere-se o refinamento dos critérios no que se refere aos seguintes aspectos:

- fator de impacto de artigos;
- força de patentes – tempo de vida, quantidade de citações, empresas depositantes;
- negócios – relatórios de análise setorial (histórico e previsão de valor de mercado, segmentação, principais empresas, cenário competitivo do setor);
- potencial de inovação – pode-se considerar além do GII, dados de investimento em P&D e também as parcerias voltadas para a CT&I já existentes nas organizações em análise.

No que diz respeito às tecnologias, a prospecção de tecnologias futuras é uma tarefa complexa devido às incertezas e à constante mutação das condições do mundo e do mercado. Além disso, informações na área de CT&I são vastas e provêm das mais variadas fontes. Nesse sentido, este trabalho também propõe um método de prospecção para a priorização de tecnologias emergentes promissoras baseado em dados bibliométricos de patentes e nas capacidades da organização que deseja priorizá-las.

Outra contribuição deste estudo é a utilização conjunta de um método de análise multicritério com métodos bibliométricos de prospecção, congregando quatro indicadores para a análise de patentes e considerando também a importância das capacidades da organização, que pode ser adaptada conforme os decisores acharem necessário.

A abrangência deste trabalho se diferencia no contexto da literatura de prospecção tecnológica, pois engloba um número considerável de tecnologias de uma determinada área (materiais de carbono). Não somente esse número pode ser expandido como também mais de uma área tecnológica pode ser comparada. A maioria dos estudos encontrados na literatura envolvendo as técnicas aqui utilizadas avalia o escopo de somente uma tecnologia ou de um pequeno grupo de até três tecnologias para fins comparativos, utilizando apenas alguns dos critérios aqui selecionados ou então avaliando-os separadamente.

Contudo, existem algumas limitações deste estudo. Primeiro, a plataforma utilizada para coletar os dados (Lexis Nexis) é bastante completa e robusta, porém é uma plataforma paga, não tendo livre acesso, apesar de existirem outras de acesso aberto, porém não tão completas. Segundo, os decisores deste estudo de caso foram os próprios autores do artigo – com exceção da seleção das tecnologias que obteve auxílio de especialistas externos – o que pode ser aprimorado com mais decisores na equipe de decisão e/ou apoio de pesquisadores da área.

Ainda, existem muitos outros fatores que afetam a tomada de decisão na área de CT&I no que diz respeito a investimento em P&D tais como: tempo de retorno do investimento, objetivo final do projeto, custo e qualidade de instalações, força de trabalho etc. (FREITAS, 2013; ALTUNTAS *et al.*, 2015). Esses fatores devem ser levados em consideração na hora de tomar a decisão final pelo investimento em uma das tecnologias priorizadas.

Como estudos futuros, se propõe estudar um melhor uso dos códigos IPC, além de somente considerá-los quantitativamente. Também, sugere-se definir com mais precisão os pontos que definem os estágios do CVT na curva-S, podendo-se comparar melhor o critério potencial de desenvolvimento de cada tecnologia. Existem modelos matemáticos que podem ser utilizados (ALTUNTAS *et al.*, 2015; ZARTHA *et al.*, 2016). Além disso, ao utilizar apenas dados de patentes publicadas, os países com maior tempo de análise entre o depósito e a publicação ficam prejudicados; sendo assim, recomenda-se, como um aprimoramento do método, considerar essa defasagem temporal.

Ainda, a criticidade de cada tecnologia pode ser considerada, dado que o critério de interação com as capacidades da organização pode ser refinado ao se levar em conta não só a quantidade de capacidades com as quais cada tecnologia contribui, mas também o quão crítica é essa contribuição. Dessa forma, esse critério poderia ser chamado de Alinhamento Estratégico.

Nesse sentido, o critério Potencial de Desenvolvimento também pode ser aprimorado ao ser analisado não só por meio da curva-S de patentes, mas também de artigos, sendo interessante considerar a qualidade/fator de impacto de cada um deles.

Além disso, o potencial de inovação de cada tecnologia pode ser levantado como um dos critérios, visto que ele pode ser obtido por meio de uma análise qualitativa das patentes coletadas, bem como pelo seu grau de maturidade (*Technology Readiness Level* – TRL).

De uma forma geral, a aplicação do método AHP mostrou-se razoável e os resultados obtidos coerentes e confiáveis (após análise de sensibilidade), evidenciando o método proposto como um facilitador da tomada de decisão no que diz respeito a investimentos em P&D, capacitação de pessoal, rede de parcerias e tudo que esteja relacionado com o desenvolvimento das tecnologias priorizadas. Pois uma tecnologia apontada como de alta prioridade oferece menos riscos e possui maiores chances de sucesso futuro, podendo receber mais incentivos que outras que possuem menor prioridade.

