

Otimização e análise de fadiga de perfis de rodas ferroviárias

Guilherme Fabiano

FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS

Vitória, 03 de julho de 2020
Versão 3



Sumário

1.	Identificação	4
1.1	Dados do Proponente	4
1.2	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	6
7.	Descrição do Estado da Arte	6
7.1	Grau de maturidade da tecnologia a ser desenvolvida (quando aplicável).....	10
8.	Objetivos	10
8.1	Gerais.....	10
8.2	Específicos	11
9.	Metodologia de Pesquisa.....	11
10.	Resultados Esperados	11
11.	Grau de inovação do projeto (quando aplicável).....	12
11.1	Justificativa do grau de inovação (quando aplicável)	12
12.	Possibilidade de patenteamento (quando aplicável)	13
12.1	Descrever patentes preexistentes de titularidade da instituição (quando aplicável / a serem utilizadas no projeto)	13
13.	Acesso à Vale.....	13
14.	Riscos (projeto, tecnológico, marcos regulatórios etc.).....	13

15.	Relevância estratégica para Vale	13
15.1	Crescimento de Mercado – Foco em vendas (quando aplicável)	13
15.2	Redução de Custos – Foco em melhoria de processo (quando aplicável)	14
15.3	Implicações ambientais (quando aplicável)	14
15.4	Implicações sociais (quando aplicável)	14
15.5	Implicações em saúde e segurança (quando aplicável)	15
16.	Cronograma de Atividades e Marcos	15
17.	Produtos e Entregas	16
18.	Referências Bibliográficas da Pesquisa	16
19.	Orçamento Detalhado e Cronograma de Desembolso	18
19.1	Incluir eventuais outras fontes de financiamento para o mesmo projeto (em andamento) ...	18
20.	Informações Adicionais	18
21.	Plano de trabalho dos bolsistas	19
22.	Anexos	19
23.	Assinaturas	20

1. Identificação

1.1 Dados do Proponente

Instituição:	Universidade Federal do Espírito Santo
Nome do Pesquisador:	Guilherme Fabiano Mendonça dos Santos
CPF:	181.118.718-80
Nacionalidade:	Brasileira
Titulação:	() Graduado () Especialista () Mestre () Doutor () Pós-Doutorado
Telefone:	4009-2671
Celular:	27 988236088
E-mail:	guilherme.f.santos@ufes.br
Departamento/ Unidade:	Engenharia Mecânica
Área de Formação/ Especialização:	Engenharia Mecânica / Engenharia Ferroviária
Endereço:	Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras
Cidade:	Vitória
Estado:	ES
CEP:	29075-910
País:	Brasil

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

1.2 Área da Vale (quando aplicável)

Área da Vale envolvida:	Centro de Excelência – Ferrovia
Contato:	Jun Kina
Telefone:	+552733333643
E-mail:	Jun.Kina@vale.com

2. Dados do Projeto (não abrevie)

Título do Projeto:	Otimização e análise de fadiga de perfis de rodas ferroviárias		
Duração (em meses):	30 meses		
Projeto em Rede:	<input type="checkbox"/> Individual <input checked="" type="checkbox"/> Rede*		
Programa/ Linha de Pesquisa**:	Cátedra Roda Trilho		
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
01	01/07/2020	Guilherme	Versão inicial
02	03/07/2020	André Franca	Ajustes no formato do documento e atividades

*Projeto relacionado com um ou mais projetos.

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

3. Equipe do Projeto

Instituição	Nome	Titulação	Telefone	E-mail	Participação no Projeto e Função	Link no Currículo Lattes
VALE	Thiago Silva Martins	Engenheiro Especialista		thiago.silva.martins@vale.com	Responsável VALE	http://lattes.cnpq.br/5790155441425088
VALE	Isaias Freitas e/ou Leandro Almeida	Engenheiro Especialista		isaias.freitas@vale.com	Engenharia da EFVM	
VALE	Bruno Brito e/u Raidam Fernandes	Engenheiro Especialista		bruno.brito@vale.com	Engenharia da EFVM	
UFES	Guilherme Fabiano Mendonça dos Santos	Doutor	27 9882360 88	guilherme.f.santos@ufes.br	Pesquisador e Coordenador por parte da UFES	http://lattes.cnpq.br/4995407690243279
UFES (em coorientação com a UNICAMP/Bolsa UNICAMP)	Thairon Reis Costa	Mestre		thairon_reis@hotmail.com	doutorando na área de fadiga de contato de rolamento em rodas e trilhos.	http://lattes.cnpq.br/2184229808734855
UFES (em coorientação com a UNICAMP/Bolsa UNICAMP)	A ser selecionado	Mestre			Doutorando na área de otimização multi-objetivo e simulação dinâmica veicular	
UFES	A ser selecionado	Graduação			Mestrando em otimização do perfis e análise de fadiga – análise experimental	
UFES	A ser selecionado	Iniciação científica 1			Tratamento dos dados coletados em campo (teste de rodas)	
UFES	A ser selecionado	Iniciação científica 2			Tratamento dos dados coletados em campo (esmerilhamento preventivo)	

4. Palavras Chave do Projeto (3 palavras)

Dinâmica; descarrilamento; roda-trilho.

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

Trata-se do aprimoramento e aplicação de técnicas de otimização multi-objetivo em perfis de rodas incluindo a otimização da pista de rolamento e uma análise de fadiga aprofundada e o suporte aos demais projetos da Cátedra na área de esmerilhamento preventivo, conforme fluxograma apresentado no Anexo. O projeto prevê o acompanhamento da implantação em campo dos perfis otimizado de roda na EFC e EFVM e o monitoramento do desempenho deste. Além disso, pretende-se acompanhar também o processo de esmerilhamento dos trilhos na EFVM buscando sugerir ações com base nos resultados do processo de otimização e *Pummeling*.

