

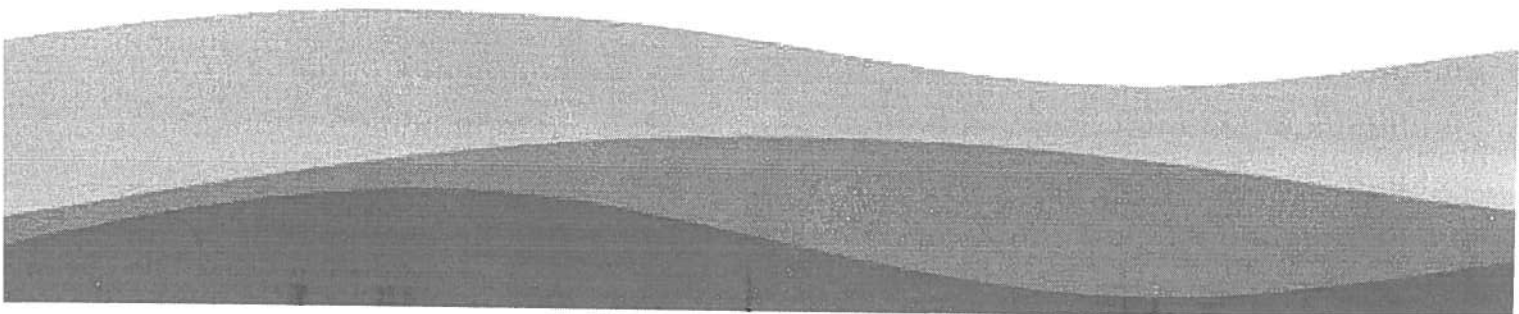


Desenvolvimento de revestimento polimérico nanoestruturado de alto desempenho

UFMG / CTNano – Centro de Tecnologia em Nanomateriais

FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS

Departamento do Instituto Tecnológico Vale - DITV
Belo Horizonte, 05 de outubro de 2017
Versão 2.0



Sumário

1.	Identificação	4
1.1	Dados do Proponente	4
1.2	Proponente ITV (quando aplicável).....	4
1.3	Área da Vale (quando aplicável)	4
2.	Dados do Projeto (não abrevie)	5
3.	Equipe do Projeto	5
4.	Palavras Chave do Projeto (3 palavras)	6
5.	Resumo do Projeto de Pesquisa (máximo de 1 página)	6
6.	Justificativa	7
7.	Descrição do Estado da Arte	8
7.1	Grau de maturidade da tecnologia a ser desenvolvida (quando aplicável).....	10
8.	Objetivos	10
8.1	Gerais.....	10
8.2	Específicos	10
9.	Metodologia de Pesquisa.....	11
10.	Resultados Esperados	13
11.	Grau de inovação do projeto (quando aplicável).....	13
11.1	Justificativa do grau de inovação (quando aplicável)	13
12.	Possibilidade de patenteamento (quando aplicável).....	14
13.	Acesso à Vale.....	14
14.	Riscos (projeto, tecnológico, marcos regulatórios etc.).....	14
15.	Relevância estratégica para Vale	14

15.1	Crescimento de Mercado – Foco em vendas (quando aplicável)	14
15.2	Redução de Custos – Foco em melhoria de processo (quando aplicável)	15
15.3	Implicações ambientais (quando aplicável).....	15
15.4	Implicações em saúde e segurança (quando aplicável).....	16
16.	Cronograma de Atividades e Marcos	16
17.	Produtos e Entregas	17
18.	Referências Bibliográficas da Pesquisa	17
19.	Orçamento Sumarizado – Consolidado do Projeto	19
20.	Orçamento Detalhado e Cronograma de Desembolso	19
21.	Informações Adicionais	19
22.	Anexos.....	20
23.	Assinaturas.....	20

1. Identificação

1.1 Dados do Proponente

Instituição:	Universidade Federal de Minas Gerais
Nome do Pesquisador:	Glaura Goulart Silva, CPF: 497.942.646-87
Nacionalidade:	Brasileira
Titulação:	() Graduado () Especialista () Mestre (X) Doutor () Pós-Doutorado
Telefone:	(31) 34097387
Celular:	
E-mail:	glaura.goulart@gmail.com
Departamento/ Unidade:	Departamento de Química
Área de Formação/ Especialização:	Química de Materiais
Endereço:	Rua Professor José Vieira de Mendonça, nº 1000
Cidade:	Belo Horizonte
Estado:	Minas Gerais
CEP:	31310-260
País:	Brasil

Caso o proponente não seja o coordenador do projeto, informar seus dados:

1.2 Proponente ITV (quando aplicável)

Nome do Proponente:	
ITV:	
Cargo:	
Endereço:	
Telefone/ Fax:	
E-mail:	

1.3 Área da Vale (quando aplicável)

Área da Vale envolvida:	Diretoria de Operações Ferrosos Sudeste
Contato:	José Carlos Silva Valeriano
Telefone:	(31) 3916 6252
E-mail:	jose.valeriano@vale.com

2. Dados do Projeto (não abrevie)

Título do Projeto:	Desenvolvimento de revestimento polimérico nanoestruturado de alto desempenho para aplicação em transferências de minério		
Duração (em meses):	24 meses		
Projeto em Rede:	<input checked="" type="checkbox"/> Individual <input type="checkbox"/> Rede*		
Tema:	<input type="checkbox"/> Saúde e Segurança <input checked="" type="checkbox"/> Umidade e Poeira <input type="checkbox"/> Barragens e Gestão de Rejeitos <input type="checkbox"/> Cavidade e Canga <input type="checkbox"/> Comunidade <input type="checkbox"/> Automação <input checked="" type="checkbox"/> Transportador de Correia <input type="checkbox"/> Meio Ambiente <input type="checkbox"/> Licença para Operar <input checked="" type="checkbox"/> Produtividade <input type="checkbox"/> Macroprograma do ITV: _____ <input type="checkbox"/> Outro tema: _____		
Programa/ Linha de Pesquisa**:			
Tipo de Pesquisa:	<input type="checkbox"/> Pesquisa Básica <input checked="" type="checkbox"/> Pesquisa Aplicada <input type="checkbox"/> Desenvolvimento <input type="checkbox"/> Transferência de Tecnologia		
Aplicável a Lei do Bem:	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Versão	Data	Autor	Alteração

*Projeto relacionado com um ou mais projetos.

**No âmbito das linhas de pesquisa apresentadas pela Vale.

3. Equipe do Projeto

Instituição	Nome	Titulação	Tipo de bolsa	E-mail	Participação no Projeto e Função	Link no Currículo Lattes
CTNano	Glaura Goulart Silva	Doutora	Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - DT (CNPQ) - NÍVEL 1A	glaura.goulart@gmail.com	Coordenadora	http://lattes.cnpq.br/0916630825277350

CTNano	Marcos Felisberto	Doutor	Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - DT (CNPQ) - NÍVEL 2	felisberto@ctnanotubos.com.br	Pesquisador	http://lattes.cnpq.br/8003869017375005
CTNano	Membro de equipe não definido	Doutor	Pos Doutorado Senior PDS (CNPq)	N/A	Bolsista	N/A
CTNano	Membro de equipe não definido	Graduação	Mestrado I (FAPESP)	N/A	Bolsista	N/A
CTNano	Membro de equipe não definido	Graduação em andamento	Iniciação Científica (IC) - (FAPESP)	N/A	Bolsista	N/A
CTNano	Membro de equipe não definido	Graduação em andamento	Iniciação Científica (IC) - (FAPESP)	N/A	Bolsista	N/A

4. Palavras Chave do Projeto (3 palavras)

Revestimentos; Plásticos de Engenharia; Nanomateriais de Carbono; Hidrofobicidade.

