

Prospecção tecnológica utilizando análise de patentes e o método AHP: estudo de caso dos materiais de carbono para o setor de defesa

Fernanda Castello Branco Madeu*, Paulo César Pellanda, Aderson Campos Passos

^a Instituto Militar de Engenharia (IME)

Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

*fernanda7407@gmail.com

RESUMO: Este trabalho apresenta um novo método quantitativo de prospecção tecnológica para apoio à tomada de decisão na área de Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI). O objetivo principal é priorizar tecnologias de uma determinada área com base em um método multicritério conhecido como Processo de Análise Hierárquica (AHP). A ideia é utilizar um novo conjunto de critérios que consideram parâmetros quantitativos relacionados ao número de registros de patentes e a uma medida do alinhamento entre as tecnologias e os objetivos estratégicos da organização que deseja priorizá-las. O resultado é uma listagem das potenciais tecnologias ordenadas segundo índices calculados a partir da ponderação das pontuações parciais obtidas para cada critério de mensuração, indicando aquelas mais promissoras considerando-se a sua difusão e o seu alinhamento com a organização. O método proposto é aplicado a um estudo de caso de tecnologias na área de materiais de carbono para o Exército Brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Prospecção tecnológica. Multicritério. AHP. Patentes.

ABSTRACT: This paper presents a new quantitative prospective method for decision support in the field of Science, Technology and Innovation (STI). The main objective is to define a priority order for technologies in a specific field based on a multicriteria method known as Analytic Hierarchy Process (AHP). The idea is to use a new set of criteria that consider quantitative parameters related to the number of patent registers and to a measure of the alignment between the technologies and the strategic goals of the organization seeking their prioritization. The final result is a listing of potential technologies ordered according to indexes computed from weighting the partial scores obtained for each measurement criteria. It indicates the most promising technologies considering their diffusion and alignment with the organization. The proposed method is applied in a case study for the Brazilian Army in the field of carbon materials.

KEYWORDS: Technology foresight. Multicriteria. AHP. Patents.

1. Introdução

O desenvolvimento de produto/serviço de alto valor tecnológico agregado depende de equipe capacitada, recursos financeiros, laboratórios e demoram bastante tempo até a entrega do produto ou serviço para o cliente final. Devido a essa demora, é fundamental compreender as necessidades do mercado e os desafios futuros através da prospecção, de maneira que o produto/serviço não esteja obsoleto no momento do seu lançamento. No caso específico dos produtos de defesa (PRODE), devem ser consideradas as possíveis ameaças e seus impactos nos requisitos desses produtos e o quanto eles irão contribuir para as capacidades requeridas

pela organização que os produz [1].

As organizações envolvidas com o desenvolvimento desses produtos devem se planejar estrategicamente e tomar decisões acertadas a respeito das tecnologias que irão priorizar, considerando: o impacto que essas tecnologias terão no contexto dissuasório nacional, a capacidade que a indústria nacional terá para trabalhar com as tecnologias selecionadas, a possibilidade de utilizar essas tecnologias em produtos civis e as limitações de recursos para o seu desenvolvimento, dentre outros aspectos [2][3][4][5].

Nessa esteira, a análise prospectiva associada à análise de decisão no campo da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) se torna 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 [6].

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 à 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.

Tanto para diminuir as incertezas de resultados, como também pelo fato de informações referentes a CT&I serem provenientes das mais diversas fontes de dados, tornando assim sua coleta, processamento e análise 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 [1]. O método proposto neste trabalho é voltado para instituições ancoradas no tripé CT&I e envolve conjuntamente o método multicritério de tomada de decisão *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o método de prospecção baseado em análise de patentes.

O método aqui proposto visa analisar tecnologias diversas de uma mesma área do conhecimento, no intuito de realizar uma comparação abrangente entre elas, para auxiliar na tomada de decisão no que diz respeito à seleção de tecnologias para investimento em PD na área em questão. Para ilustrar sua eficiência ele é aplicado a um estudo de caso da área de materiais de carbono.

A principal contribuição deste estudo é a utilização conjunta de um método de análise multicritério com outro método 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 também 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 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.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: nas duas próximas seções, são apresentados os principais aspectos relacionados com os dois métodos propostos para serem conjuntamente utilizados; na seção seguinte, o método proposto é apresentado; a sexta seção apresenta o estudo de caso; os resultados e conclusões são apresentados na última seção.

2. Análise de Decisão Multicritério

Tomar decisões é uma das tarefas mais importantes dos líderes e gestores, mas também uma das mais difíceis e arriscadas. Decisões mal tomadas podem acabar com negócios, projetos e até carreiras de formas irreparáveis. Mas o que define uma decisão mal tomada? Na maioria das vezes, elas estão associadas a maneira como o decisor chegou até elas, ou seja, aos erros cometidos no processo decisório – as alternativas não foram bem definidas, as informações importantes não foram bem coletadas, os custos e benefícios não foram bem calculados [7].

Os métodos de análise de decisão multicritério (*Multicriteria Decision Making* – MCDM) se apresentam como uma alternativa para auxiliar e diminuir os erros cometidos no processo de tomada de decisões complexas.

As origens desses métodos estão ligadas a como um decisor pode escolher entre potenciais alternativas sob à luz de múltiplos objetivos [8]. Ao longo dos anos, os estudos sobre esses métodos têm se desenvolvido, gerando uma nova área de pesquisa com as mais diversas aplicações, desde situações de tomada de decisão operacionais até de planejamento estratégico

de alto escalão [9].

No contexto da prospecção tecnológica, o potencial dos MCDM não tem sido muito aproveitado. Isso pode ser explicado pelo fato de que exercícios de prospecção vêm se tornando cada vez mais comuns e a literatura sobre o assunto tem dado mais importância a questões organizacionais do que a questões metodológicas [8].

No entanto, tem-se observado relatos favoráveis sobre métodos de MCDM em contextos como previsão de julgamento, avaliação de projetos e gerenciamento de portfólio de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), apontando que esses métodos podem ser promissores no contexto prospectivo [8].

De fato, exemplos de aplicações bem-sucedidas de MCDM podem ser encontrados em várias áreas, como: energia [10], saúde [11] e avaliação de tecnologias (*Technology Assessment*) [12].

