

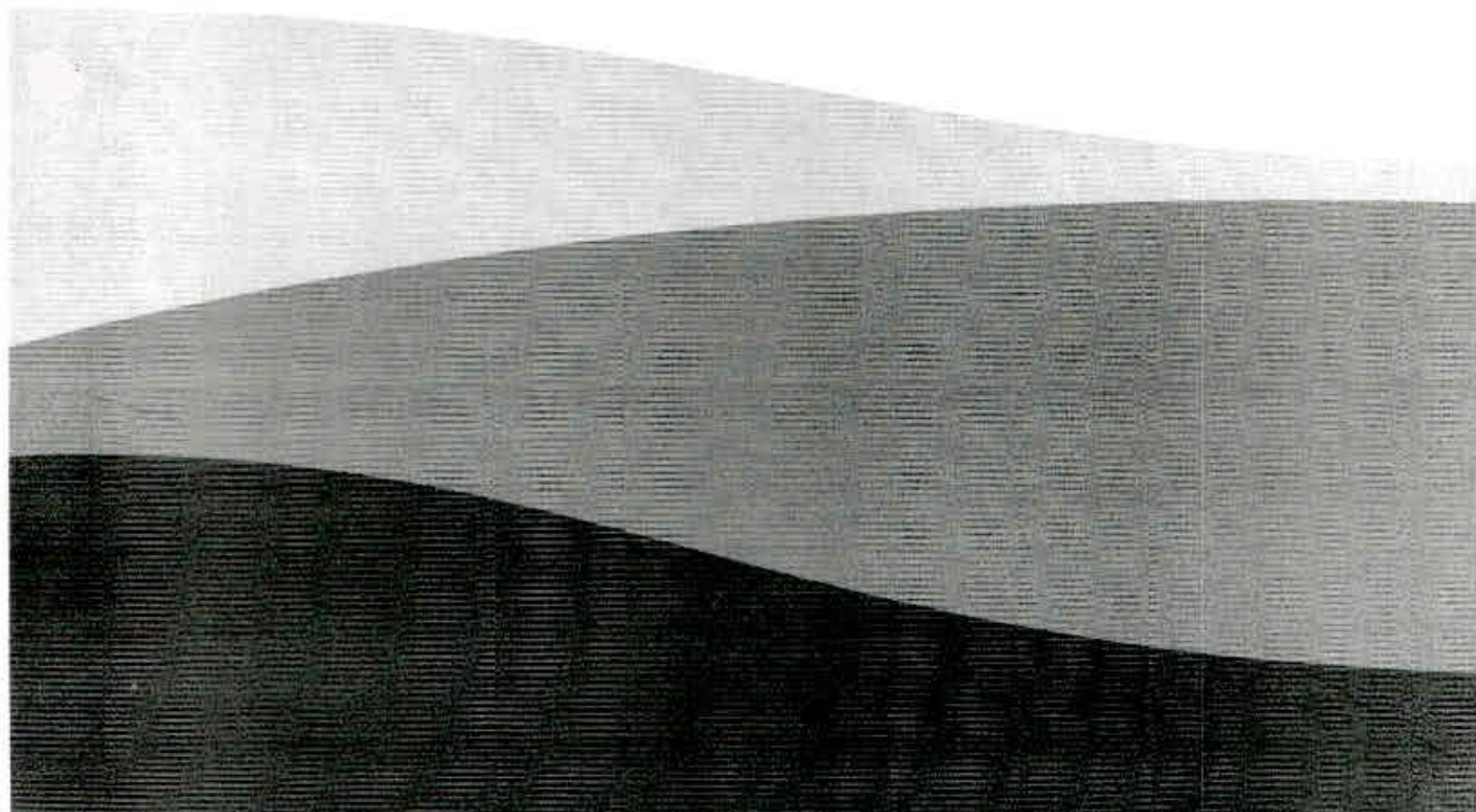


# Análise e definição de critérios de projeto de perfis de roda e trilho considerando a dinâmica veicular

**Guilherme Fabiano**

## FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS

Departamento do Instituto Tecnológico Vale - DITV  
Vitória, 26 de julho de 2016  
Versão 02