5. Resumo do Projeto de Pesquisa (máximo de 1 página)

Um dos desafios nos processos de beneficiamento de minérios é impedir que o mesmo se acumule nos pontos de transferência entre os diversos equipamentos pelo qual circula durante seu escoamento, gerando entupimentos que paralisam a cadeia produtiva. Estas paradas têm duração variada, podendo chegar a várias horas até que os entupimentos sejam resolvidos e o processo seja retomado.

O problema de pesquisa afeta o Índice de Utilização das instalações de tratamento de minério de ferro. Nos apontamentos efetuados nos sistemas que controlam as paradas de equipamentos e instalações, o problema é uma das diversas causas do evento "entupimento". Para exemplificar a sua relevância, foi feito um levantamento em instalações de tratamento de minério do Complexo Vargem Grande (CMT B1, CMT B2, CMT SBM, TAM SBM1, TAM SBM2, TAM SBM3, VGR1 e VGR2), no período de jan/2015 a dez/2015. Constatou-se que o total de paradas dessas instalações, causadas por entupimentos foi 781 horas, com a consequente perda 874.291 toneladas de produto final, gerando uma perda de faturamento de US\$ 8.532.720,00 (considerando o preço de venda do minério de US\$ 50,50, em 25/05/2016). Esta análise de perdas pode ser extrapolada para todas as instalações de tratamento de minério da Vale. Nos sistemas de paradas não foi possível isolar o efeito do problema de pesquisa. Mas ao tratá-lo, a presente pesquisa contribuirá para reduzir as perdas no Complexo Vargem Grande citadas anteriormente e também na Vale.

O minério, quando depositado em silos, ou transferido por meio de "shuts" montados entre equipamentos (pontos de transferência), assume ângulos de acomodação variados, principalmente em função de sua granulometria e umidade. Nos piores casos, sua acomodação gera grande perda de área útil de silos e "shuts". Diante disso, é comum usar-se peças de revestimento nas superfícies por onde o minério vai escoar. Estes revestimentos, que podem ser de natureza metálica ou polimérica, além de garantir o escoamento do minério também auxiliam na proteção da estrutura de silos e "shuts" contra abrasão e impacto;

No caso dos revestimentos de natureza polimérica, é recorrente a utilização de uma classe de polímeros especiais, conhecida como plásticos de engenharia. Já vastamente utilizados em diversos segmentos industriais, esses plásticos são comumente desenvolvidos com características destinadas a atender demandas específicas da indústria, em aplicações que muitas vezes exigem solicitações extremas de esforço mecânico, pressão, temperatura, entre outros. Dentre estes materiais pode-se destacar o UHMWPE (Polietileno de ultra alta massa molecular) e os elastômeros de poliuretano, que são frequentemente utilizados no setor da mineração. A utilização de materiais em escala nanométrica como nanotubos de carbono, grafeno e outras nanopartículas como aditivos a estes plásticos de engenharia tem apresentado um potencial tecnológico elevado devido às propriedades singulares que estes nanomateriais conseguem transferir para os polímeros nos quais eles estão inseridos. Estes nanomateriais apresentam excelentes propriedades mecânicas, como resistência a ruptura e módulo de elasticidade, condutividade térmica e elétrica elevadas, além de serem materiais leves e bastante hidrofóbicos, podendo ser utilizados em revestimento de superfícies autolimpantes. Assim, este projeto de pesquisa se propõe a desenvolver um plástico de engenharia nanoestruturado para aplicação em revestimentos hidrofóbicos com boa resistência a impacto e abrasão, com características de lubrificante sólido que evite a aglomeração de minério nos "shuts" de transferência de minério, a fim de solucionar os problemas de entupimento dos silos de armazenamento e dos "shuts".

O projeto será desenvolvido em parceria com o Centro de Tecnologia em Nanomateriais (CTNano) - UFMG, que apresenta grande experiência na produção de nanomateriais de carbono, bem como no processamento de polímeros. O CTNano conta com uma infraestrutura própria, que contempla laboratórios de síntese de nanomateriais, química, polímeros e caracterização, além de diversos equipamentos de manipulação, processamento e caracterização.

A equipe Vale responsável pelo projeto é composta por: (1) Daniel Miranda, Engenheiro Eletricista, 16 anos de experiência, todos na Vale. 5 anos em manutenção eletroeletrônica, 3 anos como técnico de automação, 6 anos como engenheiro de manutenção e 2 anos como engenheiro de projeto. (2) Gilmar Paula, Engenheiro Mecânico, 33 anos de experiência profissional na área de mineração, sendo os quatro últimos na Vale, como Engenheiro de Projetos de Capital e Engenheiro Industrial. (3) José Valeriano, 31 anos de experiência, todos na Vale, como Técnico em Mineração, Supervisor de Operação, Supervisor de Manutenção Mecânica, Supervisor de Controle de Processo, Analista de Meio Ambiente e Analista Operacional. A formação e experiência prática da equipe Vale do projeto são fatores facilitadores para o andamento dos trabalhos.

A parceria entre a equipe Vale, com sua vivência na área operacional e de projetos, e o Centro de Tecnologia em Nanomateriais (CTNano) - UFMG, capacitado na produção de nanomateriais de carbono e no processamento de polímeros, está alinhada aos objetivos do Instituto Tecnológico Vale (ITV): apontar tendências, antecipando oportunidades ou problemas nos âmbitos da ciência e da tecnologia que podem afetar os negócios da Vale.

O projeto apresenta um potencial de inovação elevado, já que as tecnologias desenvolvidas poderão ocupar o mercado nacional e internacional da mineração de maneira pioneira, gerando patentes e royalties para as partes envolvidas.

6. Justificativa

O acúmulo de minério nos pontos de transferência existentes na rota de escoamento, gerando entupimentos que param toda a produção da planta, é um problema recorrente nos processos de beneficiamento de minérios. Este problema gera paradas que têm duração variada, podendo chegar a várias horas até que os entupimentos sejam resolvidos e o processo seja retomado. Conforme citado no Resumo da Projeto de Pesquisa, nos apontamentos efetuados nos sistemas de paradas, o problema é uma das diversas causas do evento "entupimento". No levantamento em instalações de tratamento de minério do Complexo Vargem Grande no período de jan/2015 a dez/2015, constatou-se que o total de paradas das instalações causadas por entupimentos foi 781 horas, com a consequente perda 874.291 toneladas de produto final. Para minimizar esses entupimentos, o projeto dos equipamentos leva em consideração o comportamento do minério em várias condições, características como impacto e abrasão, além de ser comum a utilização de peças de revestimento, por exemplo em silos, por onde o minério vai passar, com o objetivo de reduzir e/ou controlar o desgaste nos pontos de impacto e permitir a fluidez do minério. Porém, os revestimentos utilizados hoje nem sempre conseguem atender às muitas variações do material e, conseqüentemente, não permitem que os problemas gerados pelo acúmulo de minério sejam sanados por completo. Variações de granulometria e umidade são alguns dos parâmetros complicadores. Diante disso, há a necessidade de se buscar soluções alternativas que possam melhorar as condições de operação de nossas instalações, com foco no desenvolvimento de novos materiais de revestimento com as características de interesse e fornecedores capazes de implementar as soluções encontradas.

7. Descrição do Estado da Arte

Esta proposta tem como objetivo o uso de nanomateriais de carbono em compósitos poliméricos para melhoria de desempenho de revestimentos para o setor de mineração.

