



Estudo de Oportunidade sobre a Viabilidade Técnico-Econômica da Produção de Fibra de Carbono no Brasil

Luís Carlos Pereira Franco

Monografia em Engenharia Química

Orientador:

Prof. José Eduardo Pessoa de Andrade, M.Sc.

Agosto de 2017

Estudo de Oportunidade sobre a Viabilidade Técnico-Econômica da Produção de Fibra de Carbono no Brasil

Luís Carlos Pereira Franco

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovador por:

Verônica Maria de A. Calado, D.Sc.

Érika Christina Ashton Nunes, D.Sc.

Felipe dos Santos Pereira, M.Sc.

Orientado por:

José Eduardo Pessoa de Andrade, M.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Agosto de 2017

Franco, Luís Carlos Pereira.

Análise da Viabilidade Técnico-Econômica da Produção de Fibra de Carbono no Brasil / Luís Carlos Pereira Franco. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2017.

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2017.

Orientador: José Eduardo Pessoa de Andrade.

1. Viabilidade. 2. Fibra de Carbono. 3. Técnico-Econômica. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ).

5. José Eduardo Pessoa de Andrade. I. Análise da Viabilidade Técnico-Econômica da Produção de Fibra de Carbono no Brasil

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE FIBRA DE CARBONO NO BRASIL

Luís Carlos Pereira Franco

Agosto, 2017

Orientador: José Eduardo Pessoa de Andrade, M.Sc.

O presente trabalho, busca destacar a importância de um material envolvido em diversos setores industriais e com grande potencial de crescimento, a fibra de carbono e ressaltar a oportunidade de investimento em sua produção no Brasil. Essa fibra, além de já ser utilizada em setores como o de pás eólicas, aeronáutico, óleo e gás, esportivo, entre outros, possui a capacidade de alcançar propriedades que podem ser úteis em outras áreas, por isso, a importância de se estudar com maior profundidade esse tema tão relevante. Após o processo de produção e uma etapa conhecida como cura, a fibra pode ser transformada em um material compósito, o qual pode ser moldado e planejado para ter as propriedades necessárias para determinadas aplicações. O mercado de fibra de carbono já está mais desenvolvido nos Estados Unidos, Europa e Ásia, onde se encontram grandes multinacionais produtoras e uma vasta gama de aplicações para o produto. No entanto, ainda não se percebe o mesmo foco no Brasil, país que é caracterizado como importador do material, gerando déficit na balança comercial que poderia ser revertido com a produção local, além de gerar mais empregos e desenvolver a própria indústria nacional. Ao longo do trabalho, analisou-se o potencial de crescimento da fibra, tanto nacionalmente quanto mundialmente, e foi quantificada a demanda que deveria ser exigida pela indústria até o ano de 2030. Para isso, utilizou-se premissas de crescimento individuais para os principais setores de penetração da fibra de carbono. Também estipulou-se uma estrutura de custos adequada para a operação de uma fábrica no país e a capacidade de se gerar caixa da empresa. Assim, projetou-se o fluxo de caixa considerando três cenários: um base (no qual assume-se premissas de crescimento que consideramos mais prováveis para cada setor), um otimista (cenário menos provável porém mais positivo) e um pessimista (cenário com menor probabilidade e com circunstâncias negativas influenciando as expectativas de crescimento apresentadas). A partir dos fluxos de caixa gerados, calculou-se indicadores de retorno utilizados para avaliar a viabilidade da produção de fibra de carbono no Brasil. O resultado encontrado mostra que a produção poderia gerar uma operação rentável e acima da própria taxa de juros base da economia (a Selic) em um cenário base e que mesmo em um cenário mais pessimista, o prejuízo seria praticamente nulo e se for considerado um cenário mais otimista, a produção iria gerar rendimentos dificilmente encontrados em outros investimentos nacionais.

Palavras-chave: fibra de carbono, produção, investimentos, viabilidade

ABSTRACT

This paper, has the attempt to show the importance of a material related to various sectors of the industry and that has a huge potential for growth, this material is known as carbon fiber and to emphasize the opportunity of investments in its production in Brazil. This fiber not only already is relevant to sectors like the wind energy power, the aeronautical, the oil and gas, the sportive and others but it is able to reach useful properties to other areas and being said that, it is clear the relevance to study with more deepness this theme. After the production process and a further step called “cure”, the fiber can be molded to have necessary properties for specific purposes. The market for that product is more developed in the United States, Europe and Asia, where is found enormous multinational producers and a broad range of applications for the product. However, the same focus on the production is not seen in Brazil, country that still is characterized as a importer of the material, which leads to a external trade deficit that could be reverted with the local production of the fiber, furthermore, new jobs would be created and the national industry would be more developed. Throughout this work, the potential growth of the carbon fiber was analysed in global and national scales and the demand for the product was quantified and projected until the year of 2030. To that end, assumptions were made to estipulate growth rates for each sector that has a relevant penetration of the material. Also, the adequated cost structure of a industrial plant was estimated for the operation in the country and this capacity of generating cash was calculated as well, so its cash flow was projected considering three different scenarios: the base case (more probable growth assumptions for each sector), the bull case (a less probable scenario but with more optimistic growth rates for the sectors) and the bear case (less probable and with more pessimistic assumptions of growth rates for each sector). With the cash flows found, return indicators were calculated so the availability of the carbon fiber’s production in Brazil could be measured. The result shows that the local production could be profitable and higher than the interest rate of the country (the “Selic”) in the base case and even in the bear case, the financial loss would be almost insignificant and if the buss case is considered, the production would be able to generate such returns that are hardly found in other national investments.

Key-words: carbon fiber, production, investments, availability

Índice

I. Introdução.....	1
II. Caracterização do Produto.....	2
II.1. A Fibra de Carbono.....	2
II.1.1. O Desenvolvimento da Fibra de Carbono	4
II.2. Matéria-Prima	6
II.2.1 Poliacrilonitrila – PAN	6
II.2.2 Raiom.....	8
II.2.3 Lignina	9
II.2.4 Piche	10
II.2.5 Comparação entre a Qualidade das Matérias-Primas.....	11
II.3 Tecnologia do Uso da Matéria-Prima	12
II.4.Manufatura	15
II.4.1 Fiação	15
II.4.2 Termoestabilização da Fibra	16
II.4.3 Carbonização e Grafitização	16
II.4.4. Tratamento Superficial	17
III Estudo do Mercado	18
III.1 Mercado de Aplicação	20
III.1.1 Eólico	21
III.1.2 Automotivo	23
III.1.3 Aeroespacial.....	23
III.1.4 Expectativas do Mercado.....	24
III.2 Mercados Regionais	24
III.2.1 Norte-Americano	24
III.2.2 Mercado Brasileiro	25
IV. Cenários de Projeção	28
V. Análise Econômico-Financeira	30
V.1. Considerações sobre a Viabilidade da Produção de Fibra de Carbono no Brasil.	30
V.2. Projeção dos Fluxos de Caixa.....	32
V.3. Influência da Escala e do Número de Fábricas.....	37
V.4. Análise do Ebitda.....	40
VI. Conclusão	45
VII. Bibliografia.....	46
Apêndice I.....	48
Anexo I. CD ("compact disk") com a memória de cálculo.....	50

Índice de Figuras

Figura II-1 Fibra de carbono (mais escura) comparada a um fio de cabelo.....	3
Figura II-2 Estrutura molecular do homopolímero de poliacrilonitrila	7
Figura II-3 Molécula de Poliacrilonitrila-co-acetato de vinila.....	7
Figura II-4 Celulose tratada com alcali e dissulfeto de carbono para gerar o raio 9	9
Figura II-5 Possível estrutura de lignina	10
Figura II-6 Alcatrão de Hulha, matéria prima para o piche	11
Figura II-7 Participação de cada rota de origem na matriz de fibra de carbono e comparativo entre as matérias-primas	12
Figura II-8 Preço de mercado x demanda de produtos derivados da lignina.....	13
Figura II-9 Esquema geral com todas as etapas do processo de produção da fibra de carbono	15
Figura II-10 Estrutura do Grafite	17
Figura III-1 Consumo global de fibra de carbono (toneladas) por aplicação (2012) ...	21
Figura III-2 Gráficos de tensão x deformação para diferentes fibras: a) Tração b) Compressão	22
Figura III-3 Uso de materiais na composição do Boeing 787	24
Figura III-4 Demanda por fibra de carbono no Brasil	26
Figura III-5 Capacidade instalada de fibra de carbono no mundo.....	27
Figura V-1 Cadeia simplificada de produção de compósitos a partir da acrilonitrila ...	31
Figura V-2 Fórmula para cálculo do WACC	32
Figura V-3 Representação da obtenção da TIR através da variação do VPL em um fluxo de caixa aleatório.....	38
Figura V-4 Obtenção do valor do EBITDA a partir da Receita Bruta da empresa	41
Figura V-5 Evolução do ebitda projetado para uma capacidade de 3,8 kt de fibra de carbono. Valores em US\$	42
Figura V-6 Distribuição anual da produção de fibra de carbono para cada cenário projetado	43
Figura V-7 Evolução do ebitda projetado para uma capacidade de 11,3 kt de fibra de carbono (cenário base). Valores em US\$	44
Figura V-8 Evolução do ebitda projetado para uma capacidade de 21,8 kt de fibra de carbono (cenário otimista) Valores em US\$.....	44
Figura V-9 Evolução do ebitda projetado para uma capacidade de 9,4 kt de fibra de carbono (cenário pessimista) Valores em US\$.....	44

Índice de Tabelas

Tabela II–1 Relação entre as propriedades físicas e as aplicações da fibra de carbono_	5
Tabela II–2 _Comonômeros utilizados na polimerização com acrilonitrila	7
Tabela II–3 Custo da fibra de acordo com o seu módulo de tensão.....	14
Tabela III–1 Maiores produtores de fibra de carbono no mundo com seus respectivos países sede	19
Tabela III–2 Agregação de valor na cadeia de produção da fibra de carbono.....	20
Tabela III–3 _Correlação entre a matéria-prima empregada na produção e o uso da fibra de carbono no mercado norte-americano.....	25
Tabela IV–1 _Premissas de crescimento por setor no mercado global	29
Tabela IV–2 _Participação de cada setor no mercado global.....	29
Tabela IV–3 _Premissas de crescimento por setor no mercado nacional	29
Tabela IV–4 _Participação de cada setor no mercado nacional	29
Tabela IV–5 _Projeção da demanda global e nacional de fibra de carbono	30
Tabela V–1 _Premissas utilizadas para a avaliação econômico financeira da empresa..	33
Tabela V–2 _Custos fixos e variáveis projetados.....	34
Tabela V–3 _Fluxo de caixa projetado para o cenário base	35
Tabela V–4 _Fluxo de caixa projetado para o cenário otimista	36
Tabela V–5 _Fluxo de caixa projetado para o cenário pessimista.....	37
Tabela V–6 _Valores de taxa interna de retorno e VPL encontrados para cada cenário projetado. Valores para o VPL em US\$	39

I. Introdução

O desenvolvimento da ciência é primordial para a melhora da qualidade de vida da sociedade. Ela tem a capacidade de influenciar em cada aspecto da vida, já que, através dela, são criados os produtos que a sociedade necessita para sua sobrevivência, elaborados os processos de obtenção desses produtos e geradas diferentes atividades profissionais responsáveis pela oferta de empregos para a população.

Com a intensificação da disputa interempresarial, as companhias estão buscando cada vez mais fatores de diferenciação, que as façam mais competitivas perante suas concorrentes. Não há dúvidas de que a produtividade é um desses fatores, visto que está diretamente correlacionada com a rentabilidade da empresa. Assim, percebe-se o aproveitamento do aumento da produção científica ao longo do tempo, principalmente no que diz respeito a tecnologias emergentes e novos materiais que possam fornecer soluções inovadoras para processos produtivos.

A fibra de carbono é um desses materiais cuja visibilidade tem aumentado com o tempo. Isto é devido à sua extensa usabilidade, adaptabilidade e capacidade de gerar ganhos em eficiência e produtividade. Por essa razão, essa fibra tem sido utilizada por diversos setores da indústria, como o automotivo, o eólico, óleo e gás, aeronáutico, esportivo, entre muitos outros.

O uso da fibra de carbono se tornou atrativo pelo fato de ela poder ser utilizada na fabricação de materiais compósitos¹, criando produtos com propriedades diferenciadas e específicas para cada nicho de aplicação, podendo ser mais leve para casos em que o peso pode ser um fator determinante na performance do produto (carros, aviões) e ao mesmo tempo preservar a resistência adequada para o uso.

Apesar do seu potencial produtivo, percebe-se que não existem muitos estudos que tratam da fabricação dessa fibra no Brasil. Considerando os elevados gastos com a importação ao longo dos próximos anos, deve ser notada a importância de se avaliar a capacidade de se atender, de forma sustentável, a demanda futura pelo produto. Assim, a proposta desse trabalho é compreender a relevância do potencial de utilização e avaliar, em estágio de estudo de oportunidade², a viabilidade econômica da produção de fibra de carbono no Brasil.

Esse trabalho utilizou como base os relatórios do *Estudo do Potencial de Diversificação da Indústria Química Brasileira*, financiado com recursos do Fundo de Estruturação de Projetos – FEP/BNDES e realizado pelo Consórcio das Empresas Bain

¹ Compósitos são materiais formados pela agregação físico-química de duas fases distintas, uma contínua polimérica (chamada de matriz) e uma descontínua (fibra), após um processo de cura (ALMACO, 2011).

² O conceito de Estudo de Oportunidade, aqui utilizado, é o de 1º estágio do Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (UNIDO, 1991).

& Company e Gas Energy, selecionadas no âmbito da Chamada Pública BNDES/FEP Nº 03/2011. Foram especificamente considerados o Relatório Final, o Relatório 4 - Fibras de Carbono e o Relatório 6 – Oportunidade de investimento – Fibra de Carbono, os quais são colocados como uma única referência por serem complementares um ao outro e por fazerem parte do mesmo projeto e mesmos autores (Bain & Company, 2014).

A escolha de avaliar o investimento na produção de fibra de carbono no Brasil seguiu uma das sugestões do referido Estudo que buscou *“identificar e avaliar oportunidades de diversificação da indústria química brasileira, com ênfase nos produtos químicos de maior valor agregado, no aumento da integração e da ramificação das cadeias já existentes e no desenvolvimento de novas tecnologias”*. A fibra de carbono foi classificada como integrante dos segmentos de foco primário que apresentam déficit comercial relevante, *“valor agregado médio superior aos demais”* e *“cenário de aumento de importações mais acentuado”* (Bain & Company, 2014).

A análise de viabilidade econômica é uma área de estudo extremamente relevante no setor empresarial e financeiro, por permitir tomadas de decisão mais assertivas e com embasamento matemático. Para orientar o resultado do presente trabalho, foram utilizados métodos de projeção de fluxo de caixa, de cálculo da taxa interna de retorno e do valor presente líquido, além de outros. Também foi necessário adotar premissas de comportamento dos setores com maior correlação com o uso da fibra de carbono, a fim de estimar a demanda pelo material a partir da produção desses setores.

Os resultados econômico-financeiros só terão valor se estiverem alicerçados em conhecimentos técnicos e científicos apropriados. Esse é um dos desafios e atrativos desse tipo de trabalho que deve combinar e articular conhecimentos científicos, tecnológicos, econômicos e financeiros.

II. Caracterização do Produto

Este capítulo objetivou, com base em revisão bibliográfica, apresentar uma caracterização do produto que facilite a compreensão global do contexto de sua tecnologia e manufatura.

II.1. A fibra de carbono

Fibras são produtos conhecidos e obtidos pelo ser humano já há alguns milênios, através do processamento de produtos naturais. Entre as fibras naturais se destacam as fibras do algodão, de linho, de seda e de lã. As ligações químicas e físicas entre as

cadeias moleculares das fibras são responsáveis pelas propriedades que asseguram sua resistência e ampla utilização na fabricação de fios e de tecidos.

Com o desenvolvimento da indústria química foram introduzidas as fibras artificiais e sintéticas. As artificiais são obtidas pela reação de produtos químicos com fibras de produtos naturais, aperfeiçoando suas propriedades e permitindo novas aplicações. O principal exemplo é a fibra de raiom, obtida a partir da fibra de celulose.

As fibras sintéticas são obtidas integralmente a partir de produtos químicos derivados de reações de síntese e são resultado de pesquisas que buscam o constante aperfeiçoamento de suas propriedades e de novas aplicações. As principais fibras sintéticas, obtidas a partir de polímeros sintéticos, são o poliéster e a poliamida (nylon).

A fibra de carbono, também sintética, é obtida predominantemente a partir do polímero poliacrilonitrila (PAN) e do piche. É composta por filamentos finos de 5 a 10 micrometros de diâmetro e apresentam o elemento carbono como predominante em sua composição (Fonte: site *Wordpress*). A figura a seguir permite visualizar a espessura da fibra de carbono.