## Sumário

1. Dados do Proponente (não abrevie) .....	4
2. Dados da Instituição (não abrevie).....	4
3. Dados do Projeto (não abrevie) .....	4
4. Dados da Vale (quando aplicável) .....	4
5. Pesquisador Líder .....	5
6. Equipe do Projeto.....	5
7. Palavras Chave do Projeto (3 palavras).....	5
8. Resumo do Projeto de Pesquisa (máximo de 1 página).....	5
9. Descrição do Estado da Arte.....	6
9.1 Grau de maturidade da tecnologia a ser desenvolvida .....	6
10. Riscos (projeto, tecnológico, marcos regulatórios, etc.) .....	7
11. Objetivos .....	7
11.1 Geral .....	7
11.2 Específicos .....	7
12. Grau de inovação do projeto.....	7
12.1 Justificativa .....	8
13. Metodologia de Pesquisa.....	8
14. Resultados Esperados .....	9
15. Retorno do projeto (ambiental, social, econômico...).....	9
15.1 Crescimento de Mercado – Foco em vendas (quando aplicável) .....	9
15.2 Redução de Custos – Foco em melhoria de processo (quando aplicável) .....	10
15.3 Implicações ambientais (quando aplicável).....	10



16. Cronograma de Atividades e Marcos.....	11
17. Produtos.....	11
18. Plano de Trabalho para os Candidatos a Bolsa de Pesquisa.....	11
19. Referências Bibliográficas da Pesquisa.....	12
20. Informações Adicionais.....	13
21. Anexos.....	13
22. Assinaturas.....	13



## 1. Dados do Proponente (não abrevie)

<b>Nome do Proponente:</b>	Guilherme Fabiano Mendonça dos Santos
<b>Data de nascimento:</b>	04/09/1977
<b>Sexo (M/F):</b>	Masculino
<b>Nacionalidade:</b>	Brasileira
<b>Naturalidade (cidade):</b>	São Carlos – SP

## 2. Dados da Instituição (não abrevie)

<b>Nome da Instituição:</b>	Universidade Federal do Espírito Santo
<b>Departamento em que atua:</b>	Engenharia Mecânica
<b>Nome da Instituição:</b>	Universidade Federal do Espírito Santo
<b>Cidade:</b>	Vitória
<b>Estado:</b>	Espírito Santo

## 3. Dados do Projeto (não abrevie)

<b>Nome do Projeto:</b>	Análise e definição de critérios de projeto de perfis de roda e trilho considerando a dinâmica veicular		
<b>Linha de Pesquisa*:</b>	Cátedra Roda Trilho		
<b>Duração do Projeto:</b>	30 meses		
Versão	Data	Autor	Alteração
01	26/02/2016	Proponente	
02	26/07/2016	Proponente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição da unidade temporal do item 16;</li> <li>• Acrescentada a emissão de relatórios de prestação de contas no item 17;</li> <li>• Detalhamento das atividades do DT e GM – item 18;</li> <li>• Excluído item detalhamento do orçamento;</li> <li>• Acrescentado nome do aprovador da Vale.</li> </ul>

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

## 4. Dados da Vale (quando aplicável)

<b>Área da Vale envolvida:</b>	Engenharia Ferroviária
<b>Contato:</b>	Edilson Jun Kina



VALE



## 5. Pesquisador Lider

Caso o proponente não seja o líder do projeto, informar:

<b>Nome</b>		
<b>Área de Formação/Especialização</b>		
<b>Telefone</b>	<b>Celular</b>	<b>E-mail</b>
<b>Titulação</b>		<b>Regime de Trabalho</b>
<input type="checkbox"/> Graduado <input type="checkbox"/> Especialista <input type="checkbox"/> Mestre <input type="checkbox"/> Doutor <input type="checkbox"/> Pós-Doutorado		<input type="checkbox"/> Contrato Temporário <input type="checkbox"/> Dedicção Exclusiva <input type="checkbox"/> ___ horas semanais

## 6. Equipe do Projeto

Nome	Titulação	Participação no Projeto e função	Link no Currículo Lattes
Guilherme F.M. dos Santos	Doutor	Coordenador/ pesquisador	<a href="http://lattes.cnpq.br/4995407690243279">http://lattes.cnpq.br/4995407690243279</a>
A definir	Mestrando UFES	Desenvolvimento da dissertação de mestrado	
A definir	Mestrando UFES/VALE	Desenvolvimento da dissertação de mestrado	
A definir	Iniciação Científica - UFES	Desenvolvimento de iniciação científica	

## 7. Palavras Chave do Projeto (3 palavras)

Dinâmica; descarrilamento; roda-trilho.

## 8. Resumo do Projeto de Pesquisa (máximo de 1 página)

O projeto tem por objeto analisar e definir de critérios de projeto de perfis de roda e trilho considerando a dinâmica veicular. A definição de um novo perfil de roda e de trilho deve ser feita analisando-se basicamente 7 critérios: desgaste, tensão de contato, resistência ao rolamento, posição de contato, ângulo de contato, segurança contra descarrilamento (*LV*) e estabilidade dinâmica (*hunting*). Os dois primeiros requisitos já estão sendo cobertos por outros projetos dentro da Cátedra Roda Trilho, portanto, este trabalho visa exatamente endereçar os demais pontos uma vez que estes têm relação direta com a dinâmica veicular.