O emprego de cargas nanométricas (como nanotubos de carbono e grafeno) para o reforço de polímeros (plásticos e borrachas), pela preparação de nanocompósitos, é uma estratégia que vem sendo cada vez mais utilizada na pesquisa mundial [1, 2]. Segundo pesquisa realizada pela Bain&Company em 2012, intitulada "Oito Grandes Tendências de Crescimento até 2020" [3], a nanotecnologia está localizada entre as cinco potenciais plataformas tecnológicas que mais prometem florescer nos próximos dez anos. Desse modo, pesquisas indicam que os produtos gerados pelo avanço da nanotecnologia deverão causar um elevado grau de inovação frente àqueles atualmente em uso. Dentre as diferentes abordagens, o emprego de nanotubos de carbono e grafeno como aditivo em polímeros é uma estratégia que pode contribuir para atender às demandas de múltiplos segmentos industriais. A viabilidade da aplicação comercial de compósitos poliméricos com nanomateriais e carbono é aumentada principalmente quando verificado que pequenas quantidades de nanomateriais de carbono (normalmente em torno de 0,5% em massa) precisam ser empregadas para melhoria de propriedades que seriam atingidas com altas quantidades de cargas convencionais (usualmente em torno de 10-30% em massa).

A nanotecnologia no contexto da engenharia de materiais tem como foco aumentar propriedades mecânicas, elétricas e térmicas de diversas peças industriais, bem como propiciar a construção de peças menos volumosas e mais leves, para solucionar problemas urgentes relacionados a materiais que não atendem de forma satisfatória suas condições de operação. Para este projeto selecionou-se o grafeno e seus derivados como nanocarga a ser aplicada. O grafeno é o material mais fino e resistente que se conhece [4], com potenciais aplicações nas áreas de eletrônica, compósitos, dispositivos de estocagem de energia, sensores e membranas, dentre outras [2,5]. Esse material envolve um conjunto de propriedades excepcionais, como mobilidade de cargas de $\sim 2 \times 10^5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ [6], condutividade térmica superior a 3000 W mK^{-1} [7], módulo de Young de $\sim 1 \text{ TPa}$ e resistência à tração de $\sim 130 \text{ GPa}$ [8]. O grafeno é composto por uma monocamada de carbono, bidimensional, em que os átomos se organizam em arranjos hexagonais com hibridizações sp^2 [9]. Assim, sua estrutura pode ser entendida como uma única folha de grafite separada de sua estrutura tridimensional. Apesar do grafeno ser definido pela IUPAC como uma camada grafitica individual [10], diversos trabalhos, bem aceitos pela comunidade científica, englobam poucas camadas de carbono nessa terminologia [11].

Estudos teóricos relacionados com grafeno são realizados desde 1947 [12]. Em 1962, Boehm e colaboradores separaram finas lâminas de carbono por aquecimento e redução de óxido de grafite [13]. Apesar desses trabalhos, acreditava-se que uma única camada de grafeno seria termodinamicamente instável em condições ambientes, e a obtenção de grafeno estável foi comprovada apenas em 2004 pelos estudos de Geim e Novoselov [14], o que lhes rendeu um prêmio Nobel de Física em 2010. Desde então, diversas rotas físicas e químicas foram desenvolvidas para a produção de grafeno, principalmente por micro-clivagem mecânica, deposição química em fase vapor (CVD), crescimento epitaxial e esfoliação do grafite em fase líquida [15].

A micro-clivagem mecânica, também conhecida por método *scotch tape*, é baseada na esfoliação do grafite através de uma fita adesiva. Esse método possibilita a obtenção de grafeno de alta qualidade, com dimensões laterais de dezenas a centenas de micrômetros, mas é adequado apenas para escala laboratorial [16]. O método de CVD envolve a deposição de grafeno sobre a superfície de um metal catalisador (principalmente cobre ou níquel) a partir da pirólise de um gás que contenha átomos de carbono. O crescimento epitaxial em substrato de SiC ocorre através do aquecimento do carboneto, com a sublimação dos átomos de silício e a grafitização do carbono [17].

A esfoliação do grafite em fase líquida tem se tornado extremamente importante pela sua versatilidade, potencial para aumento de escala, baixo custo do grafite e alta disponibilidade deste material [18]. Este é o método mais adequado para aplicações em compósitos poliméricos [19]. A produção de grafeno em fase líquida pode ocorrer através de diferentes métodos. O grafeno pode ser obtido diretamente do grafite, especialmente por ultrassom, em diversos solventes orgânicos ou em água com presença de surfactantes [20]. Outra rota envolve a esfoliação de grafite previamente oxidado, conhecido por óxido de grafite (GrO), processo bastante estudado e com potencial para produção em larga escala [21].

O primeiro trabalho de síntese de GrO foi relatado por Brodie em 1859, um processo que consistia na adição de KClO_3 a uma dispersão de grafite em HNO_3 fumegante e duração de 4 dias [22]. Em 1898, Staudenmaier melhorou esse método através de uma mistura de H_2SO_4 e HNO_3 , além da adição de KClO_3 em múltiplas alíquotas ao longo da reação, mas com duração mantida em 4 dias [23]. O processo mais utilizado de síntese de GrO foi reportado por Hummers em 1958, com a utilização de H_2SO_4 , KMnO_4 e NaNO_3 [24]. O método de

Hummers apresenta vantagens de um menor tempo de duração, substituição de KClO_3 (que gera o gás explosivo ClO_2) por KMnO_4 e eliminação de HNO_3 fumegante.

A estrutura do GrO é complexa, constituída por múltiplos grupos oxigenados e dependente do processo de síntese. Em geral, as referências descrevem grupos hidroxilas e epóxi localizados principalmente no plano basal e grupos carboxílicos e carbonilas principalmente nas bordas das folhas de carbono [25]. Após a obtenção do GrO, o material pode ser esfoliado para a produção de óxido de grafeno (GO) especialmente via ultrassom. A esfoliação pode ocorrer em água ou em diferentes solventes orgânicos, desde concentrações reduzidas como $0,01 \text{ mg mL}^{-1}$ até valores mais elevados como 3 mg mL^{-1} [26]. Os grupos oxigenados de GO podem ser removidos por redução química, térmica ou eletroquímica, com a obtenção do material conhecido como óxido de grafeno reduzido (rGO). Como resultado, o rGO apresenta sua estrutura eletrônica restaurada e propriedades comparáveis ao grafeno puro [27]. As propriedades mecânicas do GO, por exemplo, apresentam valores elevados (embora inferiores ao grafeno), como módulo de Young de $\sim 200 \text{ GPa}$ [28] e resistência à tração de $\sim 25 \text{ GPa}$ [29]. A aplicação de GO, geralmente com diferentes modificações químicas posteriores, é bastante estudada na obtenção de compósitos poliméricos com melhorias em propriedades térmicas e mecânicas, por exemplo [30, 31]. Assim, o GO apresenta um elevado potencial tecnológico e o grupo proponente tem bastante experiência em tecnologias baseadas em micro-ondas para o aumento de eficiência de processos para sua obtenção. A grande absorção de radiação micro-ondas pelos materiais pode levar a tempos mais curtos de reação, menor gasto de solventes e produtos mais puros [32]. Uma rota de oxidação de grafite via micro-ondas foi desenvolvida pela equipe, com controle de potência, temperatura, tempo e meio oxidante para viabilizar esta reação com alta eficiência e qualidade do produto final, que é esfoliado por ultrassom.

Transferir as surpreendentes propriedades dos nanomateriais de carbono para um sistema compósito é um grande desafio que depende principalmente do grau de dispersão dos nanomateriais e das interações interfaciais com a matriz polimérica [33-35]. Portanto, a chave para a elaboração de compósitos eficientes está no controle químico do processamento. A manipulação da formulação, considerando tratamentos nos nanomateriais de carbono e modificações na mistura reacional polimérica, deve ser investigada em profundidade.