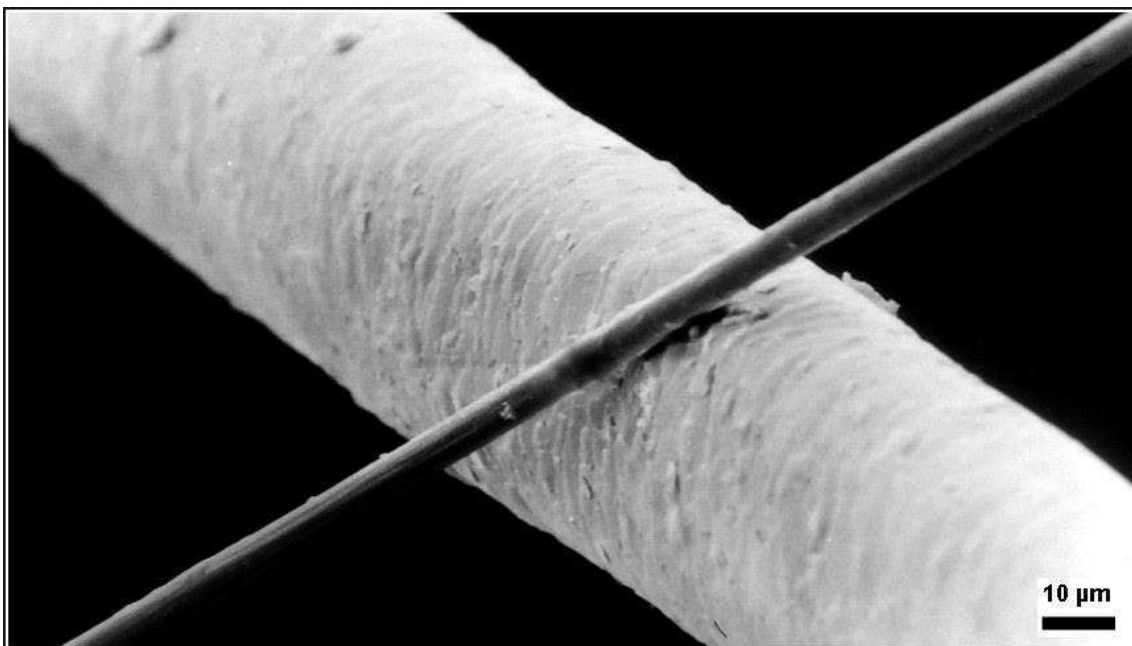


Figura II-1- Fibra de carbono (mais escura) comparada a um fio de cabelo (Fonte: site *Wordpress*)

O alinhamento cristalino torna a fibra de carbono incrivelmente forte para suas dimensões. Milhares de fibras de carbono são torcidas juntas para formar um fio, que pode ser usado sozinho ou em forma de tecido. O fio ou tecido é combinado com resina epóxi e moldado em forma para gerar vários tipos de materiais compósitos. Essas

características permitiram que a fibra de carbono se tornasse um material de grande interesse por parte de diversos setores da indústria. Os materiais compósitos reforçados com fibra de carbono são utilizados em peças de aeronaves e espaçonaves, corpos de carros de corrida, pás de geradores eólicos, eixos de tacos de golfe, quadros para bicicletas, varas de pesca, molas de automóveis, mastros para veleiros e muitos outros componentes onde são necessários peso leve e alta resistência.

Além das características supracitadas, ela também é flexível, resistente contra o calor, possui baixa expansão térmica, isola radiações eletromagnéticas e tem alta resistência mecânica. Tais propriedades fazem desse material o ideal substituto para o aço. Assim, diversos estudos têm buscado comparar os dois tipos de materiais para se poder avaliar as vantagens e desvantagens de cada um. Por exemplo, a fibra de carbono possui uma resistência mecânica dez vezes maior do que o aço e ainda é cinco vezes mais leve que o mesmo. Essas propriedades são um reflexo da orientação dos átomos de carbono ao longo do eixo da fibra.

II.1.1. O desenvolvimento da fibra de carbono

As fibras de carbono começaram a ser desenvolvidas na década de 1950 como um reforço para componentes de plástico moldados a alta temperatura utilizáveis em mísseis. As primeiras fibras foram fabricadas pelo aquecimento de fios de raiom até serem carbonizados. Este processo provou ser ineficiente, pois as fibras resultantes continham apenas cerca de 20% de carbono e possuíam propriedades de baixa resistência e rigidez (Fonte: site *How Products Are Made*). No início dos anos 1960, um processo foi desenvolvido usando a poliacrilonitrila (PAN) como matéria prima. Isso produziu uma fibra de carbono que continha cerca de 55% de carbono e tinha propriedades muito melhores (Fonte: site *How Products Are Made*). O processo de conversão de PAN tornou-se rapidamente o principal método para a produção de fibras de carbono.

A partir da década de 1970, o trabalho experimental para encontrar matérias primas alternativas levou à introdução de fibras de carbono feitas a partir do piche, derivado do processamento do petróleo. Estas fibras continham cerca de 85% de carbono e tinham excelente resistência à flexão (Fonte: site *How Products Are Made*). Infelizmente, elas tinham uma força de compressão limitada e não foram amplamente aceitas.

Atualmente, as fibras de carbono são uma parte importante de muitos produtos e novas aplicações estão sendo cada vez mais desenvolvidas a cada ano. Os Estados Unidos, o Japão e a Europa Ocidental são os principais produtores de fibras de carbono no mundo.

As fibras de carbono são classificadas pelo módulo de tração da fibra. O módulo de tração é uma medida da quantidade de força de tração que um determinado diâmetro de fibra pode sofrer sem quebrar. A unidade de medida inglesa é libra força por polegada quadrada de área de seção transversal, ou psi. As fibras de carbono classificadas como "*módulo baixo*" têm um módulo de tração abaixo de 34,8 milhões de psi (240 milhões de kPa). Outras classificações, em ordem crescente do módulo de tração, incluem "*módulo padrão*", "*módulo intermediário*", "*módulo alto*" e "*módulo ultra-alto*". As fibras de carbono com módulo ultra-alto têm um módulo de tração de 72,5-145,0 milhões de psi (500 milhões - 1.0 bilhão de kPa). Como comparação, o aço tem um módulo de tração de cerca de 29 milhões de psi (200 milhões de kPa) (Fonte: site *How Products Are Made*). Assim, a fibra de carbono mais forte é cerca de cinco vezes mais forte que o aço.

O seu maior atrativo para o mercado consiste nas duas últimas características expostas, alta resistência mecânica e leveza, quando comparada com possíveis concorrentes. Logo, ela se torna uma opção extremamente interessante para indústrias que visam diminuir o peso de seus produtos e de máquinas sem perder a resistência necessária, como é o caso da indústria aeroespacial e automobilística. Essa última busca reduzir o peso dos carros para diminuir o consumo de combustíveis e a emissão de poluentes.

A forma de processamento e a matéria prima empregada influenciam nas propriedades finais da fibra, a qual será utilizada pela indústria que valoriza suas características específicas, como demonstra a tabela II-1 a seguir:

Tabela II-1- Relação entre as propriedades físicas e as aplicações da fibra de carbono
(SOUTO, 2014)

	Propriedades Físicas	Aplicação
1	Força, resistência específica, peso leve	Aeronáutica: asas, superfícies de controle; automotivo: molas, cabos de pneus; artigos esportivos: esquis, raquetes de tênis
2	Elevada estabilidade dimensional, baixo coeficiente de expansão térmica, e baixa abrasão	Mísseis, freios de aeronaves, aeroespacial antena e estruturas de apoio, telescópios grandes, bancos ópticos, guias de onda para estável de alta frequência (GHz) quadros de medição de precisão
3	Bom amortecimento de vibrações, força e tenacidade	Equipamentos de áudio, alto-falantes, bobinas, braços de coleta, instrumentos musicais, braços robóticos
4	Condutividade elétrica	Capuzes de automóveis, carcaças e bases para equipamentos eletrônicos, pincéis, papéis e plásticos condutores, eletrodos, elementos de aquecimento, cabos supercondutores
5	Filtros biológicos	Filtros de sangue, dispositivos protéticos, cirúrgicos e equipamentos de raios X, implantes, tendão/ligamento reparação
6	Resistência à fadiga, autolubrificação, alto amortecimento	Máquinas têxteis, engenharia geral, os rolamentos de alta tensão, os volantes
7	Inércia química, resistência à corrosão	Indústria química; campo nuclear; válvulas, selos, juntas e componentes de bombas em plantas de processos
8	Propriedades eletromagnéticas	Anéis geradores de contenção grandes, equipamentos radiológicos

II.2. Matérias-Primas

Diversas pesquisas científicas atuais buscam encontrar novas fontes para a produção da fibra de carbono, de modo a aprimorar suas propriedades e reduzir seu custo de fabricação. No entanto, a dificuldade nesse processo consiste em encontrar fontes que conciliem várias características desejadas, como um maior rendimento do processo, menores preços e facilidade e garantia de abastecimento da matéria prima e dos principais insumos, associadas a preservação da qualidade e especificação do produto obtido. As matérias primas, denominadas de precursoras, que mais se destacam no mercado atualmente são o piche, o raio e a poliacrilonitrila (PAN). Ainda deve ser destacado que pesquisas ainda em fase inicial objetivam o aproveitamento da lignina de resíduos celulósicos.

II.2.1 Poliacrilonitrila – PAN

A poliacrilonitrila (PAN), com fórmula polimérica resumida $[C_3H_3N]_n$, é um polímero linear com grupos nitrilas altamente polares. A característica altamente polar do homopolímero de poliacrilonitrila pura apresenta uma temperatura de transição vítrea de aproximadamente 120 °C (JUNIOR, 2013). A poliacrilonitrila precursora de fibras de carbono apresenta aproximadamente 7% de comônômeros, estes com a função de diminuir a temperatura de transição vítrea, mas que tem influência na reatividade do

polímero, propriedade que afeta consideravelmente o processo de formação das fibras de carbono.

Na figura abaixo pode-se ver a estrutura molecular do homopolímero de poliacrilonitrila:

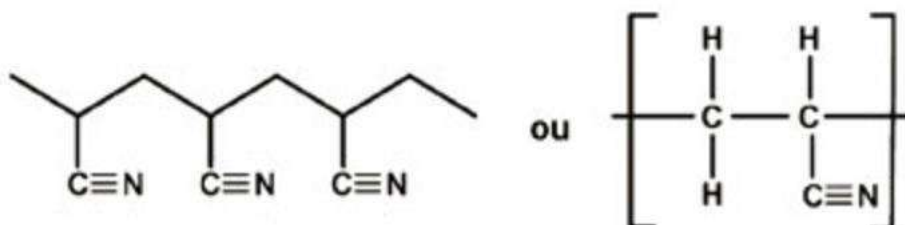


Figura II-2- Estrutura molecular do homopolímero de poliacrilonitrila (JUNIOR, 2013)

Para a utilização da molécula de poliacrilonitrila na forma de fibras é necessária a incorporação de algum comonômero que pode providenciar as propriedades requeridas para o seu uso. Para o caso de fibras têxteis, por exemplo, a presença do comonômero acetato de vinila (AV) como um copolímero PAN-co-AV, Figura 3, tem alta probabilidade de influenciar no aumento da solubilidade em solventes orgânicos usados no processo de fiação.

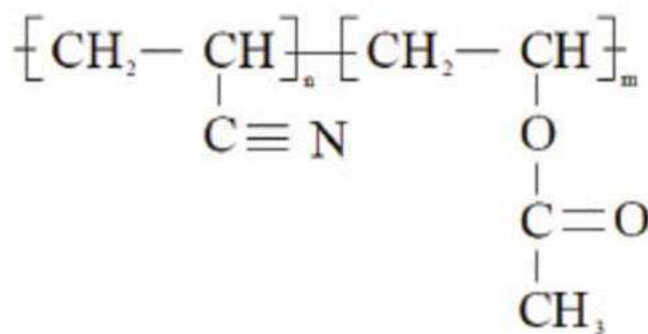


Figura II-3- Molécula de Poliacrilonitrila-co-acetato de vinila (JUNIOR, 2013)

Na tabela a seguir, são apresentados comonômeros que são empregados na polimerização com acrilonitrila pelo sistema redox. Dentre eles estão os comonômeros tradicionalmente usados na composição de fibras precursoras de fibras de carbono (FC):

Tabela II-2- Comonômeros utilizados na polimerização com acrilonitrila (JUNIOR, 2013)

Comonômero	Empregabilidade	Distribuidora (Preço/kg)
Metacrilato de metila (MMA)	Precursor FC	Lucite (US\$ 5,00)
Acrilato de metila (MA)	Precursor FC	Arkema (US\$ 4,40)
Ácido itacônico (IA)	Precursor FC	Vetta (US\$ 4,20)
Acetato de vinila (AV)	Têxtil	Dow (US\$ 2,80)
Metalil sulfonato de sódio	Membranas	—
Estireno (ES)	Têxtil; ABS	Brazmo (US\$ 2,14)

A concentração do composto comonômero na estrutura, como por exemplo, o acrilato de metila (MA), pode atribuir uma condição ao composto de ser permissível à fiação, apresentando assim uma melhor capacidade de alongamento da fibra. Esta característica da poliacrilonitrila se mostra extremamente importante no processo geral da produção de fibra de carbono.

Além disso, uma das principais vantagens da poliacrilonitrila em relação a outras matérias primas é o seu alto percentual de carbono, cerca de 68% na sua forma de monômero.

II.2.2 Raiom

Raiom, rayon ou raiom em português é o nome dado a um tipo de tecido obtido através da fibra de celulose regenerada. O raiom é feito de celulose purificada, principalmente de polpa de madeira, que é quimicamente convertida em um composto solúvel. É então dissolvido e forçado através de uma fieira para produzir filamentos quimicamente solidificados, resultando em fibras artificiais de celulose quase pura que podem ser usadas para a produção de fibras de carbono.

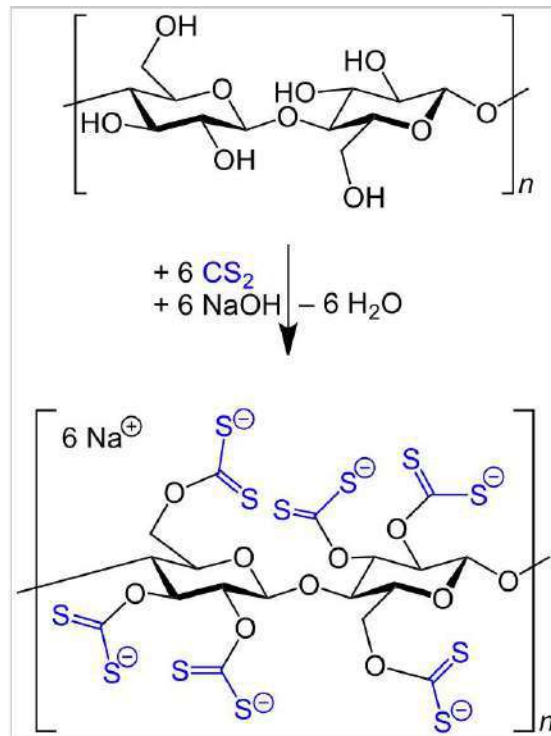


Figura II-4- Celulose tratada com alcali e dissulfeto de carbono para gerar o raíom
(Fonte: site *Wikipedia*)

A tecnologia de obtenção do raíom está bem estabelecida, com estudos iniciais datados de 1855, e apresenta baixo custo de produção.

Apesar de apresentar ótimas qualidades para o mercado de vestimentas, o raíom ainda resulta em fibras de carbono de baixa qualidade quando comparadas com as fibras obtidas de PAN. Uma das maiores desvantagens no uso do raíom como matéria prima é a alta toxicidade do dissulfeto de carbono utilizado na produção do raíom, Figura 4, que pode causar problemas nos trabalhadores, como sérios distúrbios neurológicos, cardiovasculares, problemas no fígado e cegueira.