Sendo assim, o método aqui descrito oferece respostas para questões como: quais tecnologias são mais apropriadas para investimento em P&D e qual a ordem de prioridade para determinados projetos envolvendo essas tecnologias. Gestores, chefes e decisores podem se beneficiar do método para priorizar projetos baseado no potencial de futuro de cada um deles.

Por fim, pode-se dizer que tanto para a priorização de convênios em CT&I, quanto de tecnologias, o AHP e as técnicas bibliométricas se mostraram úteis e sua combinação se apresentou como uma forte ferramenta de prospecção tecnológica para apoio a decisão envolvendo a área de CT&I.

6 REFERÊNCIAS

ALTUNTAS, S.; DERELI, T.; KUSIAK, A. Forecasting technology success based on patent data. **Technological Forecasting & Social Change**, 96:202–214, 2015.

AMARAL, R. R.; SARTORI, V.; DE A. CUNHA, C. J. C. Parques tecnológicos: a sinergia da hélice tríplice pela visão autopoietica. **Anais do 3º Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação**, págs. 20–23, 2013.

BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process**. Springer, Londres, 2003.

BROCKHOFF, K. Instruments for patent data analyses in business firms. **Technovation**, 22(1):41–59, 1992.

CAMPBELL, R. S. Patent trends as a technological forecasting tool. **World Patent Information**, 5(3):137–143, 1983.

CHANG, S.-B.; LAI, K.-K.; CHANG, S.-M. Exploring technology diffusion and classification of business methods: Using the patent citation network. **Technological Forecasting & Social Change**, 76:107–117, 2009.

CHANG, S.W.C.; TRAPPEY, C.V.; TRAPPEY, A.J.C.; WU, S.C.Y. Forecasting dental implant technologies using patent analysis. **PICMET '14: Infrastructure and Service Integration**, Kanazawa, Japan, 2014, pp. 1483–1491.

CHEN, Y. H.; CHEN, C. Y.; LEE, S. C. Technology forecasting and patent strategy of hydrogen energy and fuel cell technologies. **African Journal of Business Management**, vol. 4, n. 7, 2010, p. 1372-1380.

CHENG, A. C.; CHEN, C. Y. The technology forecasting of new materials: the example of nanosized ceramic powders. **Romanian Journal of Economic Forecasting**, vol. 5, n. 4, 2008, p. 88–110.

CIOFF, D. A tool for managing projects: An analytic parameterization of the s-curve. **International Journal of Project Management**, 23:215–222, 2005.

DAIM, T. D.; RUEDA, G.; MARTIN, H.; GERDSRI, P. Forecasting emerging technologies: use of bibliometrics and patent analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, vol. 73, n. 3, 2006, p. 981–1012.

DARPA. **DARPA Open Catalog**. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), Virginia, EUA, 2018.

ECD. **Horizon 2020 – work programme 2016-2017 future and emerging technologies**. Technical report, European Commission Decision, 2016.

ERNST, H. The use of patent data for technological forecasting: the diffusion of CNC-technology in the machine tool industry. **Small Business Economics**, v. 9, n. 4, p. 361-381, 1997.

ESCRITÓRIO DE PROJETOS DO EXÉRCITO, E. Projetos estratégicos do exército brasileiro. **Military Review**, (1):39–41, 2013.

EXÉRCITO. Catálogo de capacidades do Exército 2015-2035. Relatório técnico, Exército Brasileiro, 2015a.

EXÉRCITO. Boletim especial do exército n.06/2017 – Sistemática de planejamento estratégico do Exército: fase 5, Plano Estratégico do Exército 2016-2019 – 3a edição/2015. p. 49-51, 2015b.

FARIA, L. I. L. D. **Bibliometria**. Technical report, Universidade Federal de São Carlos/Departamento de Ciência da Informação, São Carlos, 2015.

FREITAS, J. E. **O sistema de inovação no setor de defesa no Brasil: proposta de uma metodologia de análise prospectiva e seus possíveis cenários**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília/ Escola de Administração, 2013. 335 p. Orientador: Luiz Guilherme de Oliveira.

GAY, C.; BAS, C. L.; PATEL, P.; TOUACH, K. The determinants of patent citations: an empirical analysis of french and british patents in the us. **Economics of Innovation and New Technology**, 14(5):339–350, 2005.

GODET, M. **Creating Futures Scenario Planning as a Strategic Management Tool**. Economica, 2006.

HOFSTEDE, G. **Culture's consequences: Comparing values, behaviors, institutions, and organizations across nations**. Sage Publications, 2001. 2a ed.

HUANG, L.; WANG, N. Status and prospects of technology diffusion research based on patent information. **Lecture Notes in Electrical Engineering**, 185:167–180, 2013.