Existem diversos métodos de análise de decisão multicritério e que podem ser classificados de diversas formas. Uma classificação largamente aceita divide as técnicas de MCDM em duas categorias: multiatributo (*Multiattribute Decision Making* – MADA) e multiobjetivo (*Multiobjective Decision Making* – MODA). Os problemas multiatributo são discretos, ou seja, possuem um número inteiro predeterminado e limitado de alternativas (problema de seleção); já problemas multiobjetivos são contínuos, ou seja, possuem uma quantidade contínua de alternativas e a melhor solução está em uma região entre as soluções possíveis (problemas de projeção) [13]. O método adotado neste trabalho (AHP) é classificado como MADA e será explanado a seguir.

2.1 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 este 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 [14].

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 [14].

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 [13]. Esses pesos são calculados considerando a relação entre os critérios, a qual é baseada na Escala de Saaty, ilustrada na **tabela 1**. A **figura 1** ilustra uma estrutura hierárquica genérica do método AHP.

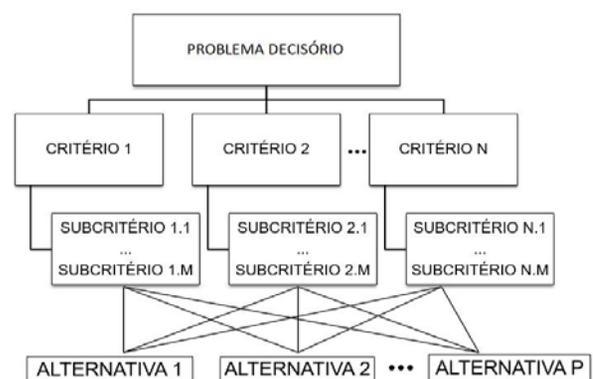


Fig. 1 – Estrutura hierárquica genérica do AHP.

Tab. 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: Adaptado de [14].

3. Prospecção tecnológica

A primeira questão a ser considerada aqui é terminológica. Dada a crescente importância do tema em questão, cabe discutir sobre os diversos termos que vêm sendo utilizados na literatura e suas definições, para então estabelecer o significado adotado neste trabalho. Alguns autores, como Raul Grumbach, têm utilizado o termo prospecção com o mesmo significado de *foresight*, o que levou a associação dos dois termos no início das pesquisas sobre o tema no Brasil [6][15]. Coates [16] definiu o termo *foresight* como “um processo pelo qual pode-se chegar a um entendimento mais completo das forças que moldam o futuro a longo prazo e que devem ser levadas em consideração na formulação de políticas, planejamento e tomadas de decisão”. Ainda de acordo com Coates [16], o *foresight* inclui métodos quantitativos e qualitativos para monitorar indicadores de tendências de desenvolvimento e sua evolução; ele é particularmente útil quando está diretamente ligado a análises de políticas e seus resultados. Cabe ressaltar que o *foresight* não define políticas, mas pode torná-las mais apropriadas e flexíveis e sua implementação mais orientada aos objetivos da organização que o utiliza, mesmo em condições instáveis [17].

O termo *prospecção* também pode ser associado ao termo em inglês *forecast*. Contudo, este é conhecido por ser um estudo de futuro técnico, com caráter preditivo e probabilístico e, normalmente, exige o máximo de precisão em seus resultados. Tal

característica excluía a possibilidade de que as ações humanas e acontecimentos inesperados possam alterar as previsões de futuro, estando aí a principal diferença entre *forecast* e *foresight* [18].

Além disso, *foresight* é considerado um processo, e não somente um conjunto de ferramentas técnicas como é o caso do *forecast*. A prática do *foresight* envolve o reconhecimento explícito que os desenvolvimentos tecnológicos e científicos dependem de escolhas feitas pelos atores no presente, isto é, não estão determinados apenas por alguma lógica intrínseca, nem acontecem de maneira independente e aleatória. Dessa forma, o processo de *foresight* leva a interações sob o pano de fundo caótico de um período de mudanças, promovendo o fluxo de conhecimentos entre os diversos atores envolvidos [17].

Nesse contexto, o *foresight* pressupõe uma antecipação, pois exige uma atitude proativa que prepara a organização para o que está por vir, ao invés de considerar uma ação somente quando o futuro chega. Ele envolve claramente o reconhecimento de que as escolhas feitas hoje podem moldar o futuro, e que previsões determinísticas em áreas que sofram alta influência das esferas política e social, como a Ciência e Tecnologia (CT), não possuem muito valor [18].

Com isso, o termo *foresight* passou a ser mais utilizado ao se tratar de previsões na área de CT, futuramente evoluindo para os termos *Technology Foresight*, bem como para outros termos que foram surgindo ao redor do mundo, conforme as pesquisas no ramo foram se espalhando.

O significado do termo *prospecção* adotado neste trabalho é aquele associado ao *foresight*, já que o foco é a área de CT&I, e seu uso estará sempre associado à Prospecção Tecnológica, assim como em *Technology Foresight*. A seguir, apresenta-se a definição de Prospecção Tecnológica que serve de base para a presente pesquisa. Ela foi estruturada baseada nas definições dos termos discutidos, apoiando-se, principalmente, nos trabalhos de Coates [16], Zackiewicz [17] e Martin [18]: Prospecção Tecnológica é um processo com o objetivo de garantir que as áreas que possam trazer os maiores benefícios futuros

sejam detectadas e identificadas em seus estágios iniciais, assumindo que a CT&I possa contribuir significativamente para as esferas social, cultural e econômica. O processo gira em torno de avaliar as chances de desenvolvimento futuro e as opções de ações presentes viáveis de serem realizadas para alcançá-lo, agindo de forma proativa em relação às mudanças. Ele pode ser conduzido por meio de uma combinação de técnicas qualitativas e/ou quantitativas, levando em consideração os objetivos estratégicos da organização, bem como aspectos relacionados às condições do ambiente em que está inserida e aos atores envolvidos.

Com esse conceito principal em mente, pode-se dizer que a prospecção pode assumir algumas funções complementares. Dentre as seis apontadas por [17], encontra-se a definição de prioridade, que consiste em identificar e priorizar os desenvolvimentos mais promissores para a P&D de um país ou organização. É essa função do processo de prospecção que norteia o presente trabalho. Para realizar o processo de prospecção, existem alguns métodos disponíveis, os quais podem ser combinados e/ou adaptados de acordo com as necessidades e objetivos de cada organização que os utiliza. Os autores de [19] classificam esses métodos em três categorias: qualitativos, semi-quantitativos e quantitativos.