II.2.3. Lignina

A Lignina é uma classe de polímeros orgânicos complexos que formam materiais estruturais importantes nos tecidos de suporte de plantas vasculares e algas. As ligninas são particularmente importantes na formação de paredes celulares, especialmente em madeira e casca, porque elas dão rigidez e não rompem facilmente. Quimicamente, as ligninas são polímeros fenólicos reticulados, como mostra a figura abaixo:

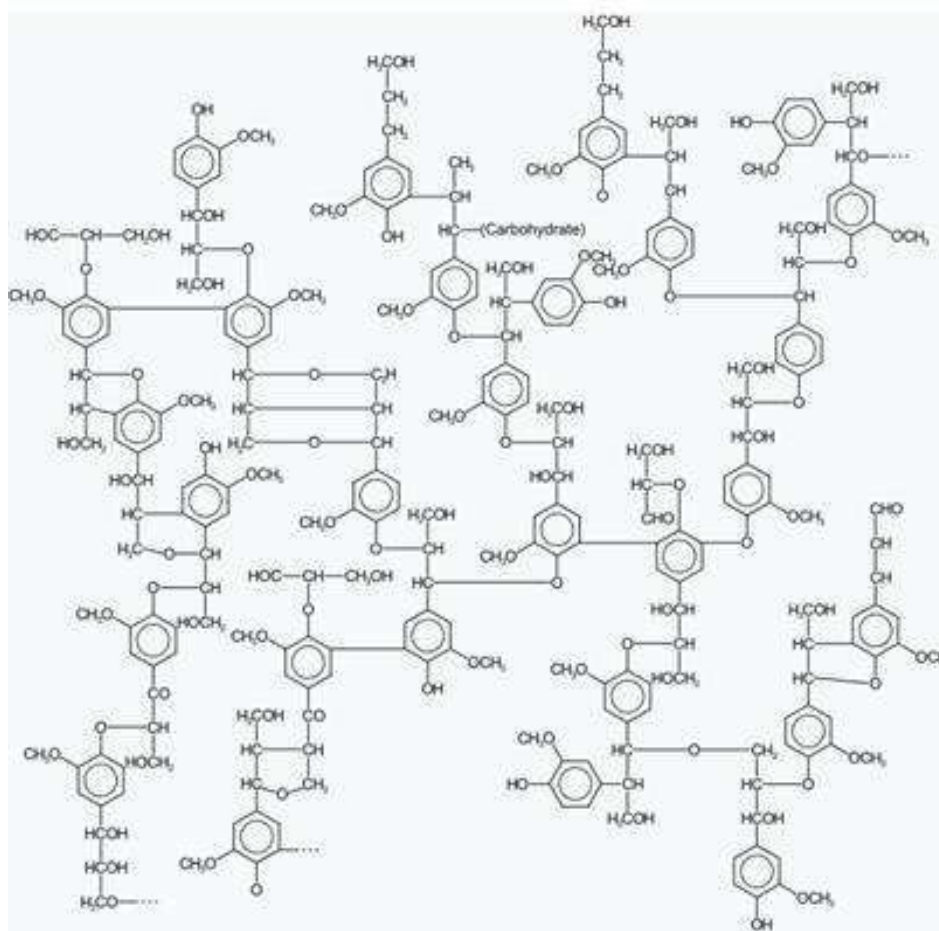


Figura II-5- Possível estrutura de lignina (Fonte: site *Wikipedia*)

A lignina pode ser extraída por vários métodos já conhecidos, como a explosão a vapor, o organosolv, a digestão enzimática ou o método soda. Porém, o método mais comum no mercado é o método de Kraft, utilizado nas indústrias de polpação, papel e celulose. A lignina tem suas propriedades bastante influenciadas pela sua pureza e sua matéria prima de origem, que por sua vez afetam as propriedades finais da fibra de carbono. A lignina pode ser extraída de madeira oriunda de folhosas, de coníferas ou de gramíneas, e dependendo do tipo de matéria prima utilizada para a extração, pode apresentar maior dificuldade em formar ligações cruzadas. Com relação à pureza, é fundamental a remoção de contaminantes presentes na recuperação da lignina, para que estes não comprometam as propriedades finais da fibra de carbono. Os principais contaminantes associados à lignina são sais inorgânicos, grãos de areia, diatomáceas, fibras celulósicas, componentes voláteis e carboidratos.

II.2.4. Piche

A fibra de carbono de piche utiliza o alcatrão, também denominado de alcatrão de hulha porque era obtido ainda como subproduto da queima do carvão, Figura 6, líquido viscoso oriundo do “*fundo de barril*” de petróleo que sobra das refinarias e é normalmente misturado com óleo combustível para ser queimado em caldeiras.

A tecnologia para a obtenção de fibras de carbono de piche ainda é recente, e é dominada pelo Japão e pelos Estados Unidos. Mesmo assim, o Brasil já iniciou pesquisas de desenvolvimento desta tecnologia no Centro Tecnológico do Exército – CTEEx com apoio da Petrobras (Fonte: site *Portal Efesf*). No momento, as fibras de carbono de piche já atendem as propriedades especificadas pelo mercado automobilístico e continua em desenvolvimento para abranger mais mercados. Como a produção ainda está em escala semi-industrial o custo ainda não pode ser obtido com exatidão, porém cálculos iniciais estimam custos entre US\$ 10 e 15,00 o quilo da fibra, com uma resistência à tração mínima de 1,72 GPa (caracterizando uma fibra de super alta tensão) (Fonte: site *Portal Efesf*).



Figura II-6- Alcatrão de Hulha, matéria prima para o piche (Fonte: site *Wikipedia*)

II.2.5. Comparação entre a qualidade das matérias primas

Dentre as principais matérias primas utilizadas, a PAN apresenta, de modo geral, a melhor relação custo benefício, considerando a resistência à tração e o preço da fibra de carbono produzida, como pode ser observado na figura abaixo:

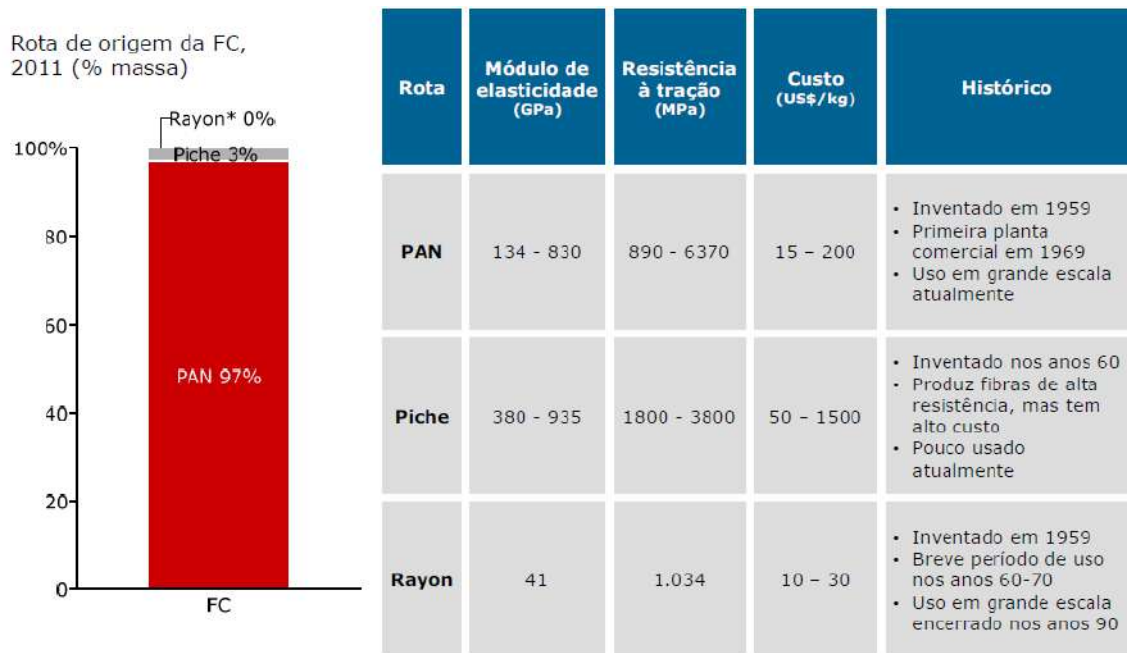


Figura II-7- Participação de cada rota de origem na matriz de fibra de carbono e comparativo entre as matérias-primas (Bain & Company, 2014)

II.3. Tecnologia de uso da matéria prima

Dentre essas matérias primas demonstradas acima, a PAN vem sendo a mais utilizada, devido ao seu alto percentual de carbono, excelentes propriedades físicas e mecânicas do produto final e relativa facilidade no processamento, quando comparada com as outras fontes disponíveis. Como desvantagens, pode-se citar o seu elevado preço, que implica na formação de cerca de 50% do custo do produto, seu baixo rendimento, a toxicidade do solvente utilizado e a lenta grafitação. Por outro lado, o raion, que gera os menores custos de produção, apresenta baixa qualidade das propriedades finais do produto, tornando essa matéria prima não interessante para o mercado.

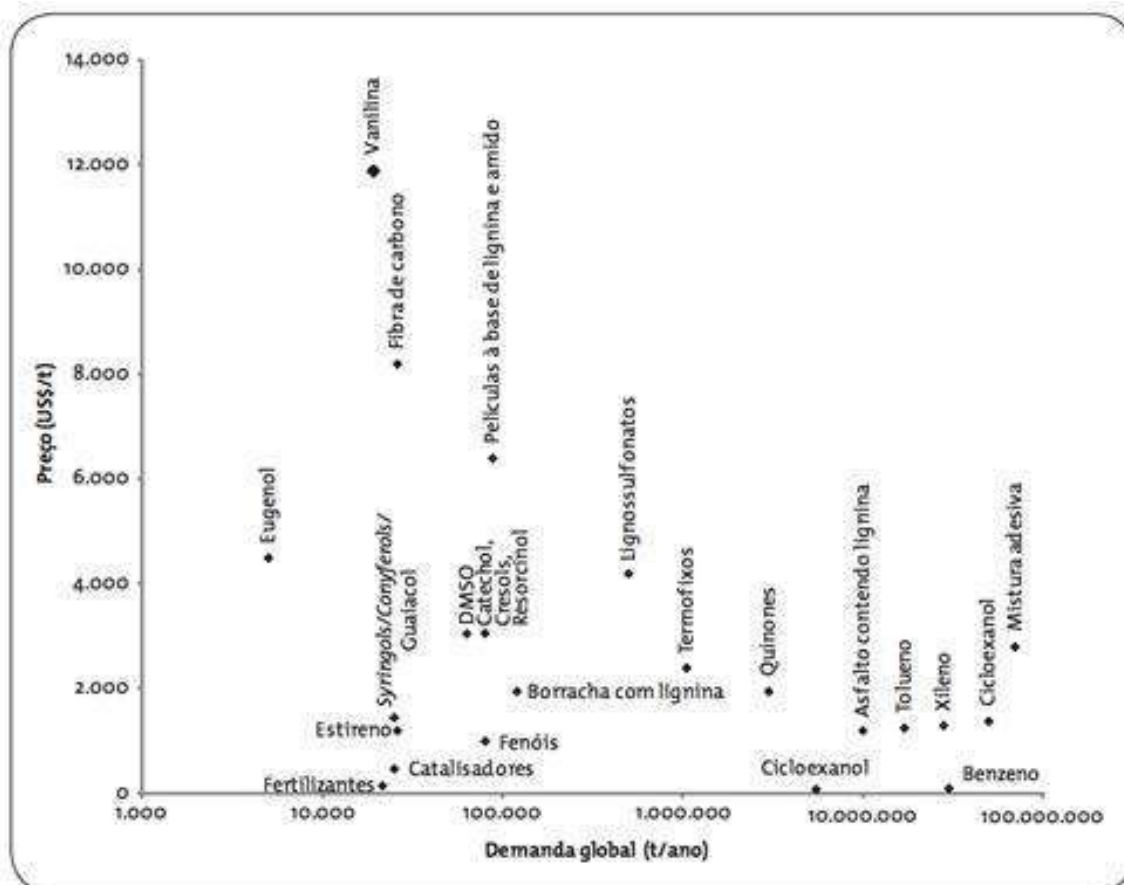


Figura II-8- Preço de mercado x demanda de produtos derivados da lignina (VARANASI, 2013)

O substituto ideal para a PAN precisaria ser um material orgânico, com alto teor de carbono, fornecendo ao menos 10% em massa da matéria prima e que não fosse liquefeito na etapa de carbonização. Visto que existe uma tendência atual pela busca de soluções sustentáveis para os mais diversos problemas industriais, o uso de derivados da biomassa surge como uma opção de fonte renovável, como é o caso da lignina, presente na parede celular das plantas, associada à celulose. De acordo com o Oak Ridge National Laboratory (ORNL), o custo da fibra obtida através da PAN é de US\$21,7/kg, enquanto através da lignina é de US\$6,2/kg (SOUTO, 2014). Porém, apresenta um conjunto de outras desvantagens que ainda restringem seu uso no mercado, principalmente por ser um dos produtos mais nobres obtidos de lignina atualmente, como demonstrado na figura acima. As pesquisas feitas relatam que as propriedades da lignina variam em função de muitas variáveis, e um dos principais fatores é o seu grau de pureza após a extração. A lignina é classificada conforme seu grau de pureza, que por sua vez, se reflete em seu preço de comercialização.

Ligninas com baixo grau de pureza dominam o mercado atual. No ano de 2014, o mercado global de lignina alcançou 1,1 milhão de toneladas comercializadas, sendo que 85% deste volume foi constituído de ligninas com baixo grau de pureza (NALI,

2016). Após o processo de extração, a lignina ainda apresenta diversos contaminantes como enxofre, sódio, potássio, hemiceluloses, etc. Para usos nobres da lignina, como na produção de fibra de carbono, a lignina extraída deve ser muito pura. Sendo assim, um dos maiores desafios atuais para o mercado de fibra de carbono oriunda da lignina é o desenvolvimento da tecnologia necessária para a maior purificação da matéria prima.

Outro fator que ainda põe a lignina em desvantagem é a padronização do diâmetro das fibras, visto que diâmetros elevados podem produzir fibras com poros, defeitos estruturais e menor resistência à tração. A fibra de PAN comercial possui um diâmetro médio de 7 a 11 micrometros e pode ser usada como diâmetro de comparação.

Como já foi exposto, a fibra pode apresentar propriedades distintas, a tabela II-3, abaixo, exemplifica esse fato, mostrando uma classificação de acordo com seu módulo, força, precursores e temperatura de tratamento térmico.

Os valores expostos nessa tabela se referem a tensão mecânica da fibra, que representa a distribuição de forças por unidade de área ao longo do filamento. Segundo o sistema SI, ela é medida em Pascal, que é uma medida de força por unidade de área, e suas variações, como o MPa (megapascals) ou GPa (giga pascals) mas também é usualmente representada pela unidade Msi (“Megapounds/Sq. Inch”) (Fonte: site *Wikipedia*).

O custo da fibra de carbono também pode variar de acordo com o módulo da tensão, o indicador de resistência da fibra. Quanto maior o módulo, maior o valor econômico da fibra. Na análise feita nesse trabalho, não consideramos esse fator, pois seria impossível mensurar com razoável precisão o módulo utilizado para cada aplicação específica. Contudo, a título de ilustração, segue na tabela abaixo os valores obtidos para um teste realizado em 1999:

Tabela II-3- Custo da fibra de acordo com o seu módulo de tensão (QUEIROZ, 2008)

	Módulo de tensão (Msi)	Custo (US\$/lb)
<i>Low Elastic Modulus</i>	Abaixo de 33	~5
<i>Standard modulus</i>	33-35	18-20
<i>Intermediate modulus</i>	40-50	31-33
<i>High modulus</i>	50-70	60-65
<i>Ultrahigh modulus</i>	70-140	120-900

Fica evidente a relação do custo com sua propriedade mais valorizada que é o módulo de tensão. O custo médio pode ser até 100 vezes maior quando comparada a fibra com menor módulo com a de maior módulo.

II.4. Manufatura

Existem diferentes processos de manufatura da fibra de carbono. Todavia, para precursores poliméricos, caso da PAN, o processo chave de produção é a pirólise, que é a decomposição por calor de um material rico em carbono, resultando em sua carbonização com a eliminação de outros átomos da molécula precursora. No processo completo, algumas etapas são recorrentes, como a fiação, a termoestabilização e a carbonização. Uma etapa complementar de grafitização também é usual nos processos. Após essa fase inicial de manufatura para obtenção do produto, será necessário o tratamento da superfície da fibra obtida. De modo geral, a fibra de carbono costuma possuir um teor maior de carbono superior a 90% em peso.

Um esquema geral com todas as etapas do processo de produção é resumido na figura seguinte:

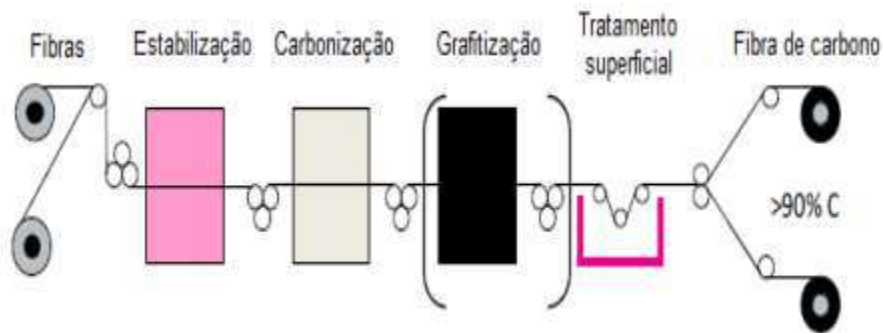


Figura II-9- esquema geral com todas as etapas do processo de produção da fibra de carbono (SOUTO, 2014)

II.4.1. Fiação

O processo de obtenção das fibras de carbono se inicia com um pré tratamento onde a matéria prima, neste caso a PAN, recebe tensões mecânicas para provocar o seu alongamento.