6. Justificativa

Sugestão: descrever a origem da ideia do projeto

Os resultados obtidos no projeto de otimização do perfil de roda apontam para um bom caminho no que tange à diminuição da fadiga e desgaste do perfil atualmente utilizado pela VALE. Os resultados iniciais foram apresentados no III Simpósio de Engenharia Ferroviária na Unicamp, com o título “Análise e otimização de perfis de roda e trilho ferroviários – Guilherme dos Santos” (<https://www.simpósio-ferroviario.com.br/apresentacoes>). Em resumo, com apenas a otimização da região do flange, foram obtidos os seguintes resultados:

Melhorou-se o índice de desgaste e fadiga da roda;

Para a roda desgastada em serviço, a quantidade de material que seria removido durante reperfilamento é substancialmente menor, visto o menor desgaste no flange.

Portanto, os resultados das simulações computacionais realizadas indicam uma redução do desgaste na roda e comprovam que a metodologia desenvolvida pode ser utilizada para otimizar perfis de roda com resultados promissores. Com a continuidade do projeto, será acrescentada análise de fadiga e a otimização dos perfis do trilho com o acompanhamento do processo de esmerilhamento preventivo a ser realizado pela Vale

7. Descrição do Estado da Arte

A segurança no transporte ferroviário é comumente definida pela relação entre os esforços presentes no contato roda e trilho, particularmente a razão entre a carga lateral e vertical. Esta razão possui um limite definido pela equação de Nadal muito empregada no meio ferroviário:

$$\frac{L}{V} = \frac{\tan(\alpha) - \mu}{1 + \mu \tan(\alpha)}$$

Sendo:

L = força lateral;

V = força vertical;

α = ângulo do plano de contato da roda e trilho;

μ = coeficiente de atrito.

Assim, definir o limite para L/V pode ser uma questão que envolva apenas propriedades geométricas ou físicas do par em contato, todavia o problema da segurança é saber se os esforços reais atuantes no contato roda e trilho são inferiores a este limite.

Os esforços atuantes são a resposta da dinâmica veicular dada a entrada oriunda da trajetória do veículo, ou seja, a segurança depende das características do vagão e do meio por onde este trafega.

Portanto, a geometria da via permanente desempenha um papel fundamental da segurança operacional de uma ferrovia, porém de maneira não isolada como esta é interpretada comumente. Isto, pois, os limites geométricos da via são geralmente definidos desconsiderando-se a resposta do veículo. A literatura comprova através de vários resultados simulação e medidas de campo que uma boa parte destes limites geométricos definidos praticados podem não produzir situações de risco real, sendo a recíproca também verdadeira.

Assim, considerando o exposto, o presente projeto pretende unir as propriedades geométricas e físicas do par roda e trilho em contato com a resposta dinâmica do veículo de modo a se analisar e determinar qual projeto de perfil possui melhor relação entre os requisitos a serem estudados.

A interface de contato roda trilho (R/T) afeta importantes parâmetros como estabilidade, desgaste, fadiga, segurança, vida útil e custos de manutenção. Um melhor design para a roda ou trilho pode melhorar as condições de serviço quando executados de modo adequado. Vários autores propuseram diferentes funções objetivos e técnicas de otimização:

- Obtenção de curva RRD desejada; [2,3,5,11,13,14,17]
- Obtenção de curva CAD desejada; [4,13]
- Obtenção de curva de conicidade desejada; [7]
- Otimização da distância normal entre perfis de roda e trilho; [1,19]
- Algoritmos genéticos (único objetivo ou multi-objetivo); [6,8,9,10,18,21,22]
- Área de contato uniforme (melhor adesão); [15]

- Outros exemplos de otimização multi-objetiva. [16,20]

As primeiras três opções necessitam de conhecimento prévio de uma curva ótima para realizar o processo de otimização. A quarta, sexta e sétima técnica de otimização mostraram-se de difícil compreensão ou com técnicas de otimização complicadas e indisponíveis em plataformas *opensource*.

A técnica de algoritmos genéticos foi escolhida na etapa anterior de planejamento da abordagem pelos seguintes motivos:

- São utilizados para otimizar índices de desempenho, fáceis de serem obtidos através de simulações multicorpos (MBS);
- Fácil acesso à informação e livros sobre algoritmos genéticos;
- Códigos *opensource* disponíveis na internet;
- Familiaridade dos membros do laboratório com essas técnicas.

Em especial, adotou-se como referência o método adotado por [22].

Em agosto de 2019, os primeiros resultados do projeto de otimização desenvolvido pela UFES foram apresentados no III Simpósio de Engenharia Ferroviária na Unicamp, com o título “Análise e otimização de perfis de roda e trilho ferroviários”, disponível em <https://www.simpósio-ferroviario.com.br/apresentacoes>.

A Figura 1, a seguir, mostra o mapa conceitual adotado, no qual cada parâmetro de entrada, saída e restrição do sistema é relacionado.