Compósitos produzidos a base de grafeno, óxido de grafeno e outras nanocargas aditivadas em plásticos de engenharia têm sido reportados com frequência na literatura [36-41], dentre estes plásticos de engenharia estão os elastômeros de poliuretano e polietileno de ultra alta massa molecular que são duas possibilidades para utilização como revestimento no projeto. Os elastômeros de poliuretano são materiais termorrígidos amplamente utilizados como revestimento, adesivos e componentes estruturais. Seu vasto campo de aplicações está relacionado às suas excelentes propriedades mecânicas, térmicas e elétricas. Quando estes materiais são destinados para aplicações especiais, que solicitam alto desempenho e durabilidade, é comum a revisão de parâmetros de formulação e adição de cargas para atingir as propriedades otimizadas. Nesse sentido, os nanotubos de carbono e o grafeno quimicamente modificados, quando incorporados em baixas concentrações em matrizes poliméricas, têm apresentado significativos ganhos em propriedades físico-químicas. Como exemplo, compósitos produzidos com até 3% de GO em poliuretano a base de MDI demonstraram aumentos de até 40% em resistência a tração e 280% em módulo de elasticidade em relação ao poliuretano puro [39]. Wang e colaboradores também relataram aumentos em resistência a tração de 235%, em compósitos usando óxido de grafeno, evidenciando o potencial de melhoria em resistência mecânica que estas nanocargas podem transferir aos polímeros [40].

A hidrofobicidade que também é uma propriedade de interesse neste projeto, foi estudada em compósitos de grafeno/poliuretanos onde as nanocargas foram funcionalizadas com grupos isocianatos e aminas e então dispersas em uma emulsão de poliuretano em água formando compósitos com até 2,5% de grafeno. Observou-se uma intensificação da hidrofobicidade em compósitos contendo 2% em massa através de ensaios de ângulo de contato [41].

Compósitos de óxido de grafeno e polietileno de ultra alta massa molecular (UHMWPE) também apresentam grande interesse científico e tecnológico devido ao desempenho dos nanomateriais de carbono em propriedades mecânicas e tribológicas. Trabalhos de vários pesquisadores mostraram melhorias em microdureza, módulo de elasticidade, resistência ao impacto, ao desgaste e diminuição do coeficiente de fricção, o que torna a superfície do novo material mais adequada para uso como revestimento [42-45]. Para ilustrar tais melhorias, Xua e colaboradores produziram compósitos com 1% de nanomaterial, por moldagem a quente e demonstraram aumentos de 25% em microdureza e diminuição no coeficiente de fricção [42]. Melhorias em microdureza, módulo de elasticidade e resistência ao impacto também foram observados por Pang e colaboradores, com ganhos de 19%, 7% e 426% respectivamente [43].

Esta breve revisão demonstra a viabilidade tecnológica da produção e aplicação dos nanomateriais de carbono na melhoria do desempenho mecânico e tribológico de materiais poliméricos. Além disso, a aplicação de

nanotecnologia a matrizes poliméricas pode permitir o desenvolvimento de novos materiais com propriedades mecânicas e tribológicas sob medida para o setor de mineração.

7.1 Grau de maturidade da tecnologia a ser desenvolvida (quando aplicável)

- Tecnologia emergente:** o projeto visa o desenvolvimento de novas tecnologias que nunca foram aplicadas industrialmente (nova plataforma tecnológica ou inovação radical).
- Primeira aplicação na indústria, mas nenhuma solução dominante:** o projeto visa o desenvolvimento de tecnologias que já tenham sido aplicadas industrialmente de forma experimental por competidores da Vale, mas que ainda não chegaram ao nível de solução dominante na indústria mineral.
- Solução dominante, aberta a melhorias:** o projeto visa o desenvolvimento de melhorias incrementais em tecnologias que já atingiram o estágio de solução dominante na indústria mineral.
- Tecnologia altamente explorada e difundida:** o projeto visa apoiar o processo de aplicação de tecnologias que são novas apenas para a Vale e que apresentam baixo potencial para melhorias incrementais.
- Não se aplica**

8. Objetivos

8.1 Gerais

Este trabalho objetiva o desenvolvimento de um revestimento polimérico que possua características superiores aos materiais utilizados atualmente, melhorando o desempenho das transferências de minério. Dentre as características de interesse, o material a ser desenvolvido deve apresentar elevada hidrofobicidade, ter alta resistência à impacto e abrasão, baixa rugosidade, peso reduzido e permitir moldes que favoreçam sua fixação aos equipamentos existentes.

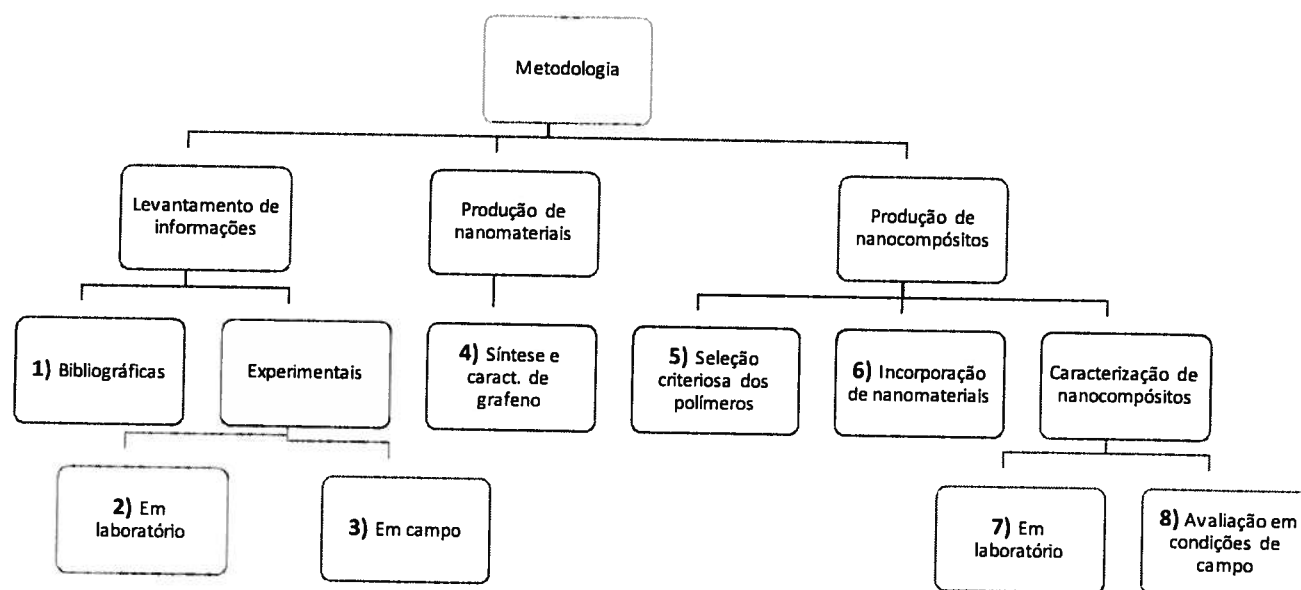
8.2 Específicos

A seguir estão listados os objetivos específicos do projeto:

- 1) Realizar estudos conceituais e ampla revisão bibliográfica sobre o tema proposto para fundamentar as estratégias de desenvolvimento do revestimento polimérico nanoestruturado.
- 2) Caracterizar em laboratório revestimentos já utilizados pela empresa ou aqueles disponíveis no mercado a fim de definir parâmetros críticos dos mesmos.
- 3) Avaliar placas poliméricas em campo e identificar, dentre os materiais avaliados, qual(is) possuem as melhores características para utilização pela empresa.
- 4) Produzir nanomateriais de carbono, como grafeno, óxido de grafeno e outros derivados do grafite com pureza, razão de aspecto e funcionalização controladas.
- 5) Selecionar criteriosamente plásticos de engenharia para o desenvolvimento dos nanocompósitos poliméricos. Seleção de materiais em trabalho conjunto da equipe do CTNano e da equipe Vale com bases nos resultados dos itens 1 a 3 dos objetivos.
- 6) Incorporar os nanomateriais de carbono no(s) plástico(s) selecionado(s); desenvolver as metodologias de incorporação nanométrica eficiente.
- 7) Caracterizar em laboratório e estudar a correlação das propriedades mecânicas e de superfície dos materiais compósitos e sua dependência com a estrutura química, de fases e interfaces.
- 8) Avaliar as vantagens e desvantagens na aplicação dos compósitos desenvolvidos em campo. Definir os objetivos de aprofundamento do P&D numa segunda fase.