Três diferentes tipos de fiação podem ser realizadas: por fusão, fiação úmida ou seca.

Na primeira, o custo variável incorrido é apenas com a fusão da matéria-prima, o que faz essa modalidade de fiação bem atraente para os produtores. Esse processo consiste na fusão do precursor e extrusão por orifícios, que são, posteriormente, solidificados no formato desejado para as fibras .

Na fiação úmida, a solução concentrada do precursor também é extrudada por orifícios, mas dessa vez isso ocorre em um banho de coagulação que agrega custos específicos. No final, o precursor é precipitado na forma da fibra, já que ele é menos solúvel no fluido de coagulação do que no solvente.

No último, de fiação seca, o precursor também é precipitado na forma da fibra, só que a extrusão ocorre em uma câmara de secagem.

Nos casos em que puder ocorrer a degradação da matéria prima na temperatura de fusão, não utiliza-se esse processo de fiação para evitar a decomposição do produto durante sua obtenção. Como exemplos, as fibras geradas a partir da lignina costumam ser extrudadas por fusão, enquanto as mais comumente utilizadas (vindas da PAN) são extrudadas por fiação úmida ou seca.

II.4.2 Termoestabilização da Fibra

No decorrer do processo de produção da fibra, ela passará por uma etapa de carbonização em altas temperaturas. Essa etapa de termoestabilização é necessária para evitar que ela seja fundida na carbonização. Assim, ocorre o aumento da temperatura de transição vítrea (T_g), a qual representa a transição de um material entre um estado duro e rígido para um estado mole (Fonte: site *Wikipedia*).

Essa etapa costuma ser demorada, pois a taxa de aquecimento deve ser baixa, para que a T_g aumente mais rápido do que a temperatura de termoestabilização. Uma alta taxa de aquecimento pode comprometer as propriedades da fibra. Por isso, existem diversas pesquisas buscando otimizar essa etapa do processo, reduzindo o tempo total sem prejudicar as características do produto. É uma das etapas mais caras do processo pelo seu consumo energético.

Para que a temperatura de transição vítrea seja elevada, ocorre a incorporação de grupos oxigenados através da introdução de ligações cruzadas oxigenadas entre as moléculas da fibra. Assim, ocorre o aumento da temperatura da fibra mesmo em baixas taxas de aquecimento, logo, a T_g acaba sendo mais elevada do que a temperatura do sistema, deixando o material no estado vítreo. Caso o aquecimento seja feito de maneira rápida, a T_g não consegue ser mantida em um patamar superior à temperatura do sistema e o fio acaba sendo fundido (Fonte: site *Wikipedia*).

II.4.3 Carbonização e Grafitização

As etapas de carbonização e grafitização acabam sendo semelhantes para materiais orgânicos, a diferença será apenas no grau de orientação e cristalização

obtidos no final. O objetivo é produzir folhas planas de grafeno turbostráticos (grafítica ou híbrida) com alto teor de carbono.

Nessa etapa, as propriedades da fibra (mecânicas, térmicas, entre outras) são melhoradas, já que ocorre um enriquecimento das ligações carbono-carbono, através da volatilização dos elementos não-carbônicos presentes. Precursores com alta quantidade de heteroátomos produzem uma fibra com muitos poros e propriedades mais fracas, já que eles sofrem o processo de gaseificação, o que gera maiores perdas de massa. A perda de massa varia de acordo com a matéria-prima, no caso da PAN, 55-60%, e no caso dos piches, 20-45%.

Um dos maiores problemas dessa etapa é a necessidade de otimização do tempo, já que taxas (velocidades de processamento) muito baixas levam a uma grande perda de massa, que chega a ser prejudicial para o produto e taxas muito altas causam defeitos estruturais.

Na carbonização, é aumentado o teor de carbono, enquanto que na grafitização o carbono é convertido em grafite, o qual possui uma estrutura distinta. A figura a seguir ilustra a estrutura atômica do grafite:

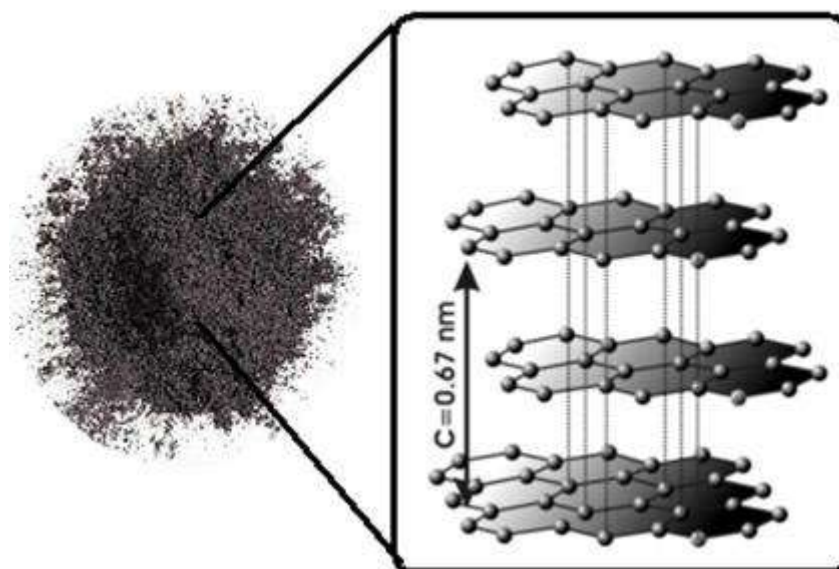


Figura II-10 - Estrutura do Grafite (Fonte: site Toda Matéria)

II.4.4 Tratamento Superficial

Essa etapa é responsável por melhorar as propriedades de adesão na interface fibra-matriz, para que a fibra possa ter uma boa interação com a matriz polimérica na confecção de materiais compósitos.

Os tratamentos consistem em limpeza e inclusão de grupos funcionais. Em muitos processos é feita a oxidação eletrolítica para anexar grupos carbonilas, carboxilas ou hidroxilas na superfície da fibra, os quais favorecem o processo de adesão à matriz. Ao final, uma camada de resina é utilizada para a cobertura do produto. Essa camada, denominada de *sizing*, facilita o manuseio da fibra e melhora suas propriedades mecânicas. O produto assim obtido é o denominado comercialmente de fibra de carbono. Contudo, para a sua aplicação final, o produto ainda é transformado em uma material compósito, o qual possui as características adequadas para a sua aplicação.

Outro método empregado, diferente desse utilizado para precursores poliméricos, é o de deposição química em fase vapor. O processo acaba divergindo do último tanto na sua etapa de síntese da fibra, na microestrutura, como no próprio resultado final (propriedades). Ele é realizado em apenas uma etapa, na qual hidrocarbonetos gasosos, diluídos em outros gases, são decompostos em um catalisador particulado metálico, gerando a absorção de carbono e saída de uma estrutura tubular altamente organizada.

III. Estudo do mercado

O mercado de fibra carbono, historicamente, apresenta comportamento cíclico e com significativa influência do desempenho da economia global. É extremamente complexo quando analisamos a tecnologia envolvida e a dinâmica entre os agentes de mercado. Estima-se que os três maiores mercados consumidores do produto (América do Norte, Europa e Ásia) representem 80% de todo o consumo mundial. Entre 2001 e 2003, percebeu-se uma dificuldade no crescimento devido à desaceleração da indústria aeroespacial e à desaceleração econômica nos mercados já citados.

Atualmente, as empresas asiáticas, em especial as japonesas, dominam a produção. Em 2009, elas controlavam 70% do mercado. Grandes “**players**” como DuPont, Exxon e Basf acabaram desistindo do nicho de mercado em que atuavam e cederam espaço para os atuais dominantes, as empresas Toray Industries, Mitsubishi Rayon, Zoltek, Cytec, SGL Group, Toho-Tenax e Hexcel Corporation. Percebe-se que o Japão e os Estados Unidos possuem a maior representatividade na produção global. Além de ser um “**business**” altamente intensivo em capital, o longo prazo de “**payback**”³ também se torna outro empecilho para novos entrantes, especialmente quando a tecnologia ainda é considerada emergente, e o mercado é cíclico e suscetível a aspectos regulatórios. Baseado nesses fatos, assume-se a necessidade de obtenção de uma taxa de retorno em nível adequado para atrair novos investimentos e empresas para esse mercado, a qual será explicada no capítulo 4 sobre a análise econômico-financeira do projeto.

³ O “payback” representa o tempo necessário para que os rendimentos gerados através de um investimento igualem o valor do capital inicialmente empregado.

Tabela III-1- Maiores produtores de fibra de carbono no mundo com seus respectivos países sede (Fonte: sites das empresas)

Empresas	País Sede
Toray Industries	Japão
Mitsubishi Chemical Corporation	Japão
Zoltek	EUA
Cytec	EUA
SGL Group	Alemanha
Toho-Tenax	Japão
Hexcel Corporation	EUA

A demanda global por fibra de carbono está crescendo a uma taxa relativamente elevada. Entre 1984 e 2011, a média de crescimento anual foi de 8 a 10%, enquanto que entre 2011 e 2020, a estimativa é de que atinja 15% (Bain & Company, 2014). 95% do consumo está atrelado aos setores industrial e aeronáutico. Para esses setores, a taxa de crescimento média anual (entre 2011 e 2020) é prevista para algo entre 14% e 17% (Bain & Company, 2014).

No Brasil não há produção da fibra de carbono, sendo necessária a importação para suprimento do consumo doméstico. Em 2012, o déficit comercial foi de 97 milhões de dólares e em 2013, de 47 milhões de dólares. O Brasil possui papel significativo no consumo mundial, tendo contribuído com 9% da demanda global em 2012 e 4% em 2013, valores elevados (mesmo com a redução em 2013) considerando a produção industrial do Brasil e sua influência no cenário global (Bain & Company, 2014).

Abaixo, pode ser observada a agregação de valor ao longo da cadeia produtiva da fibra de carbono, desde a incorporação do composto químico para a constituição da PAN até a geração do produto final (material compósito). Percebe-se que é necessário 1,4 kg de propeno (ou 2 kg de PAN) para a geração de 1 kg de fibra de carbono. Vale ressaltar que a porcentagem de fibra de carbono presente no “*prepreg*” e no produto final (o material compósito) varia caso a caso e que o valor exposto é apenas uma estimativa baseada na maioria dos casos. Também é visível que a maior apropriação de valor é na transformação do “*prepreg*” para o material compósito final (Bain & Company, 2014).

Tabela III-2- Agregação de valor na cadeia de produção da fibra de carbono (Bain & Company, 2014)

Dado		Propeno	Acrilonitrila	PAN precursor	Fibra de Carbono (FC)	Prepreg	Produto Final
(a)	Preço (US\$/kg)	1,0 - 2,1	2 - 2,5	5 - 6	20 - 25	55 - 70	250 - 350
(b)	Quantidade (kg/kg FC)	1,4	2	2	1	0,7*	0,7*
(a) x (b)	Preço (US\$/kg FC)	1,5 - 3	4 - 5	10 - 12	20 - 25	70 - 90	350 - 500

*Massa de fibra de carbono contida em 1 kg de prepreg ou produto final; considera preço da resina US\$30/kg

III.1 Mercado de aplicação

A fibra de carbono é um material que apresenta alta versatilidade, podendo ser usada desde o mercado de esportes, automotivo até o mercado de óleo e gás e aeroespacial.

Como podemos ver na figura abaixo, com dados de 2012, os setores industriais mais relevantes em relação ao consumo global são o eólico e o setor aeroespacial e defesa. O setor automotivo, pelo seu expressivo crescimento recente, receberá consideração específica.

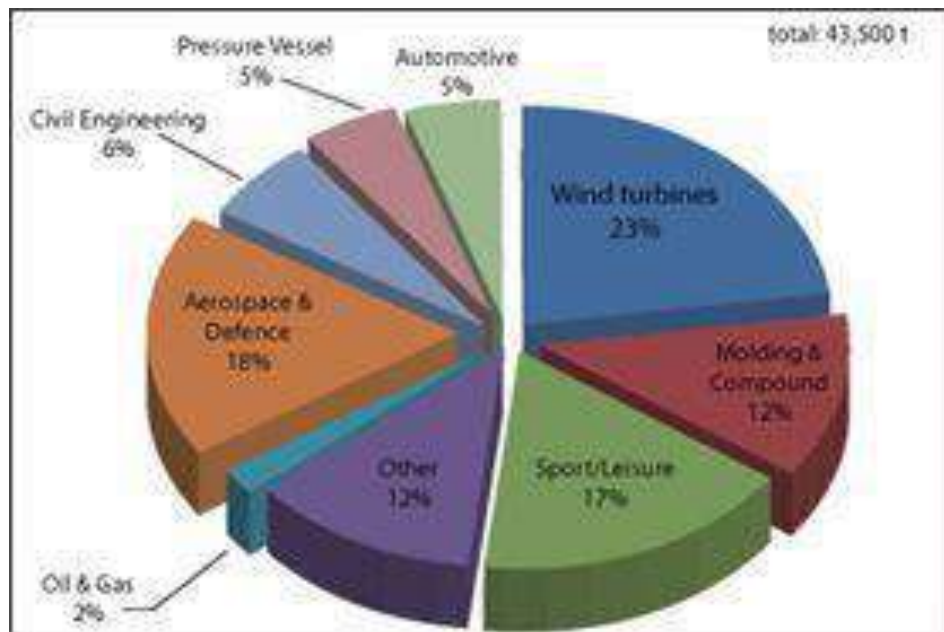


Figura III-1- Consumo global de fibra de carbono (toneladas) por aplicação (2012)
(Fonte: site *Tecmundo*)

III.1.1 Eólico

A energia eólica é a obtenção de energia elétrica através da energia cinética da massa de ar em movimento. Esta massa de ar movimentada é fixada nos aerogeradores, fixados nas torres que transformam a energia cinética em elétrica. Neste setor eólico, a fibra de carbono é empregada em sua maior parte nas pás dos aerogeradores.

As pás das turbinas eólicas já foram fabricadas em aço, madeira, alumínio, mas atualmente são fabricadas com compósitos que utilizam fibras de vidro, fibras de carbono e matrizes poliméricas pois estes materiais satisfazem as exigências do produto com um menor peso e um módulo elevado de elasticidade. Como podemos ver nos gráficos da figura III-2 abaixo, a fibra de carbono de módulo intermediário (IM) apresenta claras vantagens em relação aos outros materiais, como a menor deformação à tração e à compressão.

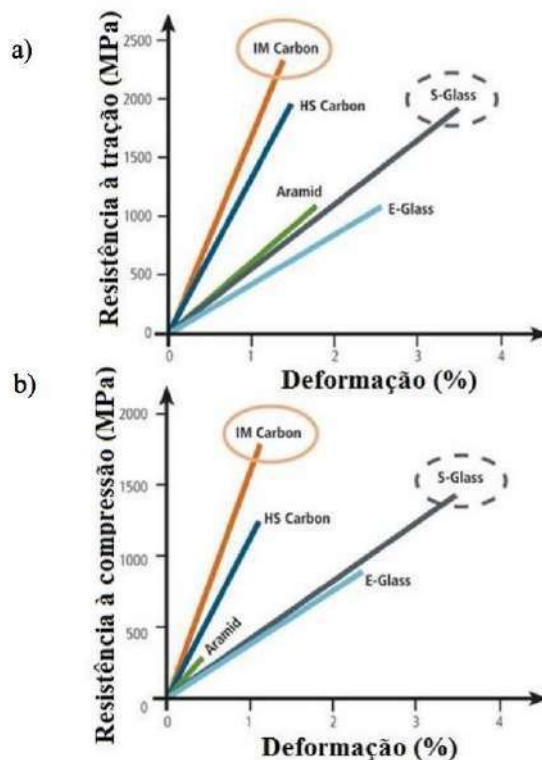


Figura III-2- Gráficos de tensão x deformação para diferentes fibras: a) Tração b) Compressão

No cenário atual, a capacidade de geração de energia eólica apresenta a maior taxa de crescimento dentre as energias renováveis, em torno de 30% ao ano. Cerca de 13% da superfície da terra tem bom potencial para gerar energia eólica onde um terço desta área se encontra na Europa. Citando o mercado europeu, a energia eólica representa cerca de 32% da energia gerada na Espanha, 25% na Alemanha e 18% na Dinamarca, por exemplo. Nos Estados Unidos, ainda esse tipo de energia representa 1% da matriz energética. O Brasil é o maior gerador de energia eólica da América Latina, ocupando a posição de quinto lugar no ranking mundial de capacidade instalada (10.740 MW), representando 6% da energia gerada no país e com crescimento de 53,4% em 2016 (Fonte: site *Portal Brasil*).

A crescente demanda no setor eólico ocorre pela expansão do uso de fontes de energias alternativas e sustentáveis. A energia eólica está sendo considerada como uma das mais promissoras e convenientes (custo x benefício) até o momento. Esse crescimento tem impulsionado geradores maiores e, conseqüentemente, pás maiores. Essas pás precisam ser mantidas leves e resistentes para uma boa eficiência do gerador e é por isso que a fibra de carbono se torna um material relevante para esse propósito.