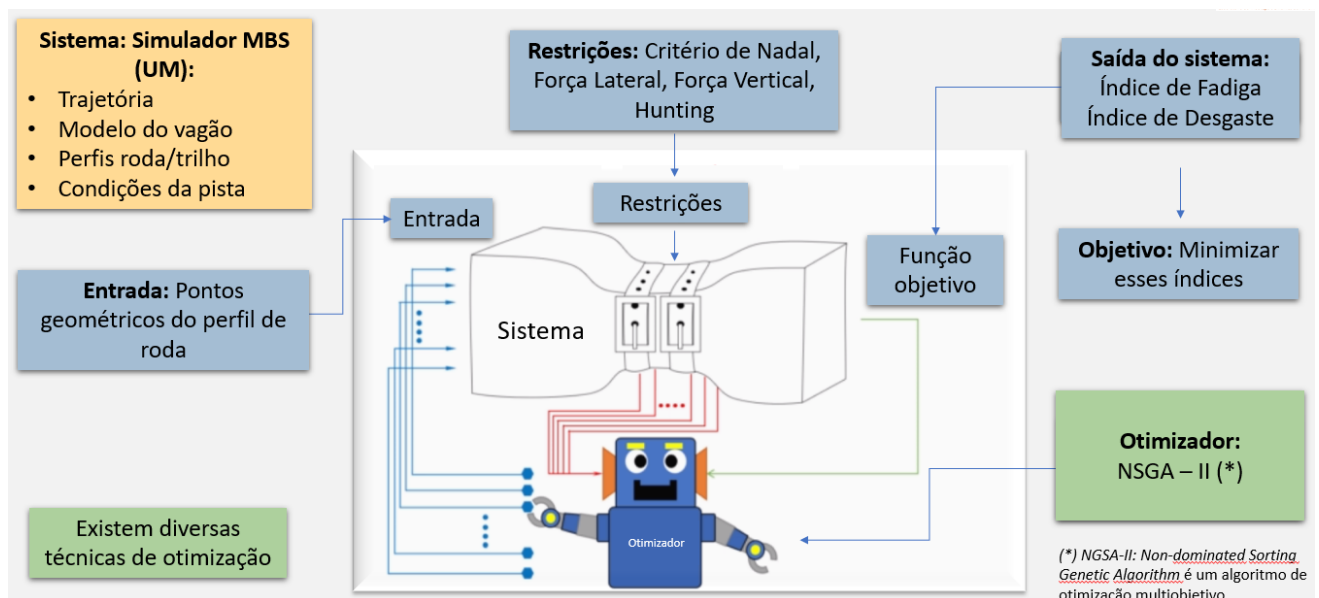


Figura 1 – Mapa conceitual do processo de otimização

A Figura 2 apresenta potencial dos resultados obtidos até julho de 2019. Nesta Figura, à esquerda, estão mostrados o perfil padrão AAR-1:20(1A) novo (linha azul), desgastado após 400 mil km (linha laranja) e o perfil novo (em amarelo) deslocado verticalmente para cima indicando a profundidade de corte necessária no

torneamento da roda. No lado direito da Figura 2, a mesma simulação de desgaste e reperfilamento foi realizada para o perfil desenvolvido pela UFES dentro do projeto de otimização.

Nota-se claramente a diferença na quantidade de área removida entre os dois perfis de rodas, o que indica um ganho substancial em termos de vida de roda.

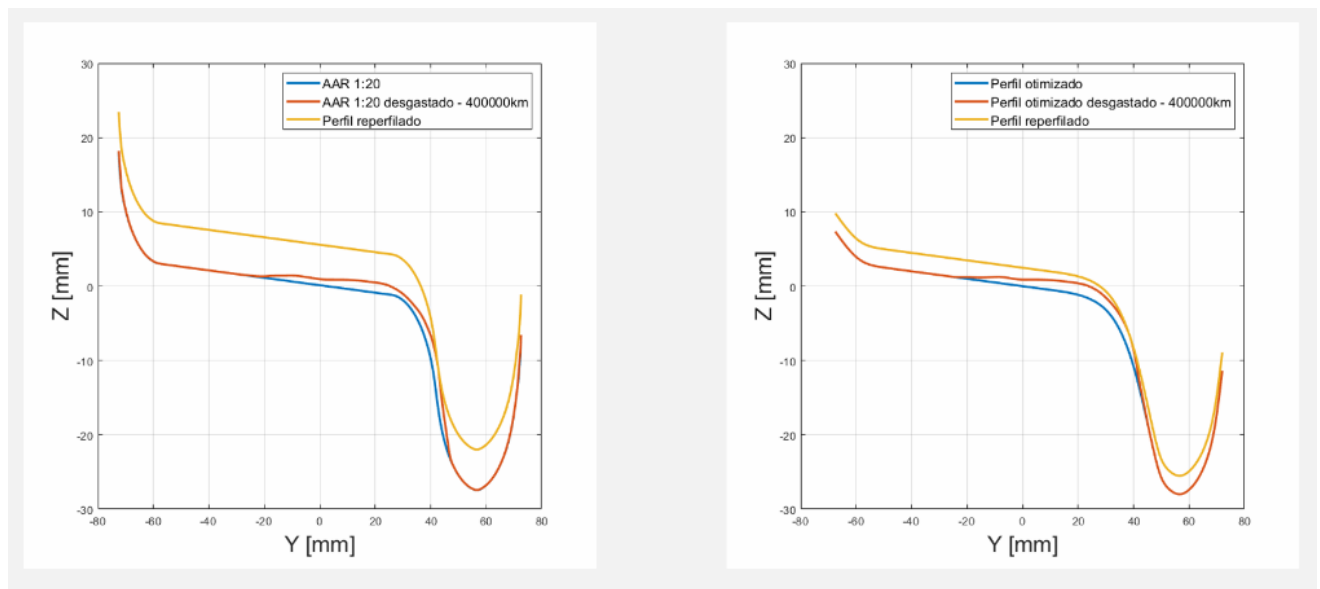


Figura 2 – Comparativo dos perfis de roda otimizado e padrão AAR-1:20(1A)

Entretanto, os resultados alcançados anteriormente demonstram a eficiência do processo de otimização com relação ao desgaste ao longo do tempo, uma análise da vida em fadiga das rodas ainda precisa ser aprofundada, pois a utilização apenas do índice de fadiga na fase de projeto do perfil pode ser insuficiente para garantir que o não aparecimento de fadiga à medida que o perfil projetado se desgasta.

A fadiga que ocorre devido ao contato de rolamento é um fenômeno complexo que envolve, não apenas a utilização de modelos já desenvolvidos (Costa, 2018), mas também as características de cada caso em particular. Assim, na fase de proposta de “Análise da vida em fadiga de rodas ferroviárias com perfis desgastados”, será empregado o método de elementos finitos (Figura 3) em um modelo numérico 3D para analisar o contato de rolamento entre rodas e trilhos ferroviários, com perfis desgastados. Com as tensões calculadas nessa região, o estudo pretende estimar a vida em fadiga até o surgimento da trinca, pois quando tais trincas se propagam dão origem ao problema de escamação superficial, que é um dos tipos de falhas de importância econômica significativa para as ferrovias.