O método proposto nesta pesquisa se baseia no método de análise de patentes, o qual é classificado como um método quantitativo de prospecção (apesar de também permitir uma análise qualitativa dependendo do enfoque) e será discutido a seguir.

3.1 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 industrial¹); 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 *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 [6] [21].

Segundo Campbell [22], 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 firmas 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 [22].

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

¹Artifício utilizado por pessoas físicas ou jurídicas para preservar a natureza confidencial de uma informação e evitar que a mesma seja divulgada, adquirida ou usada por terceiros não autorizados, desde que tal informação seja secreta, tenha valor comercial por ser secreta, e tenha sido objeto de precauções razoáveis para mantê-la secreta pela pessoa legalmente responsável. Por informação secreta entende-se aquela que não seja conhecida em geral e nem facilmente acessível a pessoas que nor-

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 [6] [21].

A etapa que envolve análise de patentes do método aqui proposto baseia-se no trabalho de Altuntas [23], no qual os autores estabeleceram um método baseado em dados de patentes para estabelecer o sucesso tecnológico de determinada tecnologia. Para tanto, eles utilizaram quatro critérios os quais serão discutidos a seguir: Ciclo de Vida Tecnológico (CVT), Velocidade de Difusão Tecnológica e Abrangência tecnológica – que engloba os critérios Alcance e Potencial de Expansão.

3.1.1 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 [21][24][25]. 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 [21] [26], conforme mostra a **figura 2**.

O primeiro estágio – fase de iniciação – representa um baixo crescimento do desempenho tecnológico em relação aos esforços aplicados em P&D. No segundo estágio – fase de crescimento – o progresso tecnológico, marginal em relação ao tempo e recursos de P&D investidos (tangente à curva), é positivo. Em contrapartida, no terceiro estágio – fase de maturidade – o aumento marginal é negativo. Já no quarto estágio – fase de saturação – pequenos aumentos no desempenho tecnológico só são possíveis se for dispendido um grande esforço em P&D [21].

Com base no CVT ilustrado pela curva-S, podem ser tomadas decisões estratégicas envolvendo investimento de tempo e esforços em P&D. As fases de iniciação e saturação são as que apresentam o maior risco, pois possuem as menores taxas de progresso do

desempenho tecnológico. Já as fases de crescimento e maturidade são as mais recomendadas para investimento, dado que apresentam maiores taxas de crescimento do desempenho tecnológico, possuindo assim mais chance de sucesso [21][23].

Neste trabalho, assume-se que os investimentos são mais vantajosos se forem realizados na segunda e terceira fases do CVT representado pela curva-S.

Uma das limitações da medição dessa curva é que ela é medida apenas considerando a dimensão tecnológica, excluindo o aspecto econômico para a avaliação de potenciais tecnologias [27]. A integração do desempenho econômico ao conceito da curva-S pode ser alcançada através da análise de patentes, proposta neste trabalho. Ainda, a atividade patentária reflete o mais recente estado da arte do desenvolvimento de uma tecnologia e é orientada para a comercialização de tecnologias emergentes, possuindo uma relação positiva com mudanças de mercado [21][28].

Nesse sentido, informações e dados advindos da análise

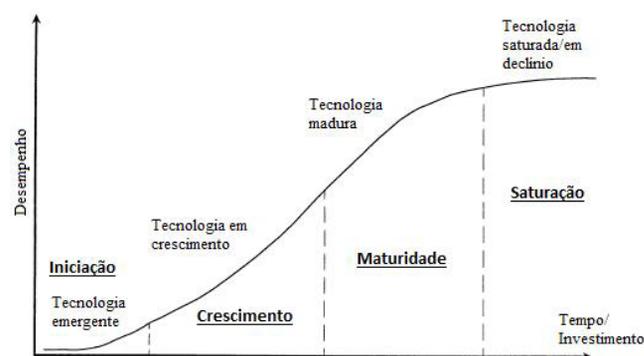


Fig. 2 – Curva-S representando o CVT. Fonte: Adaptado de [21].

de patentes podem ser fortes aliados no processo de prospecção tecnológica e, conseqüentemente, no auxílio à tomada de decisão [27]. Sendo assim, tem crescido a importância dos bancos de dados de patentes como fonte de informações para o planejamento estratégico de organizações. Essas informações auxiliam no planejamento de recursos para gerenciar o desenvolvimento de uma tecnologia ou produto, bem como na avaliação sistemática da posição relativa de mercado dos competidores [29].

Assim, nesta pesquisa, como primeiro critério, utiliza-se a quantidade acumulada de patentes de determinadas tecnologias para identificar em que estágio de seu ciclo de vida elas se encontram, a fim de verificar quais delas proporcionariam um investimento mais promissor.

Cabe ressaltar que o CVT pode ser utilizado como critério de duas formas: ele pode ser exclusivo – quando uma alternativa não estiver nas fases de crescimento ou maturidade ela é excluída – ou pode ser relativo – quando uma alternativa estiver nas duas fases mais promissoras ela receba uma determinada nota, e quando estiver nas outras duas fases, receba uma nota inferior. Em ambos os casos ele compara as alternativas. No estudo de Altuntas [23] ele foi adotado como critério exclusivo, neste trabalho ele será adotado como critério relativo, pois deseja-se considerar que mesmo tecnologias emergentes ou saturadas possam ser levadas em conta.

Para tecnologias nos estágios de crescimento e maturidade será atribuído o valor 1, para aquelas no estágio de iniciação, o valor 0,5 e para aquelas saturadas/em declínio, o valor 0,1.

3.1.2 Velocidade de Difusão Tecnológica

A difusão tecnológica é um processo pelo qual uma inovação se espalha por meios específicos dentro de um sistema social [30]. Um dos meios mais significativos se dá através do processo de citação de patentes [31].

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 previamente 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 [32].

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 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 [31].

Considerando o conceito de difusão tecnológica previamente exposto, pode-se inferir que investir em uma tecnologia com um alto potencial de difusão deve 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 [23]: 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.

3.1.3 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 [23].

A abrangência pode ser medida por meio de dois indicadores, definidos por Altuntas [23], aqui denominados de alcance e potencial de expansão de determinada tecnologia.

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 [23] [33].

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 **equação 1** [23]:

$$A = x/y, \quad (1)$$

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, assim, o desenvolvimento de determinada tecnologia pode contribuir para o desenvolvimento de outras novas tecnologias associadas a ela.