III.1.2 Automotivo

No setor automotivo, as indústrias estão procurando diversificação, desempenho, menor consumo de combustível e uso de tecnologias menos agressoras ao meio ambiente. Considerando esses pontos, automóveis mais leves e os que usam como fonte de energia a eletricidade, os denominados carros elétricos, caracterizam a busca desse mercado e a utilização da fibra de carbono como substituto para o aço é uma estratégia que está sendo adotada.

III.1.3 Aeroespacial e Defesa

Na indústria aeroespacial a fibra de carbono é muito utilizada para a confecção de partes mecânicas devido a sua resistência a altas temperaturas, leveza, resistência mecânica e rigidez. Para exemplificar, os cones dianteiros de aeronaves, devido ao atrito com os gases da atmosfera, atingem temperaturas por volta de 1.093°C, tornando indispensável o uso de materiais resistentes à esta temperatura. A fibra de carbono também é utilizada neste setor nos cones de saída de escape das aeronaves, nas portas dos trens de pouso, e no “*flap*” das asas. Sua substituição sobre os materiais de alumínio reduzem o peso da peças entre 25 a 30% (UNESP, 2011).

No mercado de defesa, os compostos de carbono adicionados a outros metais como matrizes de epóxi e ferrite podem fazer com que as ondas dos radares sejam absorvidas, tornando os aviões invisíveis à radares inimigos e favorecendo a indústria da aviação bélica. Nos aviões supersônicos F22 a velocidade de voo pode chegar a 1,5 Mach, necessitando de materiais termicamente resistentes e a fibra de carbono cumpre muito bem essa função pois faz com que os aviões não necessitem de tratamento antichama na composição da fuselagem dos mesmos (UNESP, 2011).

Nos aviões comerciais o uso de fibra de carbono para reduzir o peso da estrutura dos aviões é cada vez maior. Segundo a Boeing, a aeronave Boeing 787 já utiliza compósitos de fibra de carbono em 50% de sua constituição, resultando em uma redução do custo por milha de 12% quando comparado com aviões do mesmo porte (UNESP, 2011).

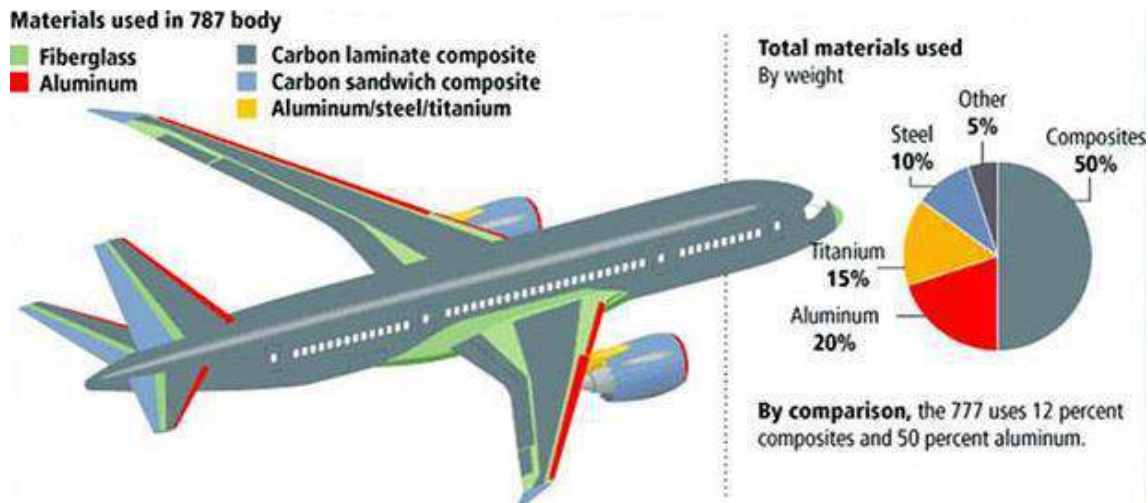


Figura III-3- Uso de materiais na composição do Boeing 787 (UNESP, 2011)

No mercado brasileiro, a empresa Geometra do ramo de aviação está desenvolvendo rodas de fibra de carbono para reduzir o peso da roda aeronáutica. A empresa Geometra participa do projeto *“lightwheel”*, um projeto de incentivo do governo brasileiro que tem como objetivo reduzir em até 30% o peso das rodas aeronáuticas (UNESP, 2011).

III.1.4 Expectativas do mercado

Segundo as expectativas do mercado global, os setores eólico, de óleo e gás *“offshore”* serão os maiores responsáveis pela demanda de fibra de carbono nos próximos 10 anos. Os setores automotivo e aeroespacial, apesar de ainda representarem uma parcela significativa do consumo, possuem regulações que não favorecem o uso das fibras de carbono. Também considera-se que caso ocorra a produção local de fibra de carbono a preços competitivos, poderia haver sua incorporação em outros setores de menor expressão no mercado, como o esportivo, na confecção de tacos de golfe, raquetes, bicicletas, entre outros produtos.

III.2 Mercados Regionais

III.2.1. Norte-americano

Nos EUA, a fibra de carbono é voltada primordialmente para aplicações em área de defesa e aeroespacial. O governo tem apoiado investimentos no setor nos últimos anos, tanto na produção dos precursores, PAN e piche, como na própria fibra de

carbono. No entanto, o Departamento de Defesa Norte-americano propôs uma série de exigências ao comprar esse tipo de material e elas são conhecidas como DFARS (“*Defense Federal Acquisition Regulation Supplement*”). A tabela a seguir, relaciona o tipo de aplicação com a matéria-prima empregada para a produção da fibra de carbono e como pode se observar, nesse mercado ela é utilizada para a produção de mísseis e satélites, propósitos bem distintos dos brasileiros. A vantagem do uso da PAN sobressai pela amplitude de sua utilização (QUEIROZ, 2008).

Tabela III-3- Correlação entre a matéria-prima empregada na produção e o uso da fibra de carbono no mercado norte-americano (QUEIROZ, 2008)

Sistema de Arma	Tipo de Fibra de Carbono		
	PAN	Piche	Raion
Mísseis			
Estratégico	X	X	X
Tático	X		X
Espacial			
Veículos Lançadores	X		X
Satélites	X	X	
Aéreo			
Asa-fixa	X	X	
Asa-rotativa	X		

III.2.2. Mercado Brasileiro

O mercado brasileiro ainda conhece pouco sobre a tecnologia do carbono, e o país é totalmente dependente da importação de grafites especiais, como a fibra de carbono, que movimenta cerca de US\$ 2 bilhões por ano, segundo o presidente da Associação Brasileira de Carbono (ABCARB), o engenheiro químico Luiz Depine de Castro (Fonte: site ABCARB). Mesmo assim, a demanda deste material continua crescendo no Brasil, com aplicações nos setores eólico, aeroespacial, automotivo e no ramo da construção civil.

A demanda por fibra de carbono teve um crescimento considerável entre 2010 e 2013, cerca de 12 vezes em peso, como mostra a figura abaixo (Bain & Company, 2014), e a tendência é aumentar cada vez mais, devido à elevação da participação do produto na produção industrial em diversos setores da economia, como será aprofundado no capítulo 4.

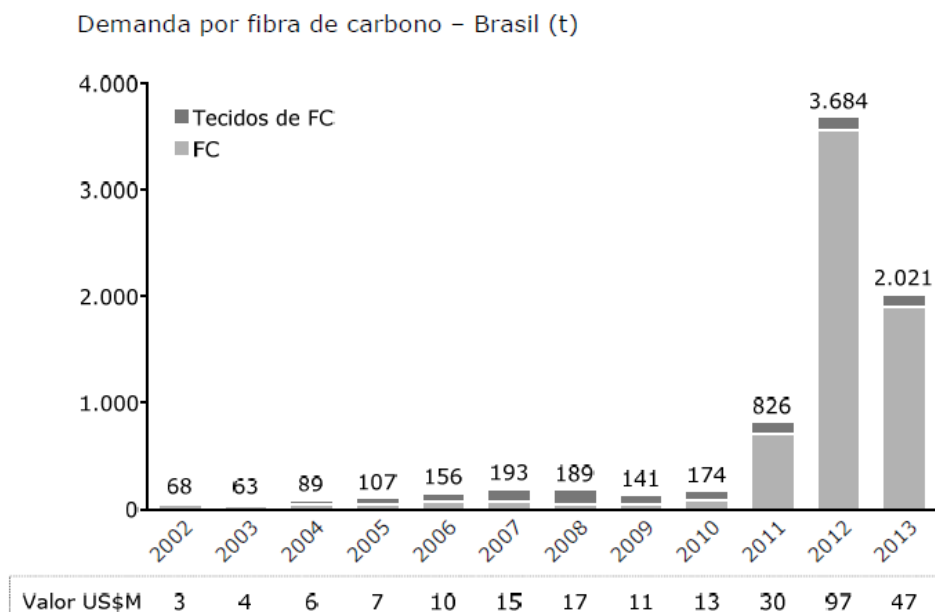


Figura III-4 - Demanda por fibra de carbono no Brasil (Bain & Company, 2014)

O Brasil desponta com uma perspectiva positiva de crescimento no setor eólico. O país é responsável por uma grande parcela da produção das pás eólicas no mundo, tendo contribuído com 20% delas em 2013, quando se tornou o maior gerador de energia eólica da América Latina. Ocupando a posição de quinto lugar no ranking mundial de capacidade instalada o Brasil se firma como um grande exportador, principalmente, devido ao trabalho da empresa Tecsis. O maior importador das pás brasileiras são os EUA, contribuindo com a aquisição de 87% da produção (Bain & Company, 2014).

Também percebe-se um crescimento no número e tamanho das pás produzidas, visto que, cada vez mais turbinas maiores estão sendo projetadas. Geradores maiores são mais eficientes na produção de energia, o que se torna muito interessante em regiões com ventos de fraca intensidade. Para se produzir pás maiores, percebeu-se que a resistência é um fator fundamental e a fibra de carbono oferece essa propriedade ao produto, além de reduzir seu peso em comparação com os materiais concorrentes. No final, o custo do sistema completo se torna menor com o uso da fibra de carbono. A Enercon GmbH (uma das empresas líderes em tecnologia eólica no mundo) possui subsidiária no Brasil, a Wobben Wind Power Enercon, a qual é a única no ramo de aerogeradores de grande porte. Ela ainda utiliza a fibra de vidro em seus processos, podendo ser substituída pela fibra de carbono, aumentando a demanda do produto. A capacidade instalada de energia eólica vem aumentando consideravelmente no mundo, fruto da busca por fontes de energia alternativa (Bain & Company, 2014), percebe-se que é um setor com grande potencial de crescimento.

Capacidade instalada de geração de energia eólica – Mundo (GW)

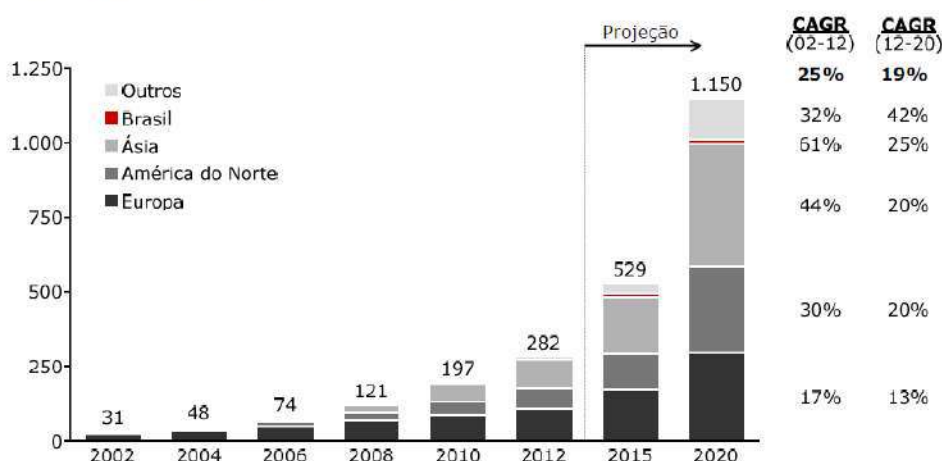


Figura III-5 - Capacidade instalada de fibra de carbono no mundo (Bain & Company, 2014)

No setor aeronáutico, estima-se o crescimento da demanda por fibra de carbono em função do uso crescente em alguns modelos de aviões, que a utilizam em grande quantidade (por volta de 50% em massa para construir suas peças). Em alguns modelos, o uso da fibra chega a atingir 23 toneladas por avião. No entanto, a Embraer, que possui grande relevância no cenário nacional, devido ao menor porte de seus aviões, utiliza uma quantidade menor de fibra de carbono (entre 5 e 10% do peso total) e não existem expectativas de crescimento dessa proporção para um futuro próximo (Bain & Company, 2014).

No setor automotivo mundial, espera-se um crescimento médio anual de 17% entre 2011 e 2020. Porém, as expectativas do mercado brasileiro não são positivas para os próximos 5 anos, devido às nossas regulações, que ainda não estimulam o uso de carros elétricos ou veículos de baixo consumo. O cenário é o oposto dos países desenvolvidos (Bain & Company, 2014).

No setor de óleo e gás “*offshore*”, o Brasil apresenta uma perspectiva positiva de crescimento na exploração e irá contribuir para uma grande parcela do crescimento global entre 2012 e 2020 (cerca de 75%) (Bain & Company, 2014). Segundo informações obtidas através de empresas do setor, considera-se a necessidade de tubos mais leves (que operem com maiores pressões) e mais resistentes mecanicamente, além do fato de necessitarem de tubos com maior resistência à corrosão para operar maior quantidade de fluidos corrosivos nessas explorações (H₂S e CO₂). Foi constatado que a fibra de carbono consegue atender a esses requisitos. A Petrobras, que trabalha com a extração de petróleo em águas profundas tende a ser uma grande consumidora da fibra, caso houvesse produção interna.

O uso da fibra nesse setor já é uma prática comum para tubulações menores e mais simples, no entanto, o uso nos chamados “*risers*” de perfuração e produção irá

atingir patamares maiores até 2020. Espera-se que até esse ano a demanda do setor atinja 1,6 mil toneladas de fibra de carbono (Bain & Company, 2014).

Atualmente o Brasil já possui um embrionário desenvolvimento em fibras de carbono de piche na instalação do Centro Tecnológico do Exército, em Guaratiba, no Rio de Janeiro, e diversas pesquisas para uma produção de fibra de carbono de menor custo e mais ecológicas como a fibra de carbono de lignina (Fonte: site ABCarb).

IV. Cenários de projeção do mercado

A demanda de fibra de carbono foi calculada até 2030 e, para isso, assumimos premissas de crescimento anual para os principais setores que envolvem a apropriação da fibra de carbono e utilizamos a demanda projetada para 2020 em (Bain & Company, 2014) como ponto de partida.

Na distribuição dos setores para a análise econômica, escolheu-se o aeroespacial, esportes, eólico e automobilístico como os mais relevantes globalmente, visto que, apresentam as maiores fontes de demanda de fibra de carbono atualmente. Desempenhando-se a mesma análise para o Brasil, foram selecionados os setores aeroespacial, eólico e O&G offshore.

Para a formulação dos possíveis cenários foram utilizadas premissas baseadas nos estudos já informados.

Para o cenário base, considerou-se as expectativas de crescimento até 2020 segundo (Bain & Company, 2014) e assumiu-se novas premissas até 2030, de acordo com um cenário mais provável. Entre 2020 e 2030, foi considerada uma taxa de crescimento anual de 5% para o setor eólico no Brasil, o qual é um valor relativamente baixo quando considerados os avanços tecnológicos e incentivos governamentais que vêm sendo empregados para o desenvolvimento do setor, o crescimento global até 2020 será de 15% (Bain & Company, 2014). Para o setor aeroespacial, o qual possui a Embraer como o principal player do mercado nacional, espera-se um crescimento de 6% ao ano, enquanto que esse valor sobe para 10% no caso global. Quando se trata de óleo e gás offshore, coloca-se 4% como expectativa de crescimento anual, analisando globalmente esse setor se encontra na categoria "Outros", visto que, é uma particularidade de alguns países (como o Brasil) e acreditou-se que faria mais sentido interpretar os dados dessa forma.

Já em um cenário otimista, espera-se um crescimento 10% maior para o setor eólico brasileiro, 2% para o aeroespacial e 4% maior (o dobro) para o O&G offshore. Globalmente, 3 % maior, 4% maior e inalterado para os respectivos setores.

Através de uma perspectiva pessimista, espera-se um decréscimo no setor eólico brasileiro de 3%, 2% para O&G offshore e 2% para aeroespacial. No global, decréscimo de 3% para eólico, 2% para aeroespacial e 3% para "outros" (onde está englobado O&G "offshore"). Abaixo segue a tabela com os valores explicados, assim como a participação de cada setor na demanda de fibra de carbono global e nacional (em 2020 (Bain & Company, 2014) e 2030).