9. Metodologia de Pesquisa

As atividades serão divididas em 8 etapas, cada uma associada a um dos objetivos específicos conforme organizado no Esquema 1.



Esquema 1. Visão geral das etapas metodológicas

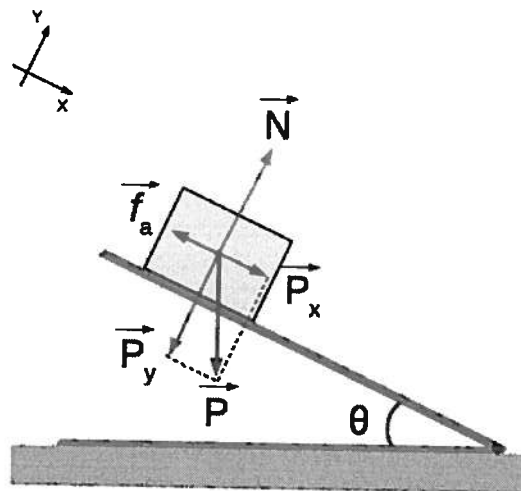
Descrição da metodologia:

- 1) Durante todo o período do projeto será feito um acompanhamento da bibliografia sobre artigos e patentes relacionados ao tema, e também de congressos e sites de empresas, que auxiliarão na escolha dos nanomateriais e plásticos de engenharia a serem utilizados e na rota experimental mais adequada para o desenvolvimento dos sistemas poliméricos compósitos com potencial para a solução dos problemas identificados.
- 2) Inicialmente, será feito um levantamento junto à equipe Vale dos materiais atualmente empregados na aplicação foco do projeto. A partir daí, nessa etapa será realizada a caracterização desses materiais, a fim de conhecer suas características de um amplo ponto de vista. Essa etapa possui dois objetivos: auxiliar na seleção dos materiais a serem utilizados no projeto e fornecer informações técnicas desses materiais à equipe de engenharia e manutenção da Vale. Neste contexto serão conduzidas na infraestrutura do CTNano análises espectroscópicas (na região do infravermelho FTIR e de Raman), térmicas (Calorimétrica - DSC, e termogravimetria - TGA/DTG) de microscopia eletrônica (SEM, TEM) entre outras. Análises mecânicas de tração e impacto serão igualmente conduzidas na estrutura do CTNano. Um teste de fundamental importância para este projeto será o ensaio tribológico para determinação de coeficientes de atrito entre distintos materiais. Uma das características que se buscará no revestimento polimérico a ser desenvolvido no projeto é que possua baixo coeficiente de atrito com o minério a ser transportado, facilitando assim seu escoamento e transferência através dos "shuts". O coeficiente de atrito será determinado através de um plano inclinado variável, onde o ângulo máximo antes do deslizamento pode ser medido e assim o coeficiente de atrito estático máximo ($\mu_{e\ máx}$) determinado. O Esquema 2 ilustra a ideia. Para pequenos ângulos de inclinação, o corpo de prova manter-se-á em equilíbrio, pois a componente útil do peso paralela ao plano, \vec{P}_x , não será suficiente para compensar a força de atrito estático f_e . À medida que se aumenta o ângulo θ a componente útil do peso aumenta também, atingindo-se em determinado ponto a iminência do escorregamento onde a componente \vec{P}_x se iguala a força de atrito estático. Nesse instante, o coeficiente de atrito estático máximo $\mu_{e\ máx}$ pode ser determinado pela relação:

$$\mu_{e\ máx} = \tan \theta \quad (\text{Eq. 1})$$

Para medidas de coeficiente de atrito dinâmico, será desenvolvido um sistema distinto que permita deslocar horizontalmente o corpo de prova com uma velocidade constante e uma força conhecida. Este sistema exigirá uma montagem própria que inclui célula de carga.

- 3) A equipe conduzirá atividades de avaliação de placas poliméricas em campo a fim de obter dados de interesse prático desde o início do projeto. Placas de polímero puro com de polietileno de ultra alta massa molar ou de poliuretano serão adquiridas de fornecedores e aplicadas em campo com o auxílio da equipe Vale. O desempenho destes materiais será monitorado em paralelo a testes dos mesmos no laboratório do CTNano (etapa 2). Outras alternativas para uso de polímeros, como depósito de camada sobre placa convencional, também serão avaliadas. Em campo serão monitorados o escoamento e desgaste a partir de observações macroscópicas regulares e de retirada de amostras para envio a laboratório.
- 4) Síntese de grafeno: o óxido de grafite será produzido via micro-ondas, com utilização de pelo menos um agente de intercalação e um agente oxidante, que promovem a expansão e a oxidação do grafite, com posterior lavagem e separação. O grupo possui experiência na definição de condições bem controladas de potência, temperatura e tempo em micro-ondas. O óxido de grafite será submetido à esfoliação em ultrassom para obtenção do óxido de grafeno, com sua separação e secagem. Alternativamente o óxido de grafite pode ser expandido termicamente com redução concomitante levando à produção de um óxido de grafeno reduzido. As tecnologias desenvolvidas pelo grupo possibilitam a obtenção de óxido de grafeno reduzido (aqui chamado de grafeno) com alta estabilidade térmica e preservação elevada da área lateral das folhas. Neste projeto, grafenos com diferentes características químicas e físicas serão testados, a fim de customizar um nanomaterial para a dispersão nos polímeros de interesse.
- 5) A partir dos resultados das etapas anteriores de 1 a 3, será feita a seleção dos plásticos de engenharia que sofrerão aditivação de grafenos, a fim de obter incrementos de propriedades. Essa seleção será conduzida com ampla discussão entre a equipe do projeto e a equipe Vale, podendo ser incluídas demais partes interessadas como colaboradores do ITV e fornecedores, de modo a considerar os resultados prévios, os dados associados ao "know-how" dos vários parceiros que envolvem propriedades, custo, disponibilidade, entre outros.
- 6) Serão desenvolvidos revestimentos poliméricos nanoestruturados, a partir dos materiais selecionados anteriormente, variando parâmetros de processo até se obter uma metodologia de produção reprodutível e escalável. A infraestrutura do CTNano conta com equipamentos de processamento de polímeros (misturadores avançados, estufas, prensas, etc) para a execução desta etapa.
- 7) Os materiais desenvolvidos passarão por todos os processos de caracterização necessários para garantir que as propriedades obtidas são as esperadas para a aplicação foco do projeto. Deve-se caracterizar sistematicamente em laboratório coeficiente de atrito e resistência mecânica de materiais poliméricos e compósitos; e investigar mecanismos de agarramento e desgaste. As análises morfológicas, por microscopias eletrônicas e térmicas, por DSC e TG, completarão um quadro avaliativo amplo sobre os materiais desenvolvidos. Com os resultados obtidos nessa etapa, propõe-se um *gate* de decisão para definição da continuidade do trabalho de pesquisa e desenvolvimento. Este *gate* deverá envolver a definição sobre construção de placas para testes em campo.
- 8) A etapa de avaliação em condições de campo poderá ser realizada efetivamente em campo, caso a resposta ao *gate* da etapa metodológica 7 seja positiva. Alternativamente, poderão ser incluídos em laboratório experimentos delineados para agregar fatores decisivos do uso em campo e assim ampliar o conhecimento experimental para estudos comparativos com materiais metálicos e cerâmicos. Parâmetros como presença de umidade, envelhecimento e fadiga de materiais podem ser adicionados aos testes.