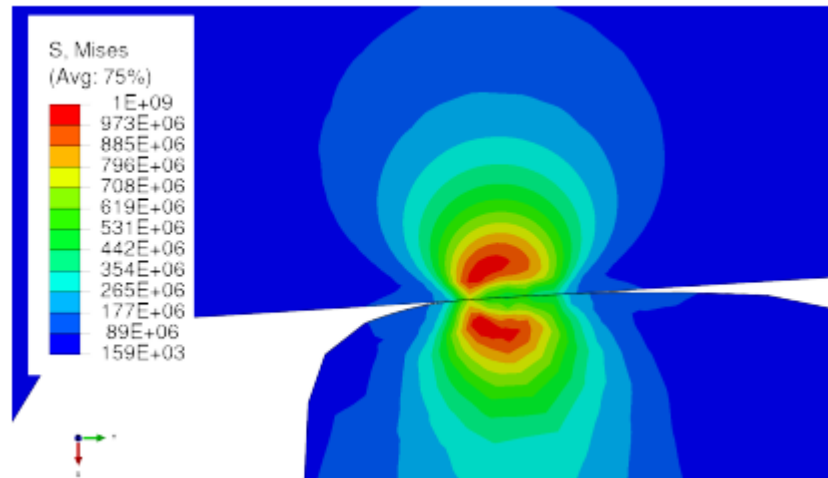


Figura 3 – Distribuição de tensão de Von Mises (Pa) na região de contato do modelo rodadrilho após o contato elástico (Fonte: Lima, 2018)

O modelo terá como principal contribuição à abordagem elastoplástica adicionando as tensões residuais provenientes do processo de tratamento térmico de rodas ferroviárias. A vida em fadiga da roda até o surgimento da trinca será determinada por meio do critério de fadiga de alto ciclo de Dang Van-modificado (Costa, 2018).

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.
- (X) **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

O projeto tem por objeto o aprimoramento das técnicas de otimização multiobjetivo em perfis de rodas com a inclusão de fadiga. Inclui-se também a integração com os demais projetos da Cátedra Roda Trilho e de Vagões, conforme mostrado no fluxograma anexado.

8.2 Específicos

- Aprimorar o processo de otimização do perfil de roda de modo a considerar a região da pista da roda;
- Analisar da vida em fadiga de rodas ferroviárias com perfis desgastados;
- Aplicar técnicas de otimização multi-objetivo na análise dos perfis de rodas em conjunto com perfis de trilho;
- Implementar e acompanhar teste de campo para avaliação do desempenho dos perfis de rodas otimizados já desenvolvido pelo projeto anterior dentro da Cátedra;
- Acompanhar o processo de esmerilhamento dos trilhos na EFVM buscando sugerir ações com base nos resultados do processo de otimização e *Pummeling*.

9. Metodologia de Pesquisa

As atividades a serem desenvolvidas seguirão a seguinte metodologia;

- a) Revisão bibliográfica: otimização multi-objetivo e fadiga multiaxial;
- b) Otimização dos perfis de rodas incluindo a pista do perfil;
- c) Análise de fadiga de contato de rolamento (RCF) dos perfis;
- d) Definição do procedimento da experiência de campo para teste dos novos perfis
- e) Acompanhamento da implementação e dos resultados do teste de campo com perfis otimizados
- f) Acompanhamento e avaliação dos processos de esmerilhamento preventivo, conforme fluxograma.
- g) Descrição dos Resultados e Discussão. Nessa etapa serão sistematizados e discutidos os resultados obtidos, de forma a analisar e discutir o desempenho atual e embasar a futura decisão sobre o uso ou não da tecnologia proposta em vagões ferroviários da VALE.
- h) Divulgação dos resultados, através da apresentação da tese, de trabalhos técnicos e científicos e do relatório final do projeto de pesquisa

10. Resultados Esperados

São os seguintes resultados esperados:

- Desenvolvimento de novos perfis de rodas considerando a otimização da pista de rolamento da EFVM e análise de fadiga aprofundada, incluindo perfis desgastados.

- A avaliação da efetividade real dos ganhos esperados com os novos perfis otimizados a partir dos resultados dos testes de campo;
- O acompanhamento e avaliação da qualidade do sistema de esmerilhamento preventivo praticado pela Vale.
- A formação de competência nacional no estudo de assuntos ligados aos processos de gerenciamento e otimização dos perfis de rodas e trilhos, através do desenvolvimento de uma parceria empresa-universidade para a concepção e execução de um projeto de P&D.
- Desenvolvimento de um projeto em conjunto com a cátedra roda e trilho e que possua sinergia com a pesquisas proposta e que receba contribuições de todos os parceiros integrantes da cátedra.
- A transferência do conhecimento entre a VALE e a UFES para a especialização do pessoal técnico de ambas as instituições.

11. Grau de inovação do projeto (quando aplicável)

- Novo para o Mundo
- Novo para Indústria Mineral
- Novo para a Vale
- Nenhuma novidade

11.1 Justificativa do grau de inovação (quando aplicável)

Existem formas de avaliar os efeitos da adoção de alterações de projeto sobre a dinâmica ferroviária, mas para a aplicação específica para novos perfis de rodas e trilhos da VALE essa avaliação é feita com a utilização de programas proprietários em códigos fechados (Nucars® e Vimpire®). O mesmo ocorre para a avaliação das relações entre os esforços calculados e o desempenho e vida dos componentes mecânicos afetados. Esse projeto permitirá adquirir e acumular conhecimento em instituição e empresa nacional, que poderá embasar o desenvolvimento de futuras aplicações inovadoras e maior flexibilidade destas

Os resultados obtidos nas fases de otimização do perfil de roda apontam para um bom caminho no que tange à diminuição da fadiga e desgaste do perfil atualmente utilizado pela VALE. Os resultados iniciais foram apresentados no III Simpósio de Engenharia Ferroviária na Unicamp, com o título “Análise e otimização de perfis de roda e trilho ferroviários – Guilherme dos Santos” (<https://www.simpósio-ferroviario.com.br/apresentacoes>). Em resumo, com apenas a otimização da região do flange, foram obtidos os seguintes resultados:

- Melhorou-se o índice de desgaste e fadiga da roda;
- Para a roda desgastada em serviço, a quantidade de material que seria removido durante reperfilamento é menor, devido ao menor desgaste no flange.