Tabela IV-1 - Premissas de crescimento por setor no mercado global

	Global		
	Básica	Otimista	Pessimista
	Taxas de crescimento anual		
Aeronáutico	10.0%	14.0%	8.0%
Esportes	6.0%	6.0%	4.0%
Eólico	15.0%	18.0%	12.0%
Automotivo	12.0%	17.0%	10.0%
Outros	15.0%	15.0%	12.0%

Tabela IV-2 - Participação de cada setor no mercado global

	Participação	
	2020	2030
Aeronáutico	18%	14%
Esportes	11%	6%
Eólico	40%	47%
Automotivo	13%	12%
Outros	18%	21%
Total	100%	100%

Tabela IV-3 - Premissas de crescimento por setor no mercado nacional

	Brasil		
	Base	Otimista	Pessimista
	Taxas de crescimento anual		
Aeronáutico	6.0%	7.0%	4.0%
O&G offshore	4.0%	5.0%	2.0%
Eólico	5.0%	8.0%	3.0%

Tabela IV-4 - Participação de cada setor no mercado nacional

Participação		
	2020	2030
Aeronáutico	3%	3%
O&G offshore	22%	20%
Eólico	75%	76%
Total	100%	100%

Essas premissas de crescimento anual para cada setor foram estipuladas após estudos, análise de sensibilidade para avaliar se o resultado final obtido era coerente ou não e após conversas com agentes do mercado.

Abaixo, segue o resultado da projeção de demanda de fibra de carbono para os cenários global e nacional.

Tabela IV-5 - Projeção da demanda global e nacional de fibra de carbono (cálculo próprio)

Demanda Global em kt	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Cenário Base	130	147	165	187	211	238	270	305	345	391	444
Cenário Otimista	130	150	173	200	231	267	310	359	416	483	560
Cenário Pessimista	130	143	158	174	192	212	234	259	286	316	350
Demanda Nacional em kt	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Cenário Base	7.1	7	8	8	9	9	9	10	10	11	11
Cenário Otimista	12.4	13	14	15	16	16	17	18	19	21	22
Cenário Pessimista	7.1	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9

Através da análise das projeções, chegou-se a conclusão de que a capacidade de produção da indústria nacional deveria ser de 11,5 kt de fibra de carbono por ano para atender a demanda em 2030 (de acordo com o cenário base), 21,8 kt por ano no cenário otimista e 9,6 kt por ano no cenário pessimista.

V. Análise Econômico-financeira

V.1. Considerações sobre a viabilidade da produção da fibra de carbono no Brasil

O objetivo desse trabalho é estudar os aspectos envolvidos para a instalação de uma planta de fibra de carbono no Brasil com prioridade para atendimento à demanda

local. Serão avaliados aspectos técnicos e econômicos que constituem os fundamentos para um estudo de viabilidade técnico-econômica (EVTE). Serão considerados valores distintos de capacidade de produção anual, capazes de atender a diferentes expectativas de mercado, para se mensurar o investimento necessário e a sua rentabilidade.

Quando compara-se o investimento e o custo total de produção de fibra de carbono no Brasil (importando as matérias primas) e nos Estados Unidos, com base no estudo da Bain & Company, percebe-se um valor para o CAPEX⁴ 47% superior para o caso brasileiro, além de uma taxa de desconto financeiro⁵, ajustada ao risco Brasil, também maior (9,2%) contra 7,8%. O custo com eletricidade é 90% maior, elevando o gasto com utilidades. A importação da PAN representa 75% dos custos de internação de matéria prima.

Outro ponto importante é o fato da PAN, com especificação para fabricação de fibra de carbono, não possuir um NCM⁶ específico, fazendo com que tenha uma alíquota de importação elevada, no mesmo valor de outras fibras acrílicas. Caso seja criado um NCM próprio para a mesma, poderá ser reduzido significativamente o imposto de importação, de 18% para 2%, segundo o mesmo estudo da Bain & Company. O preço estimado da fibra no mercado internacional é de 27-30 mil dólares/tonelada. Esses serão os parâmetros que balizarão o EVTE da implantação de uma fábrica no Brasil.

O foco do presente trabalho é a produção da fibra de carbono e não das etapas subsequentes para a formação dos materiais compósitos. Contudo, para fins de ilustração, a rota comumente empregada na indústria é a formação de um “*prepreg*” a partir da fibra de carbono para posterior geração do material compósito. O “*prepreg*” é um estado intermediário, pode ser caracterizado como um tecido de reforço previamente impregnado com uma resina (Fonte: Texiglass).

A seguir, pode-se observar a representação da cadeia produtiva da fibra de carbono, com base na tecnologia que utiliza como precursor a PAN, desde sua matéria prima inicial até as peças produzidas para aplicação:



⁴ CAPEX - abreviação utilizada na literature, da palavra em língua inglesa “Capital Expenditures”, que representa o gasto utilizado na implantação de capacidade produtiva (investimento total).

⁵ É o custo de capital utilizado, ou seja, a taxa mínima de retorno que se esperaria de um investimento de baixo risco. A literatura também utiliza a denominação Taxa de Mínima Atratividade – TMA (CLEMENTE, 1998).

⁶ Nomenclatura Comum do Mercosul - NCM, com a classificação dos produtos comercializados no âmbito do Mercosul, em 8 dígitos, com informação das alíquotas de importação desses produtos (Fonte: site *Techneaço*).

Figura V-1 – Cadeia simplificada de produção de compósitos a partir da acrilonitrila
(Bain & Company, 2014)

Fazendo uma análise baseada no modelo das cinco forças de Porter⁷, pode se considerar uma alta barreira de entrada no mercado local relacionada a construção de um vínculo comercial entre fornecedores e clientes. Os clientes devem exigir um produto de alta qualidade para que não possa ocorrer qualquer tipo de dano no seu produto final, o que poderia ser catastrófico (defeitos em carros, aviões). Logo, não seria simples a migração desses clientes para novos fornecedores. Fatores como “*know-how*” e reputação também são extremamente importantes nesse setor, já que alguns clientes, principalmente dos setores aeronáutico e eólico, exigem especificações difíceis de serem obtidas para um novo entrante no mercado. O acesso à PAN também não é simples, visto que a produção é controlada e cativa dos grandes produtores (Bain & Company, 2014).

V.2 – Projeção dos Fluxos de Caixa

Para a análise econômico-financeira, utilizou-se a taxa de desconto financeiro, ou o valor de custo de capital no fluxo de caixa, de 9,2% ao ano, baseado no método WACC (“*Weighted Average Cost of Capital*”), que pode ser traduzido como custo médio ponderado do capital.

O WACC representa a taxa de desconto do projeto, ou seja, o retorno esperado para um investimento mais seguro, de menor risco, indicando a taxa mínima de retorno que faria o investidor permanecer no projeto. O custo de capital pode ser calculado a partir da fórmula a seguir, mas no caso desse projeto, estipulou-se um valor próximo da estimativa futura para a taxa Selic (taxa de juros base da economia brasileira, utilizada como referencial para a remuneração de diversos instrumentos de renda fixa), a qual é utilizada como referência para o retorno de investimentos no país.

$$WACC = Ke \times \left(\frac{E}{D+E} \right) + Kd \times \left(\frac{D}{D+E} \right)$$

Onde,

WACC = Weighted Average Cost of Capital

Ke = Custo de capital aos acionistas

Kd = Custo da dívida

E = Total de patrimônio líquido (equity)

D = Total de dívida (debt)

⁷ Modelo idealizado por Michael Porter em 1979 que permite analisar as forças que dirigem a concorrência em uma indústria [25].

Figura V-2 - Fórmula para cálculo do WACC (Fonte: site *Blog Luz*)

Segue a lista de premissas utilizadas, utilizando como base a referência (Bain & Company, 2014):

Tabela V-1 - Premissas utilizadas para a avaliação econômico financeira da empresa

Item	Unidade	EUA	Brasil
Capex inicial	US\$ MM	114	166
Período de análise	Anos	10	10
Valor terminal	Múltiplo do EBITDA	10	10
WACC	%	7.8%	9.2%
Fator operacional ano 1	% capacidade	50.0%	50.0%
Fator operacional ano 2 ao ano 10	% capacidade	70.0%	70.0%
Capacidade nominal	t/ano	3,800	3,800

Utilizou-se um período de 10 anos para a análise por ser um tempo suficiente para que o investimento alcance a sua maturidade e por ser uma expectativa de longo prazo utilizada por investidores em projetos desse porte.

Baseando-se no Estudo (Bain & Company, 2014), calculou-se a totalidade de custos para o empreendimento (fixos e variáveis), incluindo desde a apropriação da matéria-prima até a mão-de-obra necessária. A memória de cálculo desses valores está disponível no CD anexado.

Também se utilizou o preço de US\$30/kg de fibra de carbono para o cálculo da receita. Considerou-se um preço um pouco acima do padrão de mercado (por volta de US\$ 25 por kg de fibra de carbono, de modo geral), visando um horizonte de longo prazo e a expectativa de aumento no preço pela maior demanda do produto e maior índice de penetração nos setores industriais.

Tabela V-2 - Custos fixos e variáveis projetados (cálculo próprio)

	Estados Unidos				Brasil			
	Consumo unitário	Preço unitário	Custo unitário	Custo anual	Consumo unitário	Preço unitário	Custo unitário	Custo anual
	Unidade/t	US\$/t	US\$/t	US\$	Unidade/t	US\$/t	US\$/t	US\$
Custos variáveis								
Matérias primas			11,090				13,922	
PAN			10,480				10,480	
Outros			610				966	
interação MP							2,476	
Utilidades			2,210				3,964	
Energia elétrica			1,400				2,620	
Gás inerte			810				1,344	
Total custos variáveis			13,300	150,848,946			17,886	202,863,477
Custos fixos								
Custos caixa			4,962	56,279,133			3,198	36,271,799
Mão de obra operacional			2,866				1,467	
Overhead			648				403	
Outros (inclui manutenção)			1,448				1,328	
Custos não caixa			6,878	78,010,455			9,470	107,408,986
Depreciação			6,878				9,470	
Total custos fixos			11,840	134,289,588			12,668	143,680,785
Custo total			25,140	285,138,533			30,554	346,544,262

Seguem os fluxos de caixa projetados para o projeto, de acordo com os cenários base, otimista e pessimista, cuja memória de cálculo está disponibilizada no Anexo I - CD:

Tabela V-3 -Fluxo de caixa projetado para o cenário base (cálculo próprio)

Cenário Base (Valores financeiros em US\$):

Valores em milhões de reais	Fluxo de Caixa												
	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Investimento	198	297											
Financiamento	99	149											
Receita			170	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238
Custos													
Variáveis			101	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142
Fixos caixa			36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Fixos não caixa (DA)			107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Encargos Financeiros													
Amortização			25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Juros	3	10	14	13	11	10	8	7	5	4	2	1	
EBITDA			32	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Valor terminal													599
Geração de caixa	- 102	- 159	- 6	22	24	25	27	28	30	31	33	633	
WACC	9.2%												
VPL	103												
TIR	13.9%												
Detalhamento encargos financeiros													
Taxa anual de juros	% a.a.	6.0%											
Prazo de amortização	anos	10											
Financiamento		99	149										
Saldo devedor		99	248	223	198	173	149	124	99	74	50	25	0
Amortização				25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Juros		3	10	14	13	11	10	8	7	5	4	2	1

Tabela V-4 -Fluxo de caixa projetado para o cenário otimista (cálculo próprio)

Cenário Otimista (Valores financeiros em US\$):

Valores em milhões de reais	Fluxo de Caixa												
	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Investimento	381	571											
Financiamento	190	285											
Receita			327	457	457	457	457	457	457	457	457	457	457
Custos													
Variáveis			101	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142
Fixos caixa			70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Fixos não caixa (DA)			206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206
Encargos Financeiros													
Amortização			48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Juros	6	20	27	24	21	19	16	13	10	7	4	1	1
EBITDA			156	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246
Valor terminal													2,457
Geração de caixa	- 196	- 305	81	174	177	180	182	185	188	191	194	194	2,654
WACC	9.2%												
VPL	1,320												
TIR	33.6%												
Detalhamento encargos financeiros													
Taxa anual de juros	% a.a.	6.0%											
Prazo de amortização	anos	10											
Financiamento		190	285										
Saldo devedor		190	476	428	381	333	285	238	190	143	95	48	0
Amortização				48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Juros		6	20	27	24	21	19	16	13	10	7	4	1

Tabela V-5 - Fluxo de caixa projetado para o cenário pessimista (cálculo próprio)

Cenário Pessimista (Valores financeiros em US\$):

Valores em milhões de reais	Fluxo de caixa												
	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Investimento	163	245											
Financiamento	82	123											
Receita			140	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
Custos													
Variáveis			101	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142
Fixos caixa			30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Fixos não caixa (DA)			107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Encargos Financeiros													
Amortização			20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Juros	2	9	12	10	9	8	7	6	4	3	2	1	
EBITDA			9	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Valor terminal													245
Geração de caixa	- 84	- 131	- 23	- 6	- 5	- 4	- 3	- 1	- 0	1	2	249	
WACC	9.2%												
VPL	- 129												
TIR	-0.2%												
Detalhamento encargos financeiros													
Taxa anual de juros	% a.a.	6.0%											
Prazo de amortização	anos	10											
Financiamento		82	123										
Saldo devedor		82	204	184	163	143	123	102	82	61	41	20	0
Amortização				20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Juros		2	9	12	10	9	8	7	6	4	3	2	1

V.3. Influência da escala e do número de fábricas

Também se estudou, como forma de otimização do projeto, qual o número e capacidade ideal das fábricas para atender a demanda prevista para 2030 e utilizou-se como critério de avaliação, a TIR (“*Taxa Interna de Retorno*”) do projeto.

A TIR é conhecida pelo seu termo derivado da língua inglesa: IRR (“*Internal Rate of Return*”). Ela mede a rentabilidade efetiva de um projeto de um modo simples e eficaz, gerando um percentual que é fácil de ser interpretado. Quanto maior o valor da TIR, maior será a rentabilidade do projeto. Para se avaliar se a taxa apresentada é suficiente ou não para que o investidor decida prosseguir com o projeto, a TIR deve ser comparada com a TMA (“*Taxa de Mínima de Atratividade*”), que representa a taxa mínima de retorno que o investidor deseja obter para prosseguir com o projeto. A definição matemática utilizada para a TIR é que ela representa a taxa de retorno que zera o VPL (“*Valor Presente Líquido*”).

O VPL representa a soma de todo o fluxo de caixa do projeto ao longo do tempo, ou seja, esse indicador soma todas as entradas e saídas de caixa, considerando, contudo o valor do dinheiro no tempo. Isso significa que, segundo o método, o valor do dinheiro sofre alterações ao longo do tempo, pois ele é reinvestido pela taxa de mínima atratividade estimada no mercado. O esquema abaixo auxilia na visualização desses conceitos, no eixo vertical, o NPV (“*Net Present Value*”) é o termo utilizado para o VPL na língua inglesa e no eixo horizontal, o “*i%*” representa a taxa de desconto a qual está sendo submetido o fluxo de caixa, ou seja, a TMA. Quando o valor do VPL é 0, a taxa de desconto obtida é a TIR, que no caso desse fluxo de caixa exemplificativo, é de 22,79% (Fonte: site *WR Prates*):

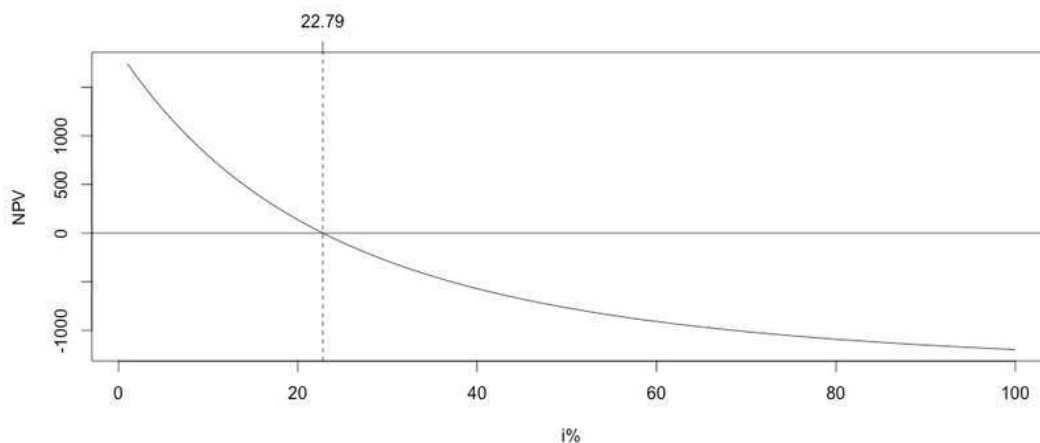


Figura V-3 - Representação da obtenção da TIR através da variação do VPL em um fluxo de caixa aleatório (Fonte: site *WR Prates*)

Considerando a capacidade nominal como sendo a demanda prevista para o caso em que apenas **uma** fábrica será construída até 2030:

- A TIR (Taxa Interna de Retorno) do projeto foi de 13,9% para o cenário base, com um VPL (valor presente líquido) de US\$ 102.503.043,00. Para a elaboração do fluxo de caixa, considerou-se um financiamento de 50% do valor do projeto, sendo esse feito nos dois primeiros anos de construção.
- O cenário otimista (“*bull case*”) gerou uma TIR de 42,4%, e um VPL de US\$ 3.941.992.729,00. Percebe-se que esses resultados são extremamente elevados e que dificilmente eles serão alcançados. É importante ressaltar que a construção dos cenários foi baseada em uma estimativa para a taxa de crescimento de cada setor ao longo dos anos.
- No “*bear case*” (pessimista), a TIR cai para -0,2% e o VPL para (-) US\$ 129,275,461.00, números que mostram a sensibilidade do projeto frente aos setores dos quais dependem. Segue a tabela com os valores encontrados:

Tabela V-6- Valores de taxa interna de retorno e VPL encontrados para cada cenário projetado. Valores para o VPL em US\$. (Cálculo próprio)

	Base	Otimista	Pessimista
TIR	13.9%	42.4%	-0.2%
VPL	102,503,043	3,941,992,729	-129,275,461

Assim, percebe-se que o nosso cenário base apresenta uma taxa de retorno maior que a taxa de juros esperada para o final do ano de 2017 no Brasil (estimativas variam entre 9 e 10%), indicando ser uma boa alternativa de investimentos para os empresários envolvidos, além do fato de que se espera que a taxa de juros decresça com o tempo, devido a expectativa de recuperação econômica para os próximos anos. Os cenários otimistas e pessimistas buscam revelar extremos para casos com menor probabilidade de ocorrência. Sendo assim, percebe-se que é possível se obter um retorno anual de 42,4% caso premissas espetaculares se tornem realidade e um retorno negativo de 0.2% anual, caso um cenário desastroso aconteça. Mesmo no cenário mais adverso, o investidor ficará com o seu investimento praticamente intacto. Obviamente, estamos desconsiderando uma análise de custo de oportunidade para o caso pessimista, já que o investimento ficaria intacto nominalmente, mas além de apresentar uma razoável perda real (abaixo da inflação), ainda estaria retido, enquanto poderia estar sendo aplicado em um outro investimento que rendesse a taxa Selic, por exemplo.