Esquema 2. Representação das forças que atuam sobre um corpo de prova apoiado em repouso sobre um plano inclinado. O coeficiente de atrito estático máximo pode ser determinado pela equação 1 através da medida do ângulo crítico na iminência do escorregamento.

10. Resultados Esperados

Com o desenvolvimento do projeto espera-se obter um revestimento polimérico com características superiores às demonstradas pelos materiais atualmente empregados pela Vale. Além disso, podem-se citar como resultados potenciais: (i) aumentar o conhecimento, por parte da equipe de engenharia e manutenção da Vale, sobre as características de interesse dos materiais atualmente disponíveis no mercado para esse fim, direcionando os esforços de compra e especificação técnica desses materiais; (ii) identificar o polímero com melhor potencial de ser utilizado na aplicação fim desejada; (iii) identificar parâmetros de melhoria a serem considerados no desenvolvimento de um novo revestimento polimérico; e (iv) ampliação do conhecimento técnico sobre o potencial da nanotecnologia para produzir ganhos em propriedades críticas de interesse do setor de mineração.

11. Grau de inovação do projeto (quando aplicável)

- (x) Novo para o Mundo
- () Novo para Indústria Mineral
- () Novo para a Vale
- () Nenhuma novidade

11.1 Justificativa do grau de inovação (quando aplicável)

A proposta de pesquisa apresenta um alto grau de inovação, já que o uso de nanomateriais de carbono atrelado aos plásticos de engenharia é recente e apresenta um enorme potencial devido as características dessa classe de nanomateriais. Para ilustrar o grau de inovação do tema, podemos citar o Prêmio Nobel de Física de 2010, que teve como tema a síntese do grafeno, um nanomaterial com excelentes propriedades mecânicas e de superfície, que poderá ser utilizada como aditivo no projeto, por ser uma das áreas de pesquisa da equipe do CTNanotubos.

Citam-se também os principais elementos inovadores do projeto de pesquisa: (i) desenvolvimento de plásticos de engenharia nanoestruturados; (ii) uso de nanomateriais de carbono em revestimentos de superfície; (iii) desenvolvimento de metodologia de aplicação de revestimento nanoestruturados em substratos metálicos.

12. Possibilidade de patenteamento (quando aplicável)

Descreva a chance/Interesse em patenteamento da tecnologia desenvolvida no projeto

- Alta chance de patenteamento
- Moderada chance de patenteamento
- Baixa chance de patenteamento
- Nenhuma chance de patenteamento

13. Acesso à Vale

Para os fins desse projeto será necessário acesso à Vale para caracterização e testes em campo dos materiais produzidos.

14. RISCOS (projeto, tecnológico, marcos regulatórios etc.)

Por se tratar de um projeto com caráter bastante inovador, com aplicação de uma tecnologia ainda emergente, é importante ressaltar o risco inerente aos processos de pesquisa e desenvolvimento, associado ao grau de incerteza tecnológica. Nesse sentido, pode-se dizer que existe um risco associado ao desenvolvimento da aplicação, que pode vir a exigir esforços e tempos maiores até seu amadurecimento. Entretanto, como em todo processo de investigação de natureza científica tecnológica, essa incerteza é minimizada conforme etapas parciais são atingidas.

Além deste, pode-se ressaltar também o risco atrelado ao atraso no cronograma de execução das atividades, que pode advir do processo de seleção dos materiais a serem utilizados, em especial do plástico de engenharia. Por se tratar de um ponto crítico do projeto, esta seleção precisa considerar vários fatores, como custo, disponibilidade e viabilidade tecnológica e mercadológica. Sendo assim, é de extrema importância a participação da equipe e de fornecedores da Vale, que serão fundamentais no momento de produção da aplicação em escala industrial. Para mitigar este risco é importante um bom relacionamento entre as partes, que poderá ser alcançado por meio de reuniões frequentes e troca de informação constante, além de poder ser benéfico o envolvimento do parceiro desde as fases iniciais do projeto.

O processo como um todo, de P&D e relacionamento entre os atores, deve ser bem gerenciado para que riscos potenciais possam ser identificados e controlados. Neste sentido, o CTNano, entidade parceira na execução do projeto, conta com uma metodologia para suporte e controle de desenvolvimento de novas tecnologias e produtos, cujo objetivo é gerenciar o processo de inovação tecnológica e de produto e mitigar riscos e desafios inerentes ao desenvolvimento, garantindo o contínuo sucesso da inovação tecnológica. Essa estrutura, somada ao know-how de mais de 10 anos no assunto do Centro, contribuirá para mitigar riscos associados ao desenvolvimento do projeto. Ressalta-se também que o CTNanotubos é um centro de pesquisa referência no país na área em que atua, o que reforça sua capacidade técnica e de infraestrutura para execução do projeto.

15. Relevância estratégica para Vale

Potenciais benefícios econômicos, de negócios e socioambientais.

15.1 Crescimento de Mercado – Foco em vendas (quando aplicável)

Qual é a potencial contribuição de seu projeto para o crescimento no mercado atual da Vale (aumento de receitas nos mercados e negócios atuais da Vale pela aplicação da tecnologia)? Justifique

- Alta
- Média
- Baixa
- Não se aplica

A perda de 874.291 toneladas de produto final no ano de 2015, citada anteriormente, gera uma perda de faturamento de US\$ 8.532.720,00 (preço de venda do minério US\$ 50,50 em 25/05/2016). Esta análise de perdas pode ser extrapolada para todas as instalações de tratamento de minério da Vale. Nos sistemas de paradas não foi possível isolar o efeito do problema de pesquisa. Mas ao tratá-lo, a presente pesquisa contribuirá para reduzir as perdas no Complexo Vargem Grande citadas anteriormente. Os resultados são também aplicáveis nas demais instalações de tratamento de minério da Vale

Qual é a potencial contribuição de seu projeto para a diversificação ou criação de novos negócios na Vale (novas aplicações minerais ou novos serviços)? Justifique

- Alta
- Média
- Baixa
- Não se aplica

15.2 Redução de Custos – Foco em melhoria de processo (quando aplicável)

Qual é a potencial contribuição de seu projeto para a redução de custos de investimento em bens de capital (por exemplo, máquinas e equipamentos) na Vale? Justifique

- Alta redução
- Moderada redução
- Pequena redução
- Nenhuma redução

Possibilidade de redução de custos de investimento em bens de capital utilizados para retornar as operações à condição normal, após ocorrências de entupimentos, tais como: caminhões, pás e mini pás carregadeiras e retroescavadeiras.

Qual é a potencial contribuição de seu projeto para a redução de custos operacionais na Vale? Justifique

- Alta redução
- Moderada redução
- Pequena redução
- Nenhuma redução

Nos apontamentos efetuados nos sistemas de paradas, o problema é uma das diversas causas do evento "entupimento". Conforme levantamento em instalações de tratamento de minério do Complexo Vargem Grande, no período de jan/2015 a dez/2015, citado anteriormente, constatou-se que o total de paradas das instalações causadas por entupimentos foi 781 horas, com a consequente perda 874.291 toneladas de produto final.