Portanto, os resultados das simulações computacionais realizadas indicam uma redução do desgaste na roda e comprovam que a metodologia desenvolvida pode ser utilizada para otimizar perfis de roda com resultados promissores. Com a continuidade do projeto, será acrescentada análise de fadiga e a otimização dos perfis, em particular a pista de rolamento. Ademais, é proposto também planejar e implementar uma experiência com os perfis já obtidos para análise dos resultados em campo. Um acompanhamento do processo de esmerilhamento preventivo deverá ser realizado de maneira integrativa com outros projetos da Cátedra, conforme mostrado no Fluxograma mostrado no anexo deste documento.

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

12.1 Descrever patentes preexistentes de titularidade da instituição (quando aplicável / a serem utilizadas no projeto)

Espaço para preenchimento. Incluir número e título da patente

13. Acesso à Vale

Caso seu projeto necessite acesso às instalações da Vale, informe aqui.

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

O maior risco do projeto é falta de continuidade do projeto pelas partes envolvidas. Não se prevê atividades necessárias nas instalações da Vale que colocarão em risco pessoas e ativos.

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

Aumentar a vida de roda e trilho aumenta-se também a disponibilidade física dos ativos possibilitando uma maior eficiência operacional e produtividade.

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

O custo de manutenção de rodas e trilhos é elevado, um dos maiores custos da Unidade de Negócio (Ferrovia). Aumentar a vida da roda e do trilho representa diretamente em alta redução de custeio e aumento de disponibilidade física dos ativos.

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

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

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

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Eficiência Energética<input type="checkbox"/> Tratamento de resíduos<input type="checkbox"/> Reuso de água<input type="checkbox"/> Redução de emissões<input type="checkbox"/> Preservação e recuperação<input type="checkbox"/> Outra implicação. Qual? |
|---|

15.4 Implicações sociais (quando aplicável)

Qual é o potencial de impacto de seu projeto nas condições que proporcionem o desenvolvimento da comunidade e melhoria da qualidade de vida de pessoas impactadas pela Indústria da Mineração ou por outra empresa de sua cadeia produtiva? Justifique

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

No caso de impacto positivo:

- Geração de emprego e renda
- Desenvolvimento territorial
- Agricultura familiar
- Infraestrutura (saneamento, mobilidade, etc.)
- Educação
- Saúde
- Outra implicação. Qual?

15.5 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

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	Revisão bibliográfica: otimização multi-objetivo e fadiga multiaxial;	0	06
2	Otimização dos perfis de rodas incluindo a pista do perfil;	03	20
3	Análise da vida em fadiga de rodas ferroviárias com perfis desgastados;	03	24
4	Definição do procedimento da experiência de campo para teste dos novos perfis	0	04
5	Acompanhamento da implementação e dos resultados do teste de campo com perfis otimizados	04	06
6	Acompanhamento e avaliação dos processos de esmerilhamento preventivo, conforme fluxograma.	06	26

7	Descrição dos Resultados e Discussão. Nessa etapa serão sistematizados e discutidos os resultados obtidos, de forma a analisar e discutir o desempenho atual e embasar a futura decisão sobre o uso ou não da tecnologia proposta em vagões ferroviários da VALE.	24	30
8	Divulgação dos resultados, através da apresentação da tese, de trabalhos técnicos e científicos e do relatório final do projeto de pesquisa	24	30

17. Produtos e Entregas

#	Produto	Descrição	Mês de Entrega	Responsável
01	Relatório técnico 1	Revisão Bibliográfica e Relatório técnico com a definição do procedimento da experiência de campo para teste dos novos perfis	Mês 07	UFES
02	Relatório financeiro 1	Prestações de contas financeiras parciais do projeto	Mês 09	FEST
03	Relatório técnico 2	Relatório técnico sobre Otimização dos perfis de rodas incluindo a pista do perfil	Mês 21	UFES
03	Relatório financeiro 2	Prestações de contas financeiras parciais do projeto	Mês 21	FEST
04	Relatório Técnico 3	Relatório Técnico Conjunto Final do Projeto	Mês 30	UFES
05	Relatório financeiro 3	Prestações de contas financeiras FINAIS do projeto	Mês 30	FEST

18. Referências Bibliográficas da Pesquisa

- Li, M. X. D., Berggren, E. G., "Assessment of Vertical Track Geometry Quality Based on Simulations of Dynamic Track-Vehicle Interaction" IHHA Specialist Technical Session, Kiruna, Suécia, 2007
- English, G. W., Moynihan, T. W., "Performance Measures from Track Geometry Cars: Evaluation of LVSafe©'s Derailment-Risk Targeting", TranSys Research Ltd Report, Kingston, Canadá, 2008
- Xia, F., Cole, C., Wolfs, P., "Wheel Rail Contact Forces Prediction and Validation With Field Tests" CORE – Conference on Railway Engineering, Peth, Austrália, 2008.
- (*), "Performance-based Track Geometry (PBTG) Inspection Technology" Relatório de pesquisa TTCl, 2005
- Dukkipati, R. V. Vehicle Dynamics. CRC Press, Boca Raton, 2000, 591 p.
- Garg, V. K., Dukkipati, R. V. Dynamics of Railway Vehicle Systems, Academic Press, Canada, 407 p., 1984
- COSTA, Thairon Reis. Estudo da vida em fadiga de trilhos ferroviários sob solicitações de rolamento aleatórias. 2018. 1 recurso online (92 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP.
- LIMA, Eduardo de Abreu. Modelo numérico elastoplástico de rolamento para obtenção da vida em fadiga de rodas ferroviárias. 2018. 1 recurso online (117 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP

- P. Wang, L. Gao, T. Xin, X. Cai and H. Xiao, "Study on the numerical optimization of rail profiles for heavy haul railways," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 231, 3 2016.
- I. Y. Shevtsov, V. L. Markine and C. Esveld, "Optimal design of wheel profile for railway vehicles," *Wear*, vol. 258, pp. 10-13, 1 2003.
- I. Y. Shevtsov, V. L. Markine and C. Esveld, "Design of railway wheel profile taking into account rolling contact fatigue and wear," *Wear*, vol. 265, pp. 1273-1282, 10 2008.
- G. Shen, J. B. Ayasse, H. Chollet and I. Pratt, "A unique design method for wheel profiles by considering the contact angle function," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 217, pp. 25-30, 2003.
- G. Shen and X. Zhong, "A design method for wheel profiles according to the rolling radius difference function," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 225, pp. 457-462, 2011.
- J. Santamaria, J. Herreros, E. G. Vadillo and N. Correa, "Design of an optimised wheel profile for rail vehicles operating on two-track gauges," *Vehicle System Dynamics - VEH SYST DYN*, vol. 51, pp. 1-20, 1 2012.
- O. Polach, "Wheel profile design for target conicity and wide tread wear spreading," *Wear*, vol. 271, pp. 195-202, 2011.
- I. Persson, R. Nilsson, U. Bik, M. Lundgren and S. Iwnicki, "Use of a genetic algorithm to improve the rail profile on Stockholm underground," *Vehicle system dynamics*, vol. 48, pp. 89-104, 2010.
- I. Persson and S. Iwnicki, "Optimisation of railway wheel profiles using a genetic algorithm," *Vehicle System Dynamics*, vol. 41, 1 2004.
- M. Novales, A. Orro and M. R. Bugarin, "Use of a genetic algorithm to optimize wheel profile geometry," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 221, pp. 467-476, 2007.
- V. L. Markine, I. Y. Shevtsov and C. Esveld, "An inverse shape design method for railway wheel profiles," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 33, pp. 243-253, 3 2007.
- X. Mao and G. Shen, "An inverse design method for rail grinding profiles," *Vehicle System Dynamics*, vol. 55, pp. 1029-1044, 2017.
- X. Mao and G. Shen, "A design method for rail profiles based on the geometric characteristics of wheel-rail contact," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 232, pp. 1255-1265, 2018.
- Y. Liu and X. Liu, "Railway Wheel Profile Optimization Design Based on Nurbs Curve," *Computer Modeling and Simulation, International Conference on*, vol. 3, pp. 331-335, 1 2010.
- B. Liu, T. X. Mei and S. Bruni, "Design and optimisation of wheel-rail profiles for adhesion improvement," *Vehicle System Dynamics*, vol. 54, 1 2016.
- F. Lin, X. Dong, Y. Wang and C. Ni, "Multiobjective Optimization of CRH3 EMU Wheel Profile," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 7, pp. 284043-284043, 2 2014.
- H. Jahed, B. Farshi, M. A. Eshraghi and A. Nasr, "A numerical optimization technique for design of wheel profiles," *Wear*, vol. 264, pp. 1-10, 2008.

- B. Firlik, T. Staśkiewicz, W. Jaśkowski and L. Wittenbeck, "Optimisation of a tram wheel profile using a biologically inspired algorithm," *Wear*, vol. 430, pp. 12-24, 2019.
- D. Cui, L. Li, X. Jin and X. Li, "Optimal design of wheel profiles based on weighed wheel/rail gap," *Wear*, vol. 271, pp. 218-226, 2011.
- D. Cui, R. Wang, P. Allen, B. An, L. Li and Z. Wen, "Multi-objective optimization of electric multiple unit wheel profile from wheel flange wear viewpoint," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, pp. 1-11, 9 2018.
- H.-Y. Choi, D.-H. Lee, C. Yong Song and J. Lee, "Optimization of rail profile to reduce wear on curved track," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 14, 4 2013.
- H.-Y. Choi, D.-H. Lee and J. Lee, "Optimization of a railway wheel profile to minimize flange wear and surface fatigue," *Wear*, vol. 300, pp. 225-233, 2013.

19. Orçamento Detalhado e Cronograma de Desembolso

Preencha o formulário em excel com detalhamento do orçamento e cronograma de desembolso do projeto.

19.1 Incluir eventuais outras fontes de financiamento para o mesmo projeto (em andamento)

Espaço para preenchimento.

20. Informações Adicionais

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

Item	Quantidade	Local

*Este campo será utilizado para fins de registro.

Candidatos a bolsas de pesquisa que possuem vínculo empregatício

Pesquisador	Entidade	Departamento	Função atual
Guilherme F M dos Santos	Universidade Federal do Espírito Santo	Engenharia Mecânica	Professor

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

Entidade	Valor solicitado	Valor aprovado

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

21. Plano de trabalho dos bolsistas

A descrição dos planos de trabalho das bolsas de pesquisa solicitadas está dividida por instituição e seguem a nomenclatura do CNPq:

UFES:

1) Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento e Extensão Inovadora (DT):

Coordenação geral do projeto. Coordenação da equipe e participação nas atividades de revisão bibliográfica sobre modelagem e simulação, coleta, classificação e análise de dados de campo. Análise de resultados das simulações computacionais e sua comparação com os resultados previstos na literatura. Confecção de relatórios técnicos e de prestação de contas. Organização e participação de palestras aos colaboradores da VALE. Redação e apresentação de trabalhos científicos e tecnológicos.