Empregando o mesmo Capex utilizado, mas com a implantação de duas fábricas para acompanhar o crescimento do mercado, percebe-se um aumento do retorno do investimento, com a TIR chegando ao valor de 22,6%. Assumiu-se que a construção da segunda fábrica se inicia no segundo ano de projeto. Esse incremento no retorno é esperado devido a alavancagem gerada, já que se emprega menos capital inicialmente.

Deve-se levar em consideração que esse estudo é apenas ilustrativo, já que assumiu-se que poderiam ser construídas duas fábricas exatamente iguais e com o mesmo valor, sem considerar fatores como condições operacionais, aquisição do terreno, localização etc. Por outro lado, a economia de escala não é aproveitada no caso de apenas uma fábrica em função da ociosidade decorrente do comportamento do mercado.

V.4. Análise do EBITDA

O EBITDA é um indicador financeiro muito utilizado no mercado para se medir a capacidade de geração de recursos financeiros de uma empresa ou empreendimento, considerando apenas a geração de caixa operacional da companhia, ou seja, exclui resultados financeiros e tributários. O conceito significa “*Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*” e pode ser traduzido para o português como LAJIDA (“*Lucro Antes de Juros, Impostos, Depreciação e Amortização*”). Ou seja, avaliar a evolução do EBITDA ao longo dos anos é uma maneira de se avaliar a resultado operacional do projeto ou companhia.

O uso do EBITDA é comum pois avaliar apenas o lucro/prejuízo da empresa em um determinado período acaba sendo uma análise demasiadamente simplista e ineficaz, já que diversos fatores podem afetar esse resultado. Por exemplo, a depreciação representa a perda de valor dos bens tangíveis da empresa ao longo do tempo (prédios, instalações, equipamentos) e a amortização tem um conceito similar, mas considerando apenas os bens intangíveis da empresa (despesas pré-operacionais, marcas, patentes etc). Tanto a depreciação como a amortização são consideradas como “*despesas não-caixa*”, ou seja, elas devem ser contabilizadas para que a empresa saiba o quanto terá que gastar com a revitalização e manutenção dos seus bens, porém essas despesas não saem efetivamente do caixa da companhia mas são descontadas no cálculo do lucro líquido. Um outro ponto importante é o resultado financeiro de uma empresa, que é contabilizado para o cálculo do lucro líquido, mas que não tem relação com a atividade operacional da empresa, já que, geralmente, ele representa a valorização dos investimentos e rendimentos gerados por esses, além de despesas com juros de dívidas. Assim, o EBITDA é um indicador que analisa apenas o aspecto operacional do desempenho da empresa, eliminando outras variáveis que possam dificultar uma análise exata da eficiência e produtividade da atividade. Ele também pode ser calculado como um percentual da receita, nesse caso, é conhecido como “*Margem EBITDA*”, cujo uso serve para comparar empresas de um mesmo setor ou ramo de atividade. Comparar apenas o valor do EBITDA seria incoerente já que empresas podem possuir valores de receita com ordem de grandeza muito diferentes, ou seja, está se analisando a proporção entre o EBITDA e a receita líquida da empresa e não apenas o valor absoluto do indicador.

O esquema abaixo demonstra o fluxo de deduções que devem ser feitas a partir do faturamento bruto da empresa para se obter o valor do EBITDA:

(+)	Receita de Vendas
(-)	Deduções e Impostos
(=)	Receita Líquida
(-)	Custo dos Produtos, Mercadorias e Serviços Vendidos
(=)	Lucro Bruto
(-)	Despesas Fixas
(+)	Outras Receitas Operacionais
(=)	EBITDA

Figura V-4- Obtenção do valor do EBITDA a partir da Receita Bruta da empresa
(Fonte: site *Treasy*)

Pelas razões supracitadas, utilizou-se o EBITDA como um indicador para avaliar o resultado financeiro da fábrica:

Utilizando como capacidade nominal o valor de 3,8 kt por anos, premissa essa adotada pela referência (Bain & Company, 2014), percebe-se que após os primeiros dois anos, nos quais a fábrica ainda está em construção, o valor do indicador chega a US\$ 20 milhões. O valor apresenta uma elevação entre o terceiro e quarto ano do projeto, pois o fator operacional foi modificado. Considerou-se um fator operacional de 50% no terceiro ano e 70% para os demais, visto que, essa premissa é coerente com o estudo de mercado feito no Estudo. Como o EBITDA é função da receita e, simplificada, ela permanece constante após o quarto ano, ele se manterá constante também.

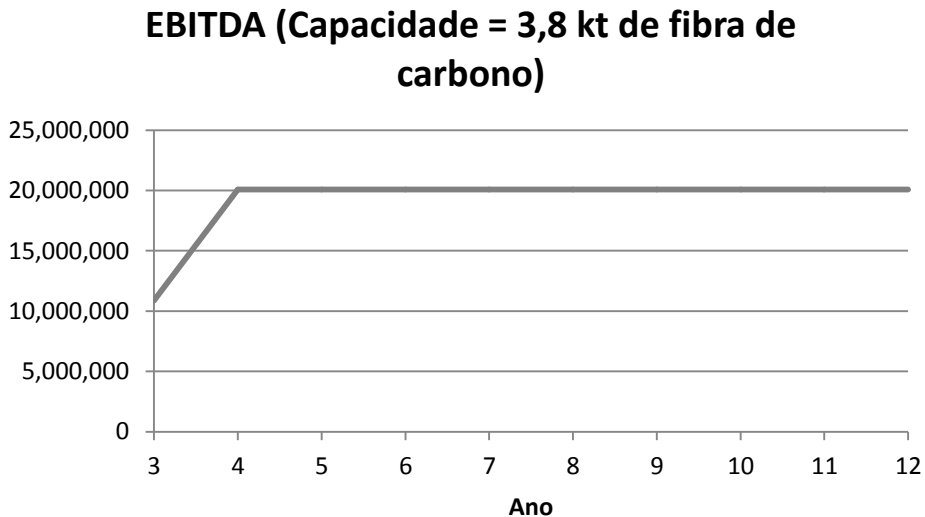


Figura V-5 - Evolução do ebitda projetado para uma capacidade de 3,8 kt de fibra de carbono. Valores em US\$ (Cálculo próprio)

Para os cálculos, utilizou-se uma distribuição do investimento inicial em CAPEX de 40% no primeiro ano e 60% no segundo, típicos da curva S de implantação de projetos segundo a literatura (RIESTRA, 1983). É comum o CAPEX ser dividido nos dois primeiros anos, sendo que no primeiro a parcela costuma ser menor. Assim, a partir do terceiro ano, a fábrica já começa a entrar em operação e se inicia o pagamento do investimento feito até se chegar ao “*payback*”, quando o projeto retorna o investimento inicial feito pelos proprietários.

Assumiu-se o CAPEX como diretamente proporcional à capacidade nominal, desprezando-se a economia de escala, utilizando como referência o valor do Estudo de US\$ 166 milhões para uma capacidade nominal de 3,8 kt.

Para a produção e, conseqüentemente, para o valor obtido com as vendas da fibra de carbono, utilizou-se um fator operacional de 50% no primeiro ano e 70% nos anos seguintes, a premissa é baseada no fato que a fábrica começa a operar com maior eficiência a partir do segundo ano, quando os equipamentos já estão instalados e ajustados da melhor maneira, a equipe de funcionários já passou pelos treinamentos necessários, falhas operacionais e instrumentais básicas já foram superadas, entre outros fatores. Abaixo, segue um gráfico da distribuição da produção anual de fibra de carbono, considerando os fatores operacionais acima explicados e as capacidades da fábrica para cada cenário (11,5 kt de fibra de carbono por ano para o cenário base, 21,8 kt de fibra de carbono por ano para o cenário otimista e 9,4 kt de fibra de carbono por ano para o cenário pessimista).

Produção (t de fibra de carbono)

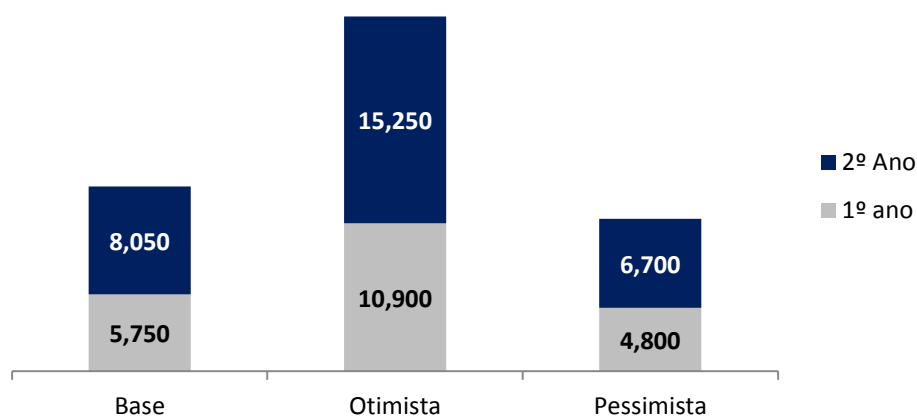


Figura V-6 - Distribuição anual da produção de fibra de carbono para cada cenário projetado

Os US\$ 20 milhões encontrados para o EBITDA podem ser considerados um valor confortável considerando a estrutura de custos da empresa, gerando uma TIR de 13,9% e um VPL de US\$ 34,342,327 reais.

No entanto, se considerarmos a capacidade nominal de produção calculada para 2030 (11,3 kt de fibra de carbono pelo cenário base) teremos um valor três vezes maior para o EBITDA a partir do quarto ano. De acordo com o nosso cenário otimista, o qual projeta uma capacidade nominal em 2030 de 21,8 kt de fibra de carbono, teremos um valor para o EBITDA 13 vezes maior a partir do quarto ano em comparação com o obtido para uma capacidade nominal de 3,8 kt de fibra de carbono. E observando o cenário pessimista projetado (capacidade nominal de 9,4 kt de fibra de carbono), obteremos um valor para o EBITDA 23% maior. Os gráficos abaixo ilustram o que foi exposto:

EBITDA - Cenário Base (Capacidade = 11,3 kt de fibra de carbono)

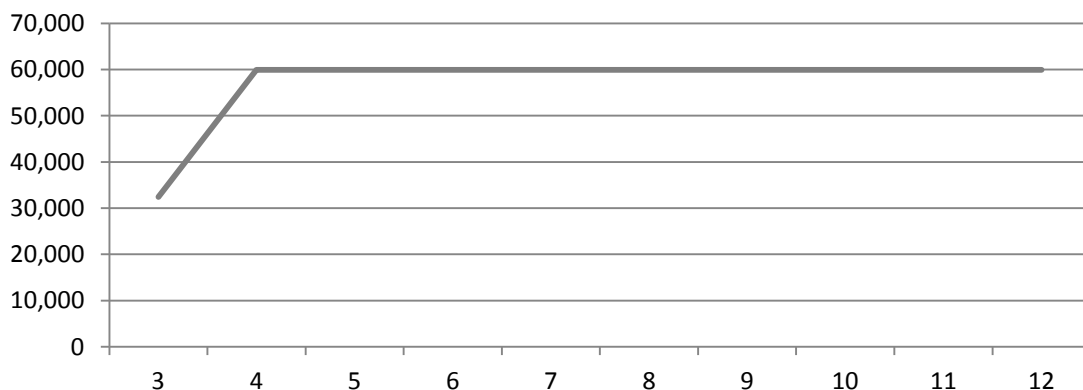


Figura V-7 - Evolução do ebitda projetado para uma capacidade de 11,3 kt de fibra de carbono (cenário base). Valores em US\$ (Cálculo próprio)

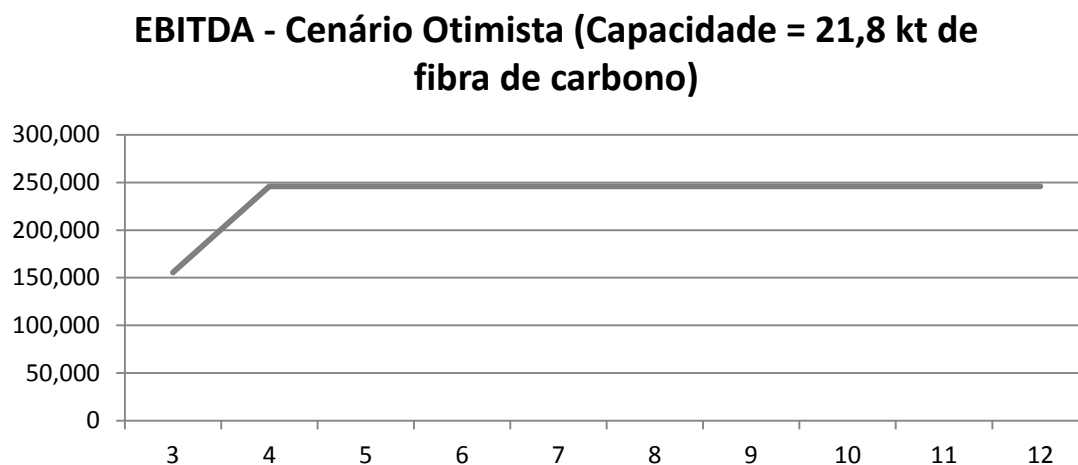


Figura V-8 - Evolução do ebitda projetado para uma capacidade de 21,8 kt de fibra de carbono (cenário otimista) Valores em US\$ (Cálculo próprio)

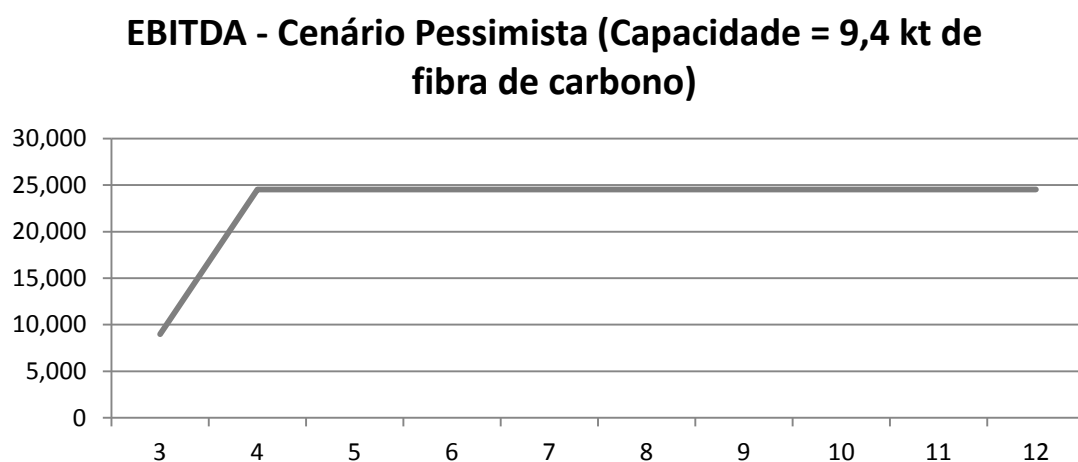


Figura V-9 - Evolução do ebitda projetado para uma capacidade de 9,4 kt de fibra de carbono (cenário pessimista) Valores em US\$ (Cálculo próprio)

Pode-se alterar diversas variáveis para avaliar a evolução do EBITDA e, assim, entender quais desempenham a maior influência sobre o indicador e, conseqüentemente, sobre a capacidade do projeto de gerar receita. A utilização da capacidade nominal é a variável de maior importância, visto que, influencia diretamente na receita e nos custos.