Em resumo, quanto maior o alcance e o potencial de expansão de uma determinada tecnologia, maior a sua abrangência tecnológica e mais promissora é essa tecnologia, oferecendo um menor risco de investimento e maior potencial de futuro.

4. Capacidade tecnológica de uma organização

Segundo Figueiredo [34], uma capacidade tecnológica de uma organização engloba quatro componentes: i) sistemas técnicos-físicos (capital físico: equipamentos, bancos de dados, *softwares*, etc.); ii) sistemas organizacionais, gerenciais e institucionais (capital organizacional: rotinas, procedimentos, normas, crenças, valores);

iii) pessoas (capital humano: conhecimento tácito, experiências, qualificações, talentos); iv) produtos e serviços. Assim, a capacidade de uma organização para criar, adaptar, gerir e gerar esses componentes, bem como a interação entre eles, é chamada de capacidade tecnológica [34].

Contudo, existe um grau de prioridade entre esses componentes, especialmente em casos de países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Para as organizações desses países, o capital humano e o capital organizacional possuem uma importância maior, visto que sistemas técnico-físicos e produtos e serviços podem ser inicialmente importados, o que não acontece com rotinas, valores, crenças, experiência e conhecimento tácito dos recursos humanos [34].

Como principal premissa deste trabalho, supõe-se que a instituição que aplica o método proposto tem sua visão de futuro bem estabelecida e possui forte coerência entre esta e as prioridades de capacidades tecnológicas a serem adquiridas, aperfeiçoadas ou potencializadas. Essas capacidades podem ser estabelecidas de diversas formas, dependendo dos decisores do alto escalão da organização.

Como exemplo, no caso do Exército Brasileiro (EB), o estabelecimento das capacidades tecnológicas está intrinsecamente ligado às Capacidades Militares Terrestres (CMT) que se desdobram nas Capacidades Operativas (CO). Essa relação torna-se mais clara ao se constatar que as CMT são, em grande parte, suportadas por Materiais de Emprego Militar (MEM), e estes, quando considerados de grande importância estratégica, são obtidos por PD&I cujas tecnologias envolvidas podem ser determinadas via prospecção tecnológica.

Segundo versão mais recente do Catálogo de Capacidades do Exército, uma CMT: “é constituída por um grupo de capacidades operativas com ligações funcionais, reunidas para que os seus desenvolvimentos potencializem as aptidões de uma força para cumprir determinada tarefa dentro de uma missão estabelecida”. E uma CO: “é a aptidão requerida a uma força ou organização militar, para

Tab. 2 – Lista de capacidades

CMT	CO
PRONTA RESPOSTA ESTRATÉGICA	Mobilidade Estratégica
	Suporte à Projecção de Força
	Prontidão
SUPERIORIDADE NO ENFRENTAMENTO	Combate Individual
	Operações Especiais
	Ação Terrestre
	Manobra Tática
	Apoio de Fogo
APOIO A ÓRGÃOS GOVERNAMENTAIS	Mobilidade e Contramobilidade
	Proteção Integrada
	Atribuições subsidiárias
	Emprego em apoio à política externa em tempo de paz
COMANDO E CONTROLE	Ações sob a égide de organismos internacionais
	Planejamento e Condução
	Sistemas de Comunicações
	Consciência Situacional
	Gestão do Conhecimento e das Informações
	Digitalização do Espaço de Batalha
SUSTENTAÇÃO LOGÍSTICA	Modelagem, Simulação e Prevenção
	Apoio Logístico para Forças Desdobradas
	Infraestrutura da Área de Operações
	Gestão e Coordenação logística
	Saúde nas Operações
INTEROPERABILIDADE	Gestão de Recursos Financeiros
	Interoperabilidade conjunta
	Interoperabilidade combinada
PROTEÇÃO	Interoperabilidade interagência
	Proteção ao Pessoal
	Proteção Física
SUPERIORIDADE DE INFORMAÇÕES	Segurança das informações e Comunicações
	Guerra Eletrônica
	Operações de Apoio à Informação
	Comunicação Social
CIBERNÉTICA	Inteligência
	Exploração Cibernética
	Proteção Cibernética
	Ataque Cibernético

Fonte: Adaptado de [35].

que possam obter um efeito estratégico, operacional ou tático. É obtida a partir de um conjunto de sete fatores determinantes, inter-relacionados e indissociáveis: Doutrina, Organização (e/ou processos), Adestramento, Material, Educação, Pessoal e Infraestrutura – que formam o acrônimo DOAMEPI” [35].

Tanto as CMT, quanto as CO, são determinadas pelo Estado Maior do Exército (EME), e são resultado de métodos de análise de cenários futuros e de estudos estratégicos, que estão fora do escopo deste trabalho. Em [35], são estipuladas nove CMT e um total de 38 CO, bem como fornecidas as suas definições. A **tabela 2** apresenta a lista de CMT e CO associadas.

5. Metodologia

O método aqui proposto 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. No caso em questão, foram definidos cinco critérios: interação com as capacidades a serem desenvolvidas/aprimoradas pela organização. Para o EB, levaram-se em consideração as CMT e as CO; 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; a velocidade tecnológica de difusão, a qual considera o número total de citações das patentes daquela tecnologia; o alcance tecnológico, o qual considera a quantidade total de códigos (subclasses) IPC envolvendo aquela tecnologia; e 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 [23].

A estrutura hierárquica do método AHP para a ordenação de tecnologias está representada na **figura 3**, e o método aqui descrito pode ser representado pelo fluxograma da **figura 4**.

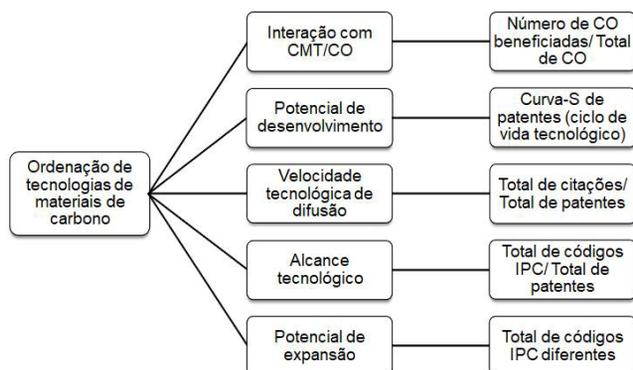


Fig. 3 – Estrutura hierárquica do AHP para a ordenação de tecnologias. Fonte: os autores.