2) Bolsa de Mestrado (GM):

A ser destinado a um aluno regularmente matriculado no programa de pós graduação em engenharia mecânica da UFES. Os alunos deverão realizar a revisão bibliográfica sobre modelagem e simulação de dinâmica veicular com o objetivo de analisar os esforços no contato roda trilho. Realizar coleta de dados de perfis de trilho e roda típicos utilizados pela Vale. Elaborar procedimento de parametrização e qualificação destes perfis e utilizá-los na análise computacional. Participar de reuniões e palestrar com os colaboradores da Vale e de outros projetos dentro da Cátedra Roda-Trilho.

3) Bolsa de Iniciação Científica (IC):

Auxiliar na confecção de um banco de dados de perfis para sua parametrização Auxiliar, em nível técnico administrativo, na confecção de relatórios e organização de palestras aos colaboradores da VALE.

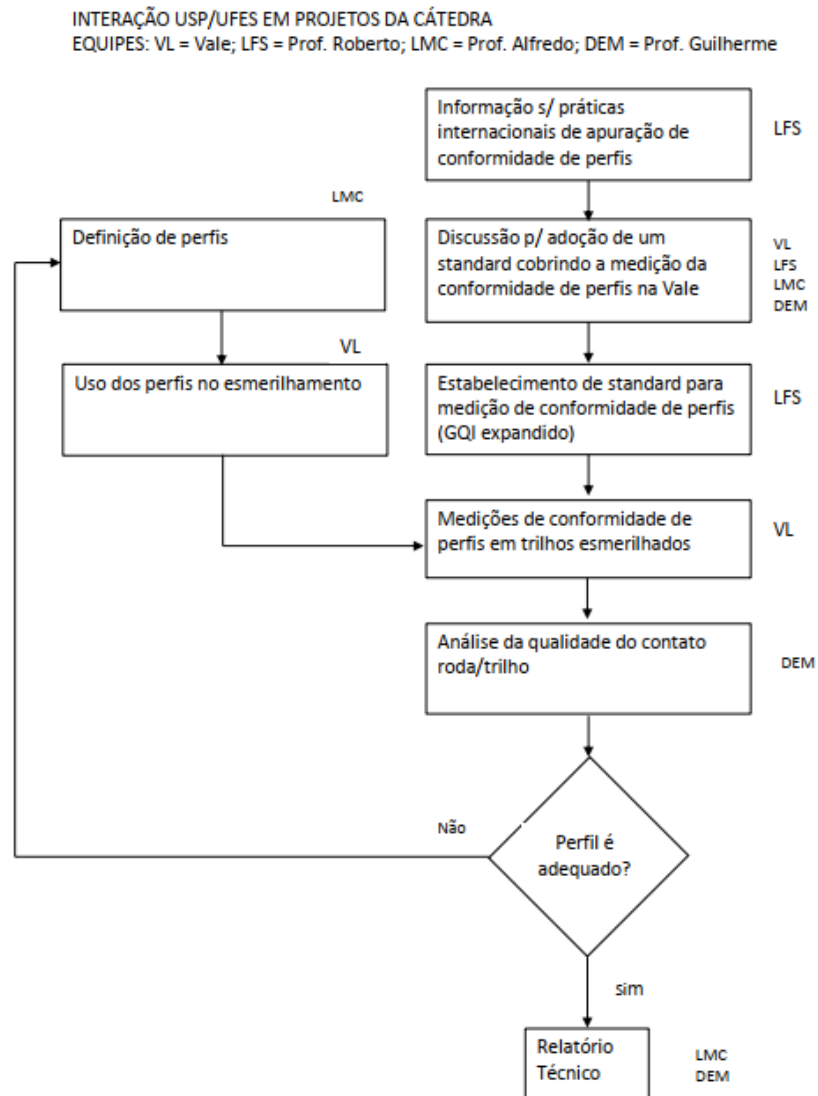
4) Bolsas de Doutorado (GD):

A ser destinado a dois alunos regularmente matriculados um programa de pós graduação em Engenharia Mecânica. Os alunos deverão realizar revisão bibliográfica sobre fadiga em rodas ferroviárias, obtenção da função multiobjetivo incluindo casos com perfis irregulares e contato roda-trilho. Estudo das estratégias de modelagem do contato roda-trilho para obtenção das distribuições de tensão e deformação em casos com perfis irregulares. Organização, comparação e descrição dos diferentes perfis de desgaste de rodas encontrados na VALE. Modelagem do contato roda-trilho com perfis desgastados para obtenção dos históricos de tensão, deformação e funções objetivos para otimização. Desenvolvimento do código para analisar os históricos de tensão e deformação contendo modelos de fadiga multiaxial, contagem estratégica de ciclos e modelos de acúmulo de dano adequados para a análise da vida em fadiga de contato. Desenvolvimento do código para analisar os históricos e classificar os perfis de acordo com os resultados da função objetivo de otimização. Validação dos modelos propostos com dados referentes à vida de rodas ferroviárias (experiência de rodas com perfis previamente otimizados), encontradas pela VAale. Definir e propor novos perfis de rodas. Validação dos modelos propostos com dados referentes à vida de rodas ferroviárias encontradas pela VALE. Relacionar os perfis de desgaste de rodas encontrados na VALE com a propensão à falha por fadiga por meio da aplicação dos modelos propostos. Publicação de resultados em periódicos e meios de divulgação relacionados ao assunto da tese.

22. Anexos

#	Anexo	Descrição
1	Formulário de Orçamento	Formulário detalhado do orçamento da proposta de projeto de P&D
2	Fluxograma de integração	Fluxograma de integração entre projetos da Cátedra

Fluxograma de integração entre os projetos da Cátedra sobre o processo de esmerilhamento e perfis de rodas e trilhos.