JUN, S.; LEE, S. J. Emerging technology forecasting using new patent information analysis. **International Journal of Software Engineering and its Applications**, vol. 6, n. 3, 2012, p. 107–116.

LANLINK. **17 tecnologias do futuro da TI**, 2017. URL <https://www.lanlink.com.br/>. Acesso em: 17 fev 2018.

LEWIS, R. D. **When cultures collide: leading across cultures**. WS Bookwell, 3 edition, 2006.

MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. **Ciência da Informação**, 27(2):134–140, maio/agosto 1998.

MACDOUGALL, W. **Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future**. Technical Report 20750, Germany Trade and Invest, Berlim, 2014.

MACROBERTS, M. H.; MACROERTS, B. R. Problems of citation analysis: a critical review. **Journal of the American Society for Information Science**, 40(5):342–349, 1989.

MADEU, F. C. B.; PELLANDA, P. C.; DE ARAÚJO, L. O.; FERNANDES, L. L.; JR., I. B. Prioritization of potential agreements between science, technology and innovation institutions: Prospective analysis for sorting countries according to interest areas of Brazilian army from the scientific and technological perspectives. Em **III Congresso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería**, Bogotá, Colômbia, outubro 2017.

MADEU, F. **Prospecção tecnológica utilizando a análise multicritério e técnicas bibliométricas: estudos de caso para o setor de defesa**. 2019. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Defesa) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2019.

MERINO, D. Development of a technological s-curve for tire cord textiles. *Technological Forecasting and Social Change*, 37:275–291, 1990.

MEYERSON, B.; DICHRISTINA, M. Top 10 emerging technologies of 2016. Technical Report 220616, **World Economic Forum’s Meta-Council on Emerging Technologies**, 2016.

OKUBO, Y. **Bibliometric indicators and analysis of research systems: methods and examples**. Technical Report OCDE/GD (97)41, Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE), Paris, 1997.

PASSOS, A. C. **Definição de um índice de qualidade para distribuidoras de energia elétrica utilizando o apoio multicritério à decisão e análise de séries temporais**. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro/Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2010. 101p. Orientador: Reinaldo Castro Souza.

PASSOS, A. C.; TEIXEIRA, M. G.; GARCIA, K. C.; CARDOSO, A. M.; GOMES, L. F. A. M. Using the todim-fse method as a decision-making support method for oil spill response. **Computers & Operational Research**, 42:40–48, 2014.

PELLANDA, P. C. A nova estrutura do sistema de ciência e tecnologia do exército e a produção de conhecimentos e inovações tecnológicas para a área de defesa. **Coleção Meira Mattos**, 7(30):183–199, setembro 2013. Rio de Janeiro.

PENNY, M.; HELLGREN, T.; BASSFORD, M. **Future technology landscapes: Insights, analysis and implications for defence**. Technical report, RAND Europe Corporation, 2013.

QUEIROZ, C. F. D. **Uma história institucional do Centro Tecnológico do Exército (1979-2013)**. Dissertação de Mestrado, Fundação Getúlio Vargas - Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil (CPDOC), Rio de Janeiro, março 2015.

ROGERS, E. M. **Diffusions of innovations**. The Free Press, 3rd edition, 1983.

SAATY, T. L. **Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process**. RWS publications, Pittsburgh, 2nd edition, 2006. E-book.

STEWART, T. J. A critical survey on the status of multiple criteria decision-making theory and practice. **OMEGA International Journal of Management Science**, 20(5/6):569–586, 1992.

TALEB, N. N. **A Lógica do Cisne Negro, o Impacto do Altamente Improvável**. Best Business, Rio de Janeiro, 2014.

TETLOCK, P. E.; GARDNER, D. **Superprevisões, a Arte e a Ciência de Antecipar o Futuro.**

Rio de Janeiro, 2016.

VAN RAAN, A. F. J. Scientometrics: state-of-the-art. **Scientometrics**, 28(1):205–218, 1997.

YOON, B.; PARK, Y. Development of new technology forecasting algorithm: hybrid approach for morphology analysis and conjoint analysis of patent information. **Transactions on Engineering Management**, vol. 54, n. 3, 2007, p. 588–599.

YOON, J.; KIM, K. An analysis of property – function-based patent networks for strategic R&D planning in fast-moving industries: the case of silicon based thin film solar cells. **Expert Systems with Applications**, vol. 39, n. 9, 2012, p. 7709–7717.

ZARTHA, J. W.; PALOP, F.; ARANGO, B.; VELEZ, F. M.; AVALOS, A. F. S-curve analysis and technology life cycle: application in series of data of articles and patents. **Revista Espacios**, 37(7):19–35, 2016.