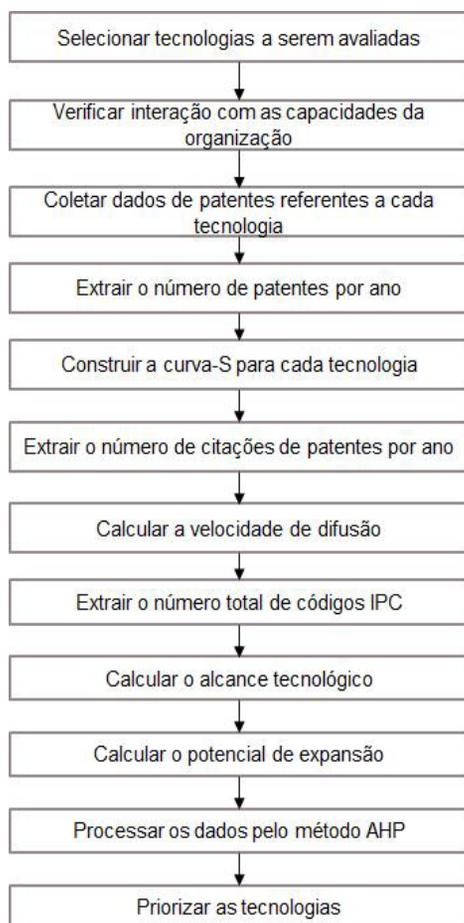


Fig. 4 – Fluxograma do método proposto. Fonte: Adaptado de [25].

6. Estudo de caso – Materiais de carbono para a defesa

O método proposto foi aplicado a um estudo de caso 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 no Centro Tecnológico do Exército (CTEx), o qual desenvolve um projeto em parceria com a Petrobrás para o desenvolvimento de fibras de carbono [36].

Além disso, esta área é extremamente promissora e aplicável em diversos setores industriais, tais como: aeronáutico, automobilístico, eletrônico, dentre outros.

6.1 Tecnologias avaliadas

Nos últimos anos, materiais de carbono – tais como grafeno, nanomateriais com carbonos hibridizados sp^2 bidimensionais e compósitos poliméricos – têm revolucionado áreas da química, física, ciência dos materiais e engenharia. O elevado destaque destes materiais pode ser atribuído às suas propriedades mecânicas, elétricas, ópticas e eletroquímicas diferenciadas, quando comparadas com aquelas dos materiais de carbono comuns [37].

A diversidade das aplicações, reais ou potenciais, desses novos materiais, assim como a necessidade de controlar as morfologias apropriadas para sua utilização, fazem da pesquisa nesta área um trabalho de característica interdisciplinar, envolvendo fatores que definem o sucesso de suas aplicações, tais como rota de síntese, processamento em formas variadas e qualidade [38].

No que diz respeito aos materiais compósitos poliméricos estruturais (também denominados avançados), após décadas de uso restrito em alguns setores da indústria, como na área de mísseis, foguetes e aeronaves de geometrias complexas, eles têm ampliado a sua utilização em diferentes setores da indústria moderna, com um crescimento de uso de 5% ao ano. Eles se destacam por sua leveza e alta resistência. Atualmente, a utilização de estruturas de alto desempenho e com baixo peso tem sido feita nas indústrias automotiva, esportiva, de construção civil,

entre outras. Mais especificamente, sua aplicação está distribuída, ao nível mundial, nos seguintes ramos da indústria: aeronáutico comercial 60%, defesa e espaço 20%, recreativo 10% e indústrias em geral 10% [39].

Os nanotubos de carbono possuem propriedades mecânicas, elétricas e térmicas excepcionais. Eles resistem a pressões de até 200 GPa, enquanto os de aço inoxidável tem um limite de resistência de 1,5 GPa. Também possuem as mais diversas aplicações, foram descobertos em 1991 e, sem dúvida, serão uma das tecnologias emergentes mais promissoras do futuro [40].

Como já mencionado, materiais de carbono, em especial a fibra de carbono, são de interesse da defesa, em especial do EB. A Seção de Tecnologia de Materiais de Carbono do CTEEx, em parceria com a Petrobrás, desenvolve tecnologia nacional para a produção de materiais estratégicos de carbono a partir de materiais secundários da indústria de petróleo. A matéria prima para esse processo é a borra que sobra no fundo dos barris de petróleo (5 a 10% do barril), de baixíssimo valor agregado, proveniente dos processos de refino da Petrobras e cedida a custo zero para o CTEEx, visto que o rejeito desse material possui um custo elevado para a empresa. O projeto teve início em 2002, com a fiação do primeiro filamento de piche tendo acontecido em 2004, e a do primeiro filamento de fibra de carbono em 2005.

A fibra produzida no CTEEx gera um rolo de três a trinta mil fios bobinados que são moldados a um material cerâmico, compósito ou a uma resina, que dá forma à fibra tecida, dependendo da sua aplicação. Esse material é dez vezes mais resistente e quatro vezes mais leve que o aço e possui diversas aplicações duais (militar e civil), tais como: armamento leve, proteção balística, viaturas, construção de aeronaves, captação de energia eólica dentre outras.

Fica clara aqui a imensa gama de aplicações desses materiais de carbono e, com isso, a importância que as tecnologias nessa área de conhecimento terão para o futuro. Sendo assim, após extensa revisão da literatura utilizando as bases de dados de artigos científicos *Scopus*, *Google Scholar* e *Derwent Innovation*, 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 CTEEx que propuseram mais seis tecnologias adicionais, totalizando 16, conforme mostra a **tabela 3**.