23. Assinaturas

Preparado por:

Proponente

Aprovado por:

Edilson Jun Kina



Formulário para detalhamento do orçamento da proposta de projeto de pesquisa e desenvolvimento

Projeto

DADOS DO PROJETO (não abrevie)

Título do Projeto:	Otimização e análise de fadiga de perfis de rodas ferroviárias		
Projeto em Rede ?	Individual	Título da rede (se aplicável)	Cádetra Roda Trilho
Instituição Líder:	Universidade Federal do Espírito Santo		
Coordenador:	Guilherme Fabiano Mendonça dos Santos		
Duração do Projeto (em meses):	30	Data de Início	



Formulário para detalhamento do orçamento da proposta de projeto de pesquisa e desenvolvimento

Parceiro

DADOS DO PARCEIRO (não abrevie)

Instituição:	Universidade Federal do Espírito Santo
Responsável:	Guilherme Fabiano Mendonça dos Santos

ORÇAMENTO DETALHADO - Bolsas de pesquisa

Tipo de Bolsa	Justificativa	Quantidade	Duração (meses)	Custo Unitário	Custo Total	Valor Ano 1	Valor Ano 2	Valor Ano 3	Valor Ano 4	Valor Ano 5	Valor Ano 6
DT	Atividade de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico	1	30	R\$ 2.800,00	R\$ 84.000,00	R\$ 33.600,00	R\$ 33.600,00	R\$ 16.800,00			
GM	Aluno de mestrado para: Simulação dinâmica, análise de fadiga e acompanhamento de validação de campo	1	24	R\$ 2.105,85	R\$ 50.540,40	R\$ 12.635,10	R\$ 25.270,20	R\$ 12.635,10			
IC	Atividade de pesquisa científica (nível graduação)	2	30	R\$ 695,70	R\$ 41.742,00	R\$ 16.696,80	R\$ 16.696,80	R\$ 8.348,40			
TOTAL					R\$ 176.282,40	R\$ 62.931,90	R\$ 75.567,00	R\$ 37.783,50	R\$ -	R\$ -	R\$ -

ORÇAMENTO DETALHADO - Materiais, Serviços e Demais despesas

Item	Descrição	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total	Valor Ano 1	Valor Ano 2	Valor Ano 3	Valor Ano 4	Valor Ano 5	Valor Ano 6	
Serviços de terceiros	Programas computacionais (exemplo: Abaqus, Simpack, MatLab, Minitab e Grapher)	1	R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00						
Participação em congressos	Congressos Nacionais e/ou Internacionais (inscrições). Trata-se de congressos na área de Engenharia Ferroviária, Desgaste/Desenvolvimento de Materiais, Dinâmica e Otimização de Sistemas e Métodos Numéricos Aplicados.	3	R\$ 10.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00				
Material permanente nacional	Computadores: modernização em função de demandas do próprio projeto.	4	R\$ 5.000,00	R\$ 20.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00					
Material permanente nacional	Computador portátil (laptop)	2	R\$ 5.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00						
Obras e edificações civis	Infraestrutura de Laboratório: Obras de adequação de laboratório de pesquisa para uso do projeto (exemplo: bancadas de trabalho)	1	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00						
Viagens	Despesas com viagens (passagens, hospedagem, alimentação, deslocamento) para reuniões técnicas, participação de eventos, participação em congressos naci/int, atividades de medição de campo, acompanhamento de desempenho de perfis de rodas e trilhos.	20	R\$ 6.353,00	R\$ 127.060,00	R\$ 46.220,00	R\$ 46.220,00	R\$ 34.620,00				
TOTAL					R\$ 277.060,00	R\$ 166.220,00	R\$ 66.220,00	R\$ 44.620,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -
TOTAL GERAL (sem taxas)					R\$ 453.342,40	R\$ 229.151,90	R\$ 141.787,00	R\$ 82.403,50	R\$ -	R\$ -	R\$ -

ORÇAMENTO DETALHADO - Taxas

Tipo de Taxa	Justificativa	Percentual Total	Valor Ano 1	Valor Ano 2	Valor Ano 3	Valor Ano 4	Valor Ano 5	Valor Ano 6	
Taxa FEST	taxas administrativas	10%	R\$ 17.915,190	R\$ 13.178,700	R\$ 8.240,350	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
Taxa FEST	taxas material permanente	5%	R\$ 2.500,000	R\$ 500,000	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
Desenvolvimento do Ensino, da Pesquisa e da Extensão	Estatutária	10%	R\$ 28.685,870	R\$ 17.869,620	R\$ 10.418,840	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
Ressarcimento à UFES	Estatutária	3%	R\$ 8.605,760	R\$ 5.360,890	R\$ 3.125,650	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
Valor das taxas por ano			R\$ 57.706,820	R\$ 36.909,210	R\$ 21.784,840	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
TOTAL GERAL DAS TAXAS			R\$ 116.400,870						
Total a ser desembolsado por ano			R\$ 569.743,260	R\$ 286.858,720	R\$ 178.696,210	R\$ 104.188,330	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00



Parceiro - Cronograma de desembolso do projeto

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	TOTAL
1. Bolsa de pesquisa	R\$ 62.931,90	R\$ 75.567,00	R\$ 37.783,50	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 176.282,40
2. Material de consumo	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
3. Material permanente nacional	R\$ 20.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 30.000,00
4. Material permanente importado	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
5. Serviços de terceiros	R\$ 60.000,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 60.000,00
6. Obras e edificações civis	R\$ 30.000,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 30.000,00
7. Viagens	R\$ 46.220,00	R\$ 46.220,00	R\$ 34.620,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 127.060,00
8. Participação em congressos	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 30.000,00
9. Taxas	R\$ 57.706,82	R\$ 36.909,21	R\$ 21.784,84	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 116.400,87
TOTAL GERAL	R\$ 286.858,72	R\$ 178.696,21	R\$ 104.188,34	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 569.743,27

569.743,26