15.3 Implicações ambientais (quando aplicável)

Qual é o potencial de impacto de seu projeto nas condições ambientais ou redução do impacto ambiental causado por uma ou mais operações realizadas pela Indústria da Mineração ou por outra empresa de sua cadeia produtiva? Justifique

- Alto impacto positivo
- Moderado impacto positivo
- Impacto neutro
- Impacto negativo

Redução de uso de recursos utilizados para retornar as operações à condição normal, após ocorrências de entupimentos, tais como: (i) pessoas; (ii) recursos hídricos (água) usados para desentupir; (iii) máquinas e equipamentos – caminhões, pás e mini pás carregadeiras, retroescavadeiras – para a remoção e reprocessamento de minério de entupimentos.

No caso de impacto positivo, assinale os tipos de implicações ambientais potenciais do projeto:

- Eficiência Energética
- Tratamento de resíduos
- Reuso de água
- Redução de emissões
- Preservação e recuperação
- Outra implicação. Qual?

15.4 Implicações em saúde e segurança (quando aplicável)

Qual é o potencial de impacto de seu projeto na redução dos riscos à integridade física e à saúde de trabalhadores envolvidos nas operações realizadas pela Indústria da Mineração, por outra empresa de sua cadeia produtiva ou pela comunidade do entorno? Justifique

- Alto impacto positivo
- Moderado impacto positivo
- Impacto neutro
- Impacto negativo

Redução da exposição de pessoas nas operações de desentupimentos, onde são utilizados (i) mangotes de água, com riscos de projeção de polpa – minério mais água, com os riscos relativos a trabalho com umidade no vestuário e lesões corporais; (ii) ferramentas manuais, tais como marretas, pás, enxadas, alavancas, com os riscos de prensamentos de membros e lesões corto-contusas. Há registros de acidentes de trabalho em função dessas condições.

No caso de impacto positivo, assinale os tipos de implicações em saúde e segurança potenciais do projeto:

- Segurança no trabalho
- Saúde do trabalhador
- Doenças em geral
- Outra implicação. Qual?

16. Cronograma de Atividades e Marcos

#	ATIVIDADE	INÍCIO (MÊS)	TÉRMINO (MÊS)
1	Workshop de trabalho inicial (equipes CTNano, Vale, ITV)	1	1
2	Revisão bibliográfica (contínua)	1	24
3	Caracterização em laboratório dos materiais disponíveis	2	7
4	Caracterização em campo dos materiais disponíveis	3	7
5	Produção da nanocarga	4	18
6	Workshop de apresentação dos resultados parciais	7	7
7	GATE: escolha do polímero (ou polímeros) a ser utilizado	7	7
8	Estudo do material a ser utilizado com nanocargas	7	12
9	Introdução da nanocarga no polímero escolhido (processamento)	8	22
10	Caracterização dos compósitos obtidos em laboratório	9	24
11	GATE: continuidade do projeto, testes em campo	24	24

17. Produtos e Entregas

#	Produto	Descrição	Mês de Entrega	Responsável
1	Relatório Técnico Parcial	Relata os resultados alcançados nas primeiras etapas do projeto, referentes as atividades 1 a 4 do Cronograma de Atividades e Marcos.	7	UFMG
2	Relatório Técnico Parcial	Relata os resultados alcançados até o mês 13 do projeto, visando discussões e alinhamento com os parceiros.	14	UFMG
3	Relatório Técnico Final	Relata os resultados alcançados pelo projeto, incluindo o resultado de caracterização do compósito produzido e sua potencialidade de aplicação.	24	UFMG
4	Dissertação de Mestrado	Projeto final escrito e apresentado pelo bolsista de mestrado envolvido no projeto.	24	UFMG
5	Resultado da pesquisa de Pós-doutorado		24	UFMG
6	Relatório de Prestação de Contas Parcial	Relata os gastos realizados pelo projeto do primeiro ao nono mês. Esse relatório será feito pela FCO.	9	Fundação Cristiano Otoni (FCO)
7	Relatório de Prestação de Contas Parcial	Relata os gastos realizados pelo projeto do décimo ao vigésimo primeiro mês. Esse relatório será feito pela FCO.	21	Fundação Cristiano Otoni (FCO)
8	Relatório de Prestação de Contas Final	Relata todos os gastos realizados durante a execução de todo o projeto.	24	Fundação Cristiano Otoni (FCO)

18. Referências Bibliográficas da Pesquisa

- [1] VOLDER, M. F. L.; TAWFICK, S. H.; BAUGHMAN, R. H.; HART, A. J. Carbon nanotubes: present and future commercial applications. *Science*, 339, 535-539, 2013.
- [2] ZURUTUZA, A.; MARINELLI, C. Challenges and opportunities in graphene commercialization. *Nature Nanotechnology*, 9, 730-734, 2014.
- [3] Documento intitulado: Oito Grandes Tendências de Crescimento até 2020. Obtido em 28 de outubro de 2015: <http://www.bain.com/offices/saopaulo/pt/publications/articles/as-oito-grandes-tendencias-de-crescimento-ate-2020.aspx>
- [4] GEIM, A. K. Graphene: status and prospects. *Science*, v. 324, p. 1530-1534, 2009.
- [5] NOVOSELOV, K. S.; FAL'KO, V. I.; COLOMBO, L. et al. A roadmap for grapheme. *Nature*, v. 490, p. 192-200, 2012
- [6] BOLOTI, K. I.; SIKES, K. J.; JIANG, Z.; et al. Ultrahigh electron mobility in suspended graphene, *Solid State Communications*, v. 146, p. 351-355, 2008.
- [7] BALADIN, A. A. Thermal properties of graphene and nanostructured carbon materials. *Nature Materials*, v. 10, p. 569-581, 2011.
- [8] LEE, C.; WEI, X. D.; KYSAR, J. W. et al. Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *Science*, v. 321, p. 385-388, 2008.
- [9] GEIM, A. K.; NOVOSELOV, K. S. The rise of graphene. *Nature Materials*, v. 6, p. 183-191, 2007.
- [10] BOEHM, H. P.; SETTON, R.; STUMP, E. Nomenclature and terminology of graphite intercalation compounds. *Pure and Applied Chemistry*, v. 66, p. 1893-1901, 1994.
- [11] TOLLE, F. J.; GAMP, K.; MULHAUPT, R. Scale-up and purification of graphite oxide as intermediate for functionalized graphene. *Carbon*, v. 75, p. 432-444, 2014.
- [12] WALLACE, P. R. The band theory of graphite. *Physical Review*, v. 71, p. 622-634, 1947.
- [13] BOEHM, H. P.; CLAUSS, A.; FISCHER, G. et al. Surface properties of extremely thin graphite lamellae. In: *Proceedings of the fifth conference on carbon*, p. 73-80, 1962.
- [14] NOVOSELOV, K. S.; GEIM, A. K.; MOROZOV, S. V. et al. Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, v. 306, p. 666-669, 2004.
- [15] DHAKATE, S. R.; CHAUHAN, N.; SHARMA, S. et al. An approach to produce single and double layer graphene. *Carbon*, v. 49, p. 1946-1954, 2011.