Tab. 3 – Tecnologias na área de materiais de carbono

Tecnologias	Principais aplicações
Fibra de carbono	Aviação, armamento, esportes, estruturas, proteção óptica e contra à corrosão [48, 49, 51]
Nanotubos de carbono	Biosensores, nanosensores, células solares, eletroanálise para identificação de drogas, circuitos micro e nano-eletrônicos, micro e nano processadores, construção civil, tecidos de alta resistência, blindagem pessoal [40, 48, 49]
Nanodiamante	Dispositivos optoeletrônicos, lubrificantes, abrasivos, aditivos para combustíveis, cosméticos para pele, medicamentos oncológicos, sensores biológicos, computação quântica, processamento óptico [48, 50]
Nanodots de carbono	Fotocatálise, conversão de energia, optoeletrônicos e sensores [51]
Nanopartículas poliméricas	Membranas poliméricas para tratamento de água, aplicações farmacêuticas (aumento da absorção de medicamentos, estabilização de fármacos, mascaramento de sabor, etc.) [52]
Carvão e carvão ativado	Pigmentos, purificação, filtros, respiradores, catálise e sensores [49]
Filmes finos de carbono	Sensores, proteção abrasiva, ferramentas de corte, camada de proteção óptica, células fotovoltaicas orgânicas (OPV) [48, 50]
Grafeno	Atuadores para aplicações espaciais, armazenamento, de hidrogênio, filtração de água, dispositivos eletrônicos (sensores, baterias, <i>displays</i> , supercapacitores, células solares), produção de nanotubos de carbono [48, 50]
Polímeros conjugados	Células solares, dispositivos electrocrômicos, supercapacitores, sensores eletroquímicos, semicondutores, OLED- <i>organic light-emitting diode</i> , membranas biomédicas, janelas inteligentes [52]
Carbeto de Silício	Abrasivo, semicondutores e blindagem passiva [53]
Carbeto de Boro	Material absorvedor de radiação, e abrasivo para polimento, lapidação e Esmilamento [54]
Piche de petróleo	Eletrodos, Produção de Fibra de Carbono [49]
Negro de fumo	Pneus e tintas [49]
Grafite com pureza nuclear	Material moderador [55]
Grafites especiais	Baterias, Material dissipador de calor, Indústria Química, Produção de Silício e Aço [56]
Grafite expandido	Supercondutores, blindagem de interferência magnética, produção de grafeno [57]

Fonte: os autores.

Existem estudos de prospecção tecnológica com análise de patentes envolvendo algumas das tecnologias selecionadas, a saber: [23], [41], [42], [43],

[44], [45], [46] e [47]. Contudo, eles diferem deste trabalho pois são focados em apenas uma tecnologia ou uma aplicação mais específica da mesma.

6.2 Aplicação do método proposto

O método consiste em doze etapas, conforme apresentado no fluxograma da **figura 4**. 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 aplicação do 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 (**tabela 4**).

Tab. 4 –Matriz de comparações paritárias.

	Interação CMT/CO	Pot. Des.	Vel. Dif.	Alcance tecnológico	Pot. exp.
Interação CMT/CO	1	2	2	2	2
Pot. Des.	1/2	1	3	3	3
Vel. Dif.	1/2	1/3	1	2	2
Alcance tecnológico	1/2	1/3	1/2	1	1/3
Pot. exp.	1/2	1/3	1/2	3	1

Fonte: os autores.

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 [35] e nas principais aplicações de cada tecnologia listada, definiu-se 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 combatentes do EB. O valor atribuído a cada tecnologia sob à 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:

$$V_{ij} = w/z \quad (2)$$

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.

Em seguida, na terceira etapa 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 5**. Esses termos foram utilizados para coletar os documentos de patentes para cada tecnologia e baseado nesse resultado, foram extraídos o número total 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.

Tab.5 –Ordenação final das tecnologias.

Ordenação final	
Grafeno	1,000
Grafite expandido	0,989
Nanotubos de carbono	0,913
Piche de petróleo	0,911
Polimeros conjugados	0,883
Fibra de carbono	0,868
Carbeto de Silício	0,841
Nanodiamante	0,838
Carvão e carvão ativado	0,784
Carbeto de Boro	0,768
Filmes finos de carbono	0,742
Negro de fumo	0,726
Nanodots de carbono	0,698
Nanopartículas poliméricas	0,686
Grafites Especiais	0,672
Grafite (com pureza nuclear)	0,564

Fonte: os autores.

A **figura 5** mostra a curva-S para a tecnologia fibra

de carbono, todas as 16 tecnologias encontram-se no estágio de crescimento ou maturidade, dessa forma, todas receberam o valor 1.

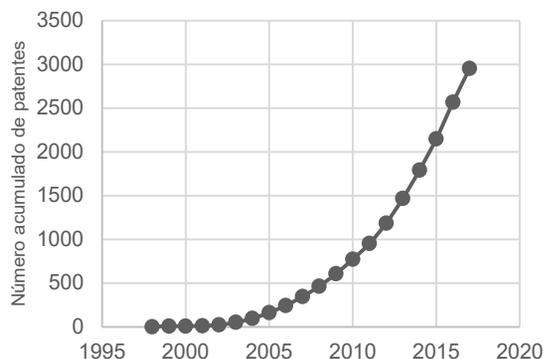


Fig. 5 – Curva-S para a tecnologia nanopartículas de carbono. Fonte: os autores.

A **tabela 6** mostra um resumo dos principais dados coletados na pesquisa.

A próxima etapa é calcular a velocidade de difusão baseada no número de citações. Segundo Gay [58], 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.

Tab 6 – Resumo dos principais dados coletados.

Tecnologias (palavras-chave)	Total de patentes	INPADOC1	Total de citações	Total de códigos IPC	Total de códigos IPC ≠
Fibra de carbono (carbon fiber)	121355	114646	378048	252406	122
Nanotubos de carbono (carbon nanotube)*	66814	48712	208735	108073	120
Nanodiamante (nanodiamond)	1336	1040	2566	2532	69
Nanodots de carbono (carbon nanodot)	145	130	80	272	18
Nanopartículas poliméricas (polymer nanoparticle)	2023	1537	7738	3658	80
Grafite expandido (expanded grafite)	8912	8041	20225	17625	103
Carvão e carvão ativado (coal or activated coal)	262219	252571	173918	517326	123
Filmes finos de carbono (carbon thin film)	1910	1566	13255	3352	66
Grafeno (graphene)	56535	45436	39326	90320	120
Polímeros conjugados (conjugated polymers)	9493	6070	67733	10786	77
Carbeto de Silício (silicium carbide)	150	121	414	268	45
Carbeto de Boro (boron carbide)	11019	8687	46515	18083	112

Tecnologias (palavras-chave)	Total de patentes	INPADOC1	Total de citações	Total de códigos IPC	Total de códigos IPC ≠
Piche de petróleo (coal tar)	10175	8876	24308	18718	97
Negro de fumo (carbon black)	121612	99775	300678	218731	121
Grafite com pureza nuclear (nuclear graphite or high purity graphite)	1708	1374	1513	2817	61
Grafites especiais (special graphite)	275	241	229	490	43

Fonte: os autores.