VI. Conclusão

Esse trabalho trata de um tema cuja relevância promete crescer ao longo dos próximos anos, pela expectativa de elevação da importância e do mercado de fibra de carbono, com a competição das empresas por tecnologias que possam gerar maior eficiência para suas respectivas produções, com fortalecimento de sua capacidade competitiva, e a crescente demanda por energias alternativas, um dos setores com maior penetração do uso da fibra de carbono. Percebeu-se que são escassos os estudos sobre o tema que estejam disponíveis gratuitamente, assim, desenvolveu-se um trabalho que visa revelar informações para o público de modo gratuito. Contudo, pode-se citar como boas alternativas de trabalhos pagos, o “CEH: Carbon Fibers” do Stanford Research Institute (custo: 5.750 dólares)⁸, o “Carbon Fiber Production from PAN – Cost Analysis” da Intratec (custo: 999 dólares)⁹ e o Tony Roberts¹⁰.

A fibra de carbono, apesar de seu uso estar cada vez mais disseminado em diversos setores da economia, ainda não é alvo ou foco de estudo sobre a sustentabilidade de sua produção no Brasil, nem do seu potencial mercado de aplicações. Assim, percebe-se a escassez de estudos e projetos de viabilidade econômica sobre o tema, o que dificultou a execução desse trabalho. Dadas as limitações de um trabalho de graduação universitária, que não conta com apoio financeiro para acessar estudos feitos por consultorias nacionais e internacionais (Apêndice I), e que só pode contar com informações publicamente disponíveis, acredita-se que o resultado esperado seja satisfatório. Em primeiro lugar pela elaboração de articulação de informações, típicas de um estudo de viabilidade técnica e econômica, não triviais para produtos cuja base científica e tecnológica ainda está em fase de evolução, o mesmo ocorrendo com suas aplicações no mercado, o que torna mais incerto o cálculo da análise financeira. Mesmo com essas limitações, esse trabalho aponta o potencial financeiro que a produção com uso da tecnologia disponível pode fornecer. O ganho material para a sociedade, que poderá adquirir e utilizar produtos mais avançados, com propriedades mais adequadas às suas diversas utilizações, e produzidos de modo mais eficiente para

⁸ Chemical Economics Handbook CEH, publicado anteriormente pelo Stanford Research Institute - SRI e atualmente pertencente à consultoria IHS Markit:

- Junho 2016: CEH: *Carbon Fibers*, preço da publicação US\$ 5,750.00;
- Junho 1992: Process Economics Program Report N^o, 165A, *Carbon Fibers*
- Setembro 1983: Process Economics Program Report N^o, 165, *Carbon Fibers*, por James J. L. Ma.

⁹ Intratec Reports:

- Carbon Fiber Production from PAN - Cost Analysis | Carbon Fiber E11A - Techno-economic analysis of a typical Carbon Fiber production process starting from polyacrylonitrile (PAN) fiber in the United States. Analysis Basis: United States - Q2 2016 | 47 pages | Delivered in PDF Format. USD 999;
- Carbon Fiber Production from Pitch - Cost Analysis | Carbon Fiber E21A - Feasibility study of a process for Carbon Fiber production from petroleum pitch in the USA. Analysis Basis: United States - Q2 2016 | 52 pages | Delivered in PDF Format. USD 699.

¹⁰ The Carbon Fibre Industry Worldwide 2011-2020: An Evaluation of Current Markets and Future Supply and Demand, by Tony Roberts; ISBN 1 871677 64 5; Published November 2011; US\$ 3,200.00.

obter redução de custos ao longo de sua cadeia produtiva indica o potencial e a necessidade de serem realizados estudos mais aprofundados.

A análise do mercado desenvolvida ao longo desse trabalho mostrou a tendência de crescimento dos setores da indústria que utilizam a fibra de carbono, o que indica a previsão de uma maior demanda do produto no futuro. Além disso, os indicadores financeiros mostram que as projeções são favoráveis para a produção, já que foi evidenciado um Ebitda sustentável, um fluxo de caixa favorável recorrente e capaz de suprir eventuais demandas de revitalização das fábricas e equipamentos e taxas de retorno atrativas, visto que mesmo em um cenário pessimista o retorno do investimento será levemente negativo.

Acrescenta-se que existem aspectos geopolíticos estratégicos que não foram desenvolvidos nesse trabalho porque o tornariam demasiadamente extenso e demandante de estudos aprofundados não compatíveis com uma monografia de conclusão de curso. Porém, é possível apontar o uso da fibra de carbono no setor aeronáutico, de mísseis e aeroespacial nos Estados Unidos como uma referência geopolítica estratégica, a qual deveria ser estudada com maior ênfase aqui no Brasil. Agrega-se também, as pesquisas a cargo da Marinha brasileira, que contribuíram para identificar o potencial do uso da fibra de carbono nas centrífugas utilizadas no aumento da concentração do urânio para sua utilização como combustível nuclear (QUEIROZ, 2008). Assim, a proposta de uso da fibra de carbono pode se inserir em contextos que vão além da produção para o uso industrial, o que reforça a relevância que deve ser dada ao tema.

Os resultados de avaliação econômico-financeira, mesmo com as limitações apontadas, podem ajudar no aprofundamento de novos estudos que forneçam elementos de maior confiança para ser iniciada a efetiva instalação de fábricas produtoras de fibras de carbono no Brasil. Programas de subsídio a indústria como o PADIQ (Apêndice I) podem auxiliar a construção de uma indústria genuinamente nacional de fibra de carbono. Esse é um processo, onde a ciência, a tecnologia, o mercado, o empreendedor, a sociedade e os novos empregos de qualidade a serem gerados podem usufruir de sinergias e assegurar o início da implantação e consolidação de um círculo virtuoso que tanto pode contribuir para o progresso do Brasil.

VII. Bibliografia

ALMACO (Associação Latino-americana de Materiais Compósitos). **Compósitos**. Disponível em: <<http://www.almaco.org.br/compositos.cfm>>. Acessado em: 5 de Março de 2017.

UNIDO, Behrens. **Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies**. Vienna: United Nations, 1991.

BRASIL, Bain & Company. **Estudo do Potencial de diversificação da Indústria Química Brasileira (Relatório 4 – Fibras de Carbono, Relatório 6 – Modelo Econômico-financeiro: fibras de carbono e Relatório Final)**, São Paulo.

WORDPRESS (GearHeadBanger). **Fibra de Carbono: a 8º Maravilha do Automobilismo**. Disponível em:

<<https://gearheadbanger.wordpress.com/2011/09/08/fibra-de-carbono-a-8%C2%AA-maravilha-do-automobilismo/>>. Acessado em: 13 de Abril de 2017.

HOW PRODUCTS ARE MADE. **Carbon Fiber**. Disponível em: <<http://www.madehow.com/Volume-4/Carbon-Fiber.html>>. Acessado em: 19 de Junho de 2017.

SOUTO, Felipe; CALADO, Veronica; PEREIRA JUNIOR, Nei. **Obtenção de Fibra de Carbono a partir de Lignina do Bagaço de Cana-de-Açúcar**. 112f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

JUNIOR, Carlos; FLEMING, Robson; PARDINI, Luiz; ALVES, Nilton. **Poliacrilonitrila: processos de fiação empregados na indústria**. Revista Polímeros Ciência e Tecnologia, São Paulo, vol.23 no.6, p.764-770, ago. 2013.

WIKIPEDIA. **Raiom**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Raiom>>. Acessado em: 15 de Abril de 2017.

WIKIPEDIA. **Lignina**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Lignina>>. Acessado em: 15 de Abril de 2017.

PORTAL EFESF. **CTEx finaliza instalação para produção semi-industrial de fibras de carbono**. Disponível em: <<http://portaldefesa.com/3217-ctex-finaliza-instalacao-para-producao-semi-industrial-de-fibras-de-carbono/>>. Acessado em: 15 de Abril de 2017.

WIKIPEDIA. **Alcatrão de Hulha**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Alcatr%C3%A3o_de_hulha>. Acessado em: 15 de Abril de 2017.

VARANASI, Patanjali; SINGH, Priyanka; AUER, Manfred; ADAMS, Paul D, SIMMONS, Blake A; SINGH, Seema. **Survey of renewable chemicals produced from lignocellulosic biomass during ionic liquid pretreatment**. *Biotechnol Biofuels*, p. 6-14, jan. 2013.

NALI, Eduardo Christensen; RIBEIRO, Leonardo Brandão Nader Magliano. **Biorrefinaria Integrada à Indústria de Celulose no Brasil: oportunidade ou necessidade ?** *BNDES Setorial 43*: Papel e Celulose, São Paulo, p.257-294, mar.2016.

WIKIPEDIA. **Tensão (mecânica)**. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Tens%C3%A3o_\(mec%C3%A2nica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tens%C3%A3o_(mec%C3%A2nica))>. Acessado em: 15 de Abril de 2017.

QUEIROZ, Paulo César Beltrão de. **Pesquisa Cooperativa: O Projeto de Desenvolvimento de Fibras de Carbono para aplicação em**

Ultracentrífugas. Dissertação – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

WIKIPEDIA. **Transição Vítrea.** Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Transi%C3%A7%C3%A3o_v%C3%ADtrea>. Acessado em: 15 de Abril de 2017.

TODA MATÉRIA. **Grafite.** Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/grafite/>>. Acessado em: 15 de Abril de 2017.

TECMUNDO. **Fibra de carbono: como é feito e como funciona este material incrível.** Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/quimica/76017-fibra-carbono-feito-funciona-material-incrivel.htm>>. Acessado em: 20 de Dezembro de 2016.

PORTAL BRASIL. **Brasil é o maior gerador de energia eólica da América Latina.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2017/03/brasil-e-o-maior-gerador-de-energia-eolica-da-america-latina>>. Acessado em: 3 de Dezembro de 2016.

UNESP. **Aplicação de Fibra de Carbono na Indústria Aeronáutica.** Disponível em: <<http://engenhariafeg.com.br/2011/seminarios/a2/a2.pdf>>. Acessado em: 5 de Novembro de 2016.

ABCARB. **Os riscos da falta de tecnologia de carbono.** Disponível em: <http://www.abcarb.org.br/br_nentrevista1.html>. Acessado em: 10 de Dezembro de 2016.

CLEMENTE, A.. **Projetos Empresariais e Públicos.** São Paulo: Atlas, 1998.

TECHNEAÇO. **Estrutura e Composição do NCM – Nomenclatura Comum do Mercosul.** Disponível em: <<http://www.techneaco.com.br/links/Estrutura%20e%20Composi%C3%A7%C3%A3o%20do%20NCM%20E2%80%93%20Nomenclatura%20Comum%20do%20Mercosul.pdf>>. Acessado em: 13 de Novembro de 2016.

TEXIGLASS. **Pre-preg Termoplástico.** Disponível em: <http://www.tecnologiademateriais.com.br/mt/2016/cobertura_paineis/webinar-pr/apresentacoes/texiglass.pdf>. Acessado em: 7 de Maio de 2017.

PORTER, M. **Estratégia Competitiva.** 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

LUZ. **Como Calcular a Taxa de Desconto (WACC).** Disponível em: <<https://blog.luz.vc/o-que-e/como-calcular-a-taxa-de-desconto-wacc/>>. Acessado em: 16 de Janeiro de 2017.

WR PRATES. **O que é TIR (Taxa Interna de Retorno).** Disponível em: <<http://www.wrprates.com/o-que-e-tir-taxa-interna-de-retorno/>>. Acessado em: 21 de Dezembro de 2016.

TREASY. **O que é EBITDA ou LAJIDA.** Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/o-que-e-ebitda-ou-lajida>>. Acessado em: 21 de Dezembro de 2016.

RIESTRA, Javier. **Project Evaluation in the Chemical Process Industries**. McGraw-Hill. 1983.

Apêndice I

O Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Diversificação e Inovação da Indústria Química – (PADIQ) é uma iniciativa conjunta do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES - e da Financiadora de Estudos e Projetos – Finep – que visa o fomento a projetos que contemplem o desenvolvimento tecnológico e o investimento na fabricação de produtos químicos, por meio da organização da entrada de pedidos de apoio financeiro às duas instituições e de uma melhor integração dos instrumentos de apoio financeiro disponíveis para os Planos de Negócios selecionados.

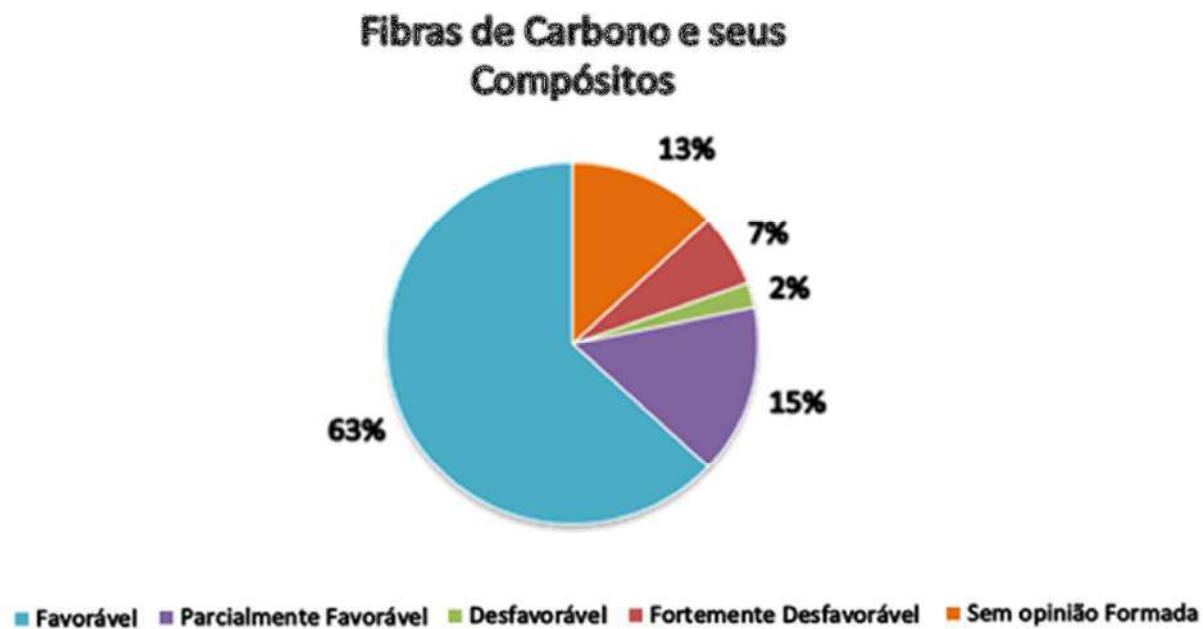
As linhas temáticas foram escolhidas de acordo com as oportunidades identificadas no Estudo do Potencial de Diversificação da Indústria Química Brasileira (UNIDO, 1991). Este Estudo, que contou com ampla contribuição dos participantes da indústria química. Com base neste Estudo, as equipes do BNDES e da FINEP buscaram definir as cadeias químicas que melhores contribuições poderiam trazer ao país em termos de: desenvolvimento de tecnologias de produção e investimento em plantas de produção capazes de adensar cadeias produtivas relevantes para o país.

Como resultado, foram definidos os seguintes segmentos a serem contemplados na primeira fase do edital do PADIQ:

- Aditivos para alimentação animal;
- Produtos Derivados do silício;
- Fibras de carbono e seus compósitos;
- Produtos para Exploração e Produção de Petróleo;
- Insumos químicos para higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (HPPC);
- Produtos químicos de fontes renováveis de matérias-primas.

De forma geral, nenhum dos temas foi objeto de avaliação desfavorável em número superior às avaliações favoráveis. O tema mais bem avaliado foi “Produtos químicos de fontes renováveis de matérias-primas” com 93% de avaliações positivas e o menos bem avaliado foi “Aditivos para alimentação animal – Metionina” com 64% no mesmo quesito. A pesquisa também mostra que a fibra de carbono teve uma

avaliação 78% positiva, comprovando a relevância do tema.



Anexo I

CD (“compact disk”) – Memória de Cálculo com os valores de custo, investimento e indicadores de avaliação econômico-financeira.