- [16] ZHU, Y.; MURALI, S.; CAI, W. et al. Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications. *Advanced Materials*, v. 22, p. 3906-3924, 2010.
- [17] ISKI, E. V.; YITAMBEN, E. N.; GAO, L. et al. Graphene at the Atomic-Scale: Synthesis, Characterization, and Modification. *Advanced Functional Materials*, v. 23, p. 2554-2564, 2013.
- [18] CIESIELSKI, A. SAMORI, P. Graphene via sonication assisted liquid-phase exfoliation. *Chemical Society Reviews*, v. 43, p. 381-398, 2014.
- [19] ZAMAN, I.; KUAN, H. C.; MENG, Q. et al. A Facile Approach to Chemically Modified Graphene and its Polymer Nanocomposites. *Advanced Functional Materials*, v. 22, p. 2735-2743, 2012.
- [20] COLEMAN, J. N. Liquid Exfoliation of Defect-Free Graphene. *Accounts of Chemical Research*, v. 46, p. 14-22, 2013.
- [21] WANG, G.; SUN, X.; LIU, C. Tailoring oxidation degrees of graphene oxide by simple chemical reactions. *Applied Physics Letters*, v. 99, p. 053114, 2011.
- [22] BRODIE, B. C. On the Atomic Weight of Graphite. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 4, p. 249-259, 1859.
- [23] STAUDENMAIER, L. Verfahren zur Darstellung der Graphitsäure. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, v. 31, p. 1481-1487, 1898.
- [24] HUMMERS, W.; OFFEMAN, R. Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society*, v. 80, p. 1339-1339, 1958.
- [25] SHEN, B.; ZHAI, W.; TAO, M. et al. Chemical functionalization of graphene oxide toward the tailoring of the interface in polymer composites. *Composites Science and Technology*, 77, 87-94, 2013.
- [26] PARK, S.; RUOFF, R. S. Chemical Methods for the production of graphene. *Nature Nanotechnology*, 4, 217-224, 2009.
- [27] XU, Y.; SHI, G. Assembly of chemically modified graphene: methods and applications. *Journal of Materials Chemistry*, 21, 3311-3323, 2011.
- [28] SUK, J. W.; PINER, R. D.; AN, J.; RUOFF, R. S. Mechanical properties of monolayer graphene oxide. *ACS Nano*, 4, 6557-6564, 2010.
- [29] CAO, C.; DALY, M.; SINGH, C. V.; et al. High strength measurement of monolayer graphene oxide. *Carbon*, 81, 497504, 2015.
- [30] WAN, Y. W.; TANG, L. C.; GONG, L. X. Grafting of epoxy chains onto graphene oxide for epoxy composites with improved mechanical and thermal properties. *Carbon*, 69, 467-480, 2014.
- [31] RIBEIRO, H.; SILVA, W. M.; NEVES, J. C. et al. Multifunctional nanocomposites based on tetraethylenepentaminemodified graphene oxide/epoxy. *Polymer Testing*, 43, 182-192, 2015.
- [32] ECONOMOPOULOS, S. P.; ROTAS, G.; MIYATA, Y. et al. Exfoliation and Chemical Modification Using Microwave Irradiation Affording Highly Functionalized Graphene. *ACS Nano*, 4, 7499-7507, 2010.
- [33] THOSTENSON, E.T., Z. REN, T.-W. CHOU, Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review. *Compos. Sci. and Techn.* 61, 1899-1912, 2001.
- [34] BAUGHMAN, R.H., A.A. ZAKHIDOV, W.A. DE HEER, *Carbon Nanotubes – the route toward applications*, Science 297, 787-792, 2002.
- [35] VAN NOORDEN, R. Moving towards a graphene world. *Nature*. 442, 228-229, 2006.
- [36] CAI, D.; YUSOH, K.; SONG, M.; The mechanical properties and morphology of a graphite oxide nanoplatelet/polyurethane composite. *Nanotechnology*. 20, 2009.
- [37] APPEL, A.; THOMANN, R.; MÜLHAUPT, R.; Hydroxyalkylation and Polyether Polyol Grafting of Graphene Tailored for Graphene/Polyurethane Nanocomposites. *Macromolecular Rapid Communications*, 34, 1249–1255, 2013.
- [38] POKHAREL, P.; LEE, S.; LEE, D. S.; Thermal, Mechanical, and Electrical Properties of Graphene Nanoplatelet/Graphene Oxide/Polyurethane Hybrid Nanocomposite. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 15, 211214, 2015.
- [39] POKHAREL, P.; LEE, S.; High performance polyurethane nanocomposite films prepared from a masterbatch of graphene oxide in polyether polyol. *Chemical Engineering Journal*, 253, 356–365, 2014.
- [40] WANG, X.A.; HU, Y.; SONG, L.; YANG, H.; XINGA, W.; LUC, H.; In situ polymerization of graphene nanosheets and polyurethane with enhanced mechanical and thermal properties. *J. Mater. Chem.*, 21, 4222–4227, 2011.
- [41] LUO, X; ZHANG, P.; REN, J.; LIU, R.; FENG, J.; GE, B.; Preparation and properties of functionalized graphene/waterborne polyurethane composites with highly hydrophobic. *J. APPL. POLYM. SCI.* 42005, 2015.
- [42] XUA, L.; ZHENG, L.; YANA, Z.; ZHANG, W.; SHIA, S.; ZHOUB, F.; ZHANG, F.; WANG, J.; ZHANG, J.; LIU, B.; Preparation, tribological properties and biocompatibility of fluorinated graphene/ultrahigh molecular weight polyethylene composite materials. *Applied Surface Science*, 370, 201–208, 2016.
- [43] PANG, W.; NI, Z.; CHEN, G.; HUANG, G.; HUANG, H.; ZHAO, Y. Mechanical and thermal properties of graphene oxide/ultrahigh molecular weight polyethylene nanocomposites. *RSC Adv.*, 5, 63063, 2015.

[44] TAI, Z.; CHEN, Y.; AN, Y.; YAN, X.; XUE, Q.; Tribological Behavior of UHMWPE Reinforced with Graphene Oxide Nanosheets. Tribology Letters, 46, 1, 55-63, 2012.

[45] LAHIRI, D.; HEC, F.; THIESSE, M.; DURYGIN, A.; ZHANG C.; AGARWAL, A.; Nanotribological behavior of graphene nanoplatelet reinforced ultra-high molecular weight polyethylene composites. Tribology International. 70, 165–169, 2014.

19. Orçamento Sumarizado – Consolidado do Projeto

#	Modalidade de Fomento	Valor total
1	Bolsa de pesquisa	R\$ 279.400,80
2	Material de consumo	R\$ 100.000,00
3	Material permanente nacional*	R\$ 10.081,50
4	Material permanente importado*	R\$ 60.727,60
5	Serviços de terceiros	R\$ 89.445,52
6	Obras e edificações civis	R\$ 15.000,00
7	Viagens e diárias**	R\$ 10.000,00
8	Participação em congressos	R\$ 5.000,00
9	Taxas	R\$ 29.981,86
-	TOTAL GERAL	R\$ 599.637,28

*Computadores, softwares, livros, etc.

** inclui hospedagem e alimentação

20. Orçamento Detalhado e Cronograma de Desembolso

Preencha o formulário Anexo II com detalhamento do orçamento e cronograma de desembolso.

21. Informações Adicionais

Principais equipamentos já existentes necessários ao projeto (máximo de 5)*

Item	Quantidade	Local
TG/DTG	1	CTNano
DSC	1	CTNano
FTIR	1	CTNano
Máquina de Ensaio Universal (ensaio de tração, compressão e flexão)	1	CTNano
Espectroscópio Raman	1	CTNano

*Este campo será utilizado para fins de registro.

Auxílio recebido ou solicitado a outras entidades para o projeto (indicar moeda)*

Entidade	Valor solicitado	Valor aprovado
Raissa Guerra Resende – Contrapartida CTNano	N/A	N/A
Prof. Rodrigo Lavall – Contrapartida CTNano	N/A	N/A

*Bolsas de pesquisa, recursos financiados por agências de fomento, entre outros.

22. Anexos

#	Anexo	Descrição
1	Formulário de Orçamento	Formulário detalhado do orçamento da proposta de projeto de P&D

23. Assinaturas

Preparado por:

Glaura Goulart Silva

Proponente: Universidade Federal de Minas Gerais
Vice-coordenadora do Centro de Tecnologia em Nanomateriais (CTNano); Profa. Dra. Glaura Goulart Silva

Aprovado por:

Vale Inovação e Tecnologia
Rodrigo Araki