Em seguida, calculam-se o alcance tecnológico e o potencial de expansão, conforme detalhado anteriormente. A **tabela 7** fornece os resultados obtidos para cada tecnologia analisada.

Tab. 7 – Resultados da aplicação dos critérios

Tecnologias	Interação CMT/CO	Total de patentes para difusão	Veloc. de difusão	Alcance tecno.	Pot. Exp.
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

Fonte: os autores.

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 foram normalizados. A importância entre os critérios é definida pela matriz de comparações paritárias, representada na **tabela 4**, cujos valores foram determinados pelos decisores.

A **tabela 5** apresenta a ordenação final obtida para as tecnologias analisadas, com os valores normalizados.

7. Discussão e Conclusão

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 propõe um método de prospecção para a priorização de tecnologias emergentes promissoras baseado em dados de patentes e capacidades da organização que deseja priorizá-las.

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 [23]: potencial de desenvolvimento baseado no estágio do ciclo de vida tecnológico (curva-S), potencial de difusão da tecnologia, alcance tecnológico e potencial de expansão.

Além disso, o método proposto facilita a 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.

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 [23] comparar 3 tecnologias na área de eletrônica digital, ele não considera as capacidades a serem desenvolvidas ou aprimoradas pela organização e também não utiliza o método AHP. Além

disso, na busca por patentes de Altuntas [23], 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 Brasil², 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).

Já 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 resultado de exercícios de prospecção tecnológica de países, organizações e empresas como: Alemanha [60], Estados Unidos [61], União Europeia [62] [63] [64], Lanlink [65] e Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum*) [66].

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

²Para efeito comparativo, foram coletadas as quantidades de artigos científicos de cada tecnologia no mundo e no Brasil pela plataforma *Scopus* de 1997 a 2017

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.

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. [6] [23]. 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 comparar melhor o critério potencial de desenvolvimento de cada tecnologia, existem modelos matemáticos que podem ser utilizados [23][59]. Por fim, o potencial de inovação de cada tecnologia pode ser considerado como um dos critérios, visto que ele pode ser obtido por meio de uma análise qualitativa das patentes coletadas.

Referências Bibliográficas

- [1] F. C. B. Madeu, P. C. Pellanda, L. O. de Araujo, L. L. Fernandes, I. B. Júnior. 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.
- [2] R. L. Ackoff. *A Concept of Corporate Planning*. John Wiley & Sons, 1970. [3]
- [3] M. Godet. *Creating Futures Scenario Planning as a Strategic Management Tool*. Economica, 2006.
- [4] L. Boyer, N. Equilbey. *Histoire du management*. Editions d'Organisation, 1990.
- [5] M. Godet. The art of scenarios and strategic planning: Tools and pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 65, 2000, p. 3-22.
- [6] J. E. Freitas. 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. Brasília, 2013. 335 p. Orientador: Luiz Guilherme de Oliveira.
- [7] J. S. Hammond, R. L. Keeney, H. Raiffa. The Hidden Traps in Decision Making. *Harvard Business Review, Decision Making (Best of HBR 1998)*, 2006.
- [8] A. Salo, T. Gustafsson, R. Ramanathan. Multicriteria Methods for Technology Foresight. *Journal of Forecasting*, vol. 22, 2003, p. 235-255.
- [9] T. J. Stewart. A critical survey on the status of multiple criteria decision-making theory and practice. *OMEGA IJMS*, vol. 20, n. 5/6, 1992, p. 569-586.
- [10] R. P. Hamäläinen. Facts or values – How do parliamentarians and experts see nuclear power? *Energy Policy*, vol. 19, n. 5, 1991, p. 464-472.
- [11] P. W. G. Bots, J.A.M. Hulshof. Designing multi-criteria decision analysis processes for priority setting in health policy. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 9, 2000, p. 56-75.
- [12] A. D. Henriksen. A technology assessment primer for the management of technology. *International Journal of Technology Management*, vol. 13, n. 5/6, 1997, p. 615-638.
- [13] A. C. Passos. 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.

- [14] N. Bhushan, K. Rai. *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process*. Springer, Londres, 2003.
- [15] R. J. S. Grumbach. *Prospectiva: a Chave para o Planejamento Estratégico*. 2 ed. Rio de Janeiro: Cetau, 2000.
- [16] J. Coates. Foresight in federal government policy making. *Futures Research Quarterly*, vol. 1, 1985, p. 29-53.
- [17] M. Zackiewicz, S. Salles-Filho. Technological foresight: um instrumento para política científica e tecnológica. *Parcerias Estratégicas (Estudos Prospectivos)*, CGEE, março, 2001, p. 144-161.
- [18] B. R. Martin. The origins of the concept of foresight in science and technology: An insider's perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 77, n. 9, 2010, p. 1438-1447.
- [19] R. Popper, L. Georghiou, J. C. Harper, M. Keenan, I. Miles. *The Handbook of Technology Foresight*. MPG Books, Cronwall, 2008.
- [20] D. D. M. Jungmann, E. A. Bonetti. *A caminho da inovação: proteção negócios com bens de propriedade intelectual: guia para o empresário*. Instituto Euvaldo Lodi (IEL), Brasília, 2010.
- [21] H. Ernst. The use of patent data for technological forecasting: The diffusion of CNC technology in the machine tool industry. *Small Business Economics*, vol. 9, 1997, p. 361-381.
- [22] R. S. Campbell. Patent trends as a technological forecasting tool. *World Patent Information*, vol. 5, n. 3, 1983, p. 137-143.
- [23] S. Altuntas, T. Dereli, A. Kusiak. Forecasting technology success based on patent data. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 96, 2015, p. 202-214.
- [24] D. F. Cioff. *A Tool for Managing Projects: An Analytic Parameterization of the S-Curve*. *Intl. Journal of Project Management*, vol. 23, 2005, p. 215-222.
- [25] D. N. Merino. Development of a technological S-curve for tire cord textiles. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 37, 1990, p. 275-291.
- [26] C.-Y. Liu, J.-C. Wang. Forecasting the development of the biped robot walking technique in Japan through S-curve model analysis. *Scientometrics*, vol. 82, 2010, p. 21-36.
- [27] K. K. Brockhoff. Instruments for patent data analyses in business firms. *Technovation*, vol. 22, n. 1, 1992, p. 41-59.
- [28] Z. Griliches. Market value, R&D and patents. *Economics Letters*, vol. 7, 1981, p. 183-187.
- [29] W. B. Ashton, R. K. Sen. Using Patent Information in Technology Business Planning – I. *Research-Technology Management*, vol. 31, n. 6, 1988, p. 42-46.
- [30] E. M. Rogers. *Diffusions of innovations*. The Free Press, Londres, 3 ed., 1983.
- [31] L. Huang, N. Wang. Status and Prospects of Technology Diffusion Research based on Patent Information. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 185, 2013, p. 167-180.
- [32] S.-B. Chang, K.-K. Lai, S.-M. Shang. Exploring technology diffusion and classification of business methods: Using the patent citation network. *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 76, 2009, p. 107-117.
- [33] L. Gao, A. L. Porter, J. Wang, S. Fang, X. Zhang, T. Ma, W. Wang, L. Huang. Technology life cycle analysis method based on patent documents. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 80, n. 3, 2013, p. 398-407.
- [34] P. N. Figueiredo. *Gestão da inovação: conceitos, métricas e experiências de empresas no Brasil*. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- [35] Exército. *Catálogo de capacidades do Exército 2015-2035. Relatório técnico*, Exército Brasileiro, 2015.
- [36] C. F. D. Queiroz. *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. 101 p. Orientador: João Marcelo Ehlert.
- [37] J. Pyun. Graphene oxide as catalyst: Application of carbon materials beyond nanotechnology. *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 50, n. 50, 2011, p. 46-48.
- [38] M. H. Herbst, M. I. F. Macedo, A. M. Rocco. Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar. *Química Nova*, vol. 27, n. 6, 2004, p. 986-992.
- [39] M. C. Rezende, E. C. Botelho. O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial. *Polímeros – São Carlos*, vol. 10, n. 2, 2000.
- [40] A. Kin-Taklau, D. Hui. The revolutionary creation of new advanced materials – carbon nanotube composites. *Composites Part B: Engineering*, vol. 33, n. 4, 2002, p. 263-277.
- [41] S.W.C. Chang, C.V. Trappey, A.J.C. Trappey, S.C.Y. Wu. Forecasting dental implant technologies using patent analysis. *PICMET '14: Infrastructure and Service Integration*, Kanazawa, Japan, 2014, pp. 1483-1491.
- [42] S. Jun, S. J. Lee. Emerging technology forecasting using new patent information analysis. *International Journal of Software Engineering and its Applications*, vol. 6, n. 3, 2012, p. 107-116.
- [43] J. Yoon, K. Kim. 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.
- [44] Y. H. Chen, C. Y. Chen, S. C. Lee. 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.
- [45] A. C. Cheng, C. Y. Chen. 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.
- [46] B. Yoon, Y. Park. 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, p. 588–599.
- [47] T. D. Daim, G. Rueda, H. Martin, P. Gerdri. Forecasting emerging technologies: use of bibliometrics and patent analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 73, n. 3, 2006, p. 981–1012.
- [48] S. Kurbanoglu, S. A. Ozkan. Electrochemical carbon based nanosensors: A promising tool in pharmaceutical and biomedical analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, vol. 147, 2018, p. 439-457.
- [49] G. Rius. Technologies of Carbon Materials. Syntheses and Preparations. In: *Carbon for sensing device*, capítulo 2, Springer, 2015, p. 15-35.
- [50] H. A. Amorim. Caracterização de filmes finos de carbono depositados por PECVD. Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas/Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP. Campinas, 1995. 77 p. Orientador: Edmundo da Silva Braga.
- [51] H. Li, Z. Kang, Y. Liu, S.-T. Lee. Carbon nanodots: synthesis, properties and applications. *Journal of Materials Chemistry*, vol. 22, 2012, 24230–24253.
- [52] T. A. Skotheim, R. L. Elsenbaumer, J. R. Reynolds. *Handbook of Conducting Polymers*. Marcel Dekker, Nova Iorque, 2 ed., 1998.
- [53] M. A. Sano. Dispositivos Optoeletrônicos. In: *Avaliação metrológica de emissores e detectores ópticos aplicados à caracterização de poluentes particulados atmosféricos*, capítulo 3. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro/ Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade Industrial do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2003. Orientador: Marcos Sebastião de Paula Gomes.
- [54] F. Thévenot. Boron Carbide: A Comprehensive Review. *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 6, 1990, p. 205–225.
- [55] E. Nightingale. *Nuclear Graphite (US Atomic Energy Commission)*. Academic Press, Nova Iorque, 1962.
- [56] H. O. Pierson. *Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes: properties, processing and applications*. Noyes Publications, N. Jersey, 1993.
- [57] D.D.L. Chung. Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials. *Carbon*, vol. 39, 2001, p. 279–285.
- [58] C. Gay, C. L. Bas, P. Patel, K. Touach. The determinants of patent citations: an empirical analysis of French and British patents in the US. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 14, n. 5, 2005, p. 339–350.
- [59] J. W. Zartha, F. Palop, B. Arango, F. M. Velez, A. F. Avalos. S-Curve analysis and technology life cycle: application in series of data of articles and patents. *Revista Espacios*, vol. 37, n. 7, 2016, p. 19-35.
- [60] W. Macdougall. *Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future*. Technical Report 20750, Germany Trade and Invest, Berlin, 2014.
- [61] DARPA. *DARPA Open Catalog*. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), Virginia, EUA, 2018.
- [62] ECD. *Horizon 2020 - work programme 2016 - 2017 future and emerging technologies*. Technical report, European Commission Decision, 2016.
- [63] M. Penny; T. Hellgren; M. Bassford. *Future technology landscapes: Insights, analysis and implications for defence*. Technical report, RAND Europe Corporation, 2013.
- [64] B. Wepner; G. Huppertz ; J. L. Pino. *List of emerging technologies with security implications*. Technical Report 261512, Etecetera (Evaluation of Critical and Emerging Security Technologies for the Elaboration of a Strategic Research Agenda), 2012.
- [65] LANLINK. *17 tecnologias do futuro da TI, 2017*. URL <https://www.lanlink.com.br/>. Acesso em: 17 fev 2018.
- [66] B. Meyerson; M. Dichristina. *Top 10 emerging technologies of 2016*. Technical Report 220616, World Economic Forum’s Meta-Council on Emerging Technologies, 2016.