## 9. 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;

$\alpha$  = ângulo do plano de contato da roda e trilho;

$\mu$  = 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.

### 9.1 Grau de maturidade da tecnologia a ser desenvolvida

( ) **Tecnologia emergente:** o projeto visa o desenvolvimento de novas tecnologias que nunca foram aplicadas industrialmente (nova plataforma tecnológica ou inovação radical).





VALE

DEM-C-1  
L. 80  
Daria

- 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**

## 10. Riscos (projeto, tecnológico, marcos regulatórios, etc.)

O maior risco do projeto é falta de continuidade do projeto pelas partes envolvidas.

## 11. Objetivos

### 11.1 Geral

O projeto tem por objeto analisar e definir de critérios de projeto de perfis de roda e trilho considerando a dinâmica veicular

### 11.2 Específicos

- Criar parametrização para qualificação de perfis de rodas e trilhos;
- Análise dinâmica de segurança dos perfis considerando a segurança operacional (L/V, hunting e ângulo de contato)
- Realizar experimento virtual para análise de sensibilidade dos parâmetros de manutenção sobre o contato roda e trilho

## 12. Grau de inovação do projeto

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

( X ) Nenhuma novidade

## 12.1 Justificativa

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<sup>®</sup> e Vimpire<sup>®</sup>). 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

## 13. Metodologia de Pesquisa

As atividades a serem desenvolvidas seguirão a seguinte metodologia:

- a) *Definição do problema a ser abordado na pesquisa e justificativa.* Tal etapa já está cumprida com a proposta apresentada, uma vez que a aprovação do projeto significará que o tema é relevante e tem importância para a Vale.
- b) *Estudo do estado da arte.* Nesse caso, o estudo será focado nos diversos modelos atualmente empregados para a simulação do comportamento dinâmico dos vagões ferroviários. Tal etapa, por ser crucial para o sucesso dos modelos que serão desenvolvidos ou implementados, dispendirá um tempo significativo do projeto, de forma a que não haja retornos a essa etapa ao longo do desenvolvimento do modelo.
- c) *Planejamento da Abordagem.* Esta etapa permitirá que todos os conhecimentos adquiridos sejam utilizados para refinar a definição das atividades de cada membro da equipe e da forma de coordenação dos trabalhos de desenvolvimento dos modelos. A estratégia permitirá a otimização do tempo da equipe e o foco em prioridades identificadas no item (b).
- d) *Desenvolvimento dos Modelos Dinâmicos.* Como base nos estudos feitos e no planejamento, cada membro da equipe focará em um aspecto do trabalho, sendo que o esforço inicial maior de todos será na modelagem dinâmica.
- e) *Estudo dos requisitos dinâmicos para o projeto dos novos perfis.* Após o desenvolvimento dos programas com o modelo adequado para a análise, será feito o estudo dos efeitos dos novos perfis desenvolvido pelo grupo da Universidade de São Paulo. A UFES estudará os seguintes requisitos: , posição de contato, ângulo de contato, segurança contra descarrilamento ( $L/V$ ) e estabilidade dinâmica (*hunting*)





- f) *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.
- g) *Conclusão.* Finalmente, as conclusões do trabalho permitirão a comparação entre os resultados obtidos e os esperados, descritos nos objetivos do trabalho

## 14. Resultados Esperados

São os seguintes resultados esperados:

- Análise e definição de novos perfis de rodas e trilhos considerando os requisitos da dinâmica veicular;
- Redução dos custos da ferrovia com otimização do planejamento de intervenção de manutenção nos vagões;
- Aumento da segurança operacional (redução risco de descarrilamentos) com a identificação de situações de manutenção críticas;
- Aprimoramento do corpo técnico da Vale com a formação de especialistas em dinâmica veicular;
- Difusão e registro do conhecimento através da publicação de artigos em periódicos e congressos internacionais;
- Consolidação da área;
- Formação de engenheiros com o perfil para atuar no setor ferroviário;
- Atendimento às necessidades da indústria local;

## 15. Retorno do projeto (ambiental, social, econômico...)

### 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  
( X ) 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

## 16. Cronograma de Atividades e Marcos

As atividades descritas abaixo estão em unidades de tempo "meses" contados a partir da assinatura do contrato por as partes envolvidas.

#	Atividade	Início	Término
1	Estabelecimento das premissas básicas da pesquisa	1	3
2	Revisão do Estado da Arte sobre os modelos dinâmicos	3	7
3	Definição das condições de operação dos vagões da VALE	6	8
4	Planejamento da abordagem	8	10
5	Desenvolvimento dos modelos dinâmicos do truque e vagão	10	16
6	Criar parametrização para qualificação de perfis de rodas e trilhos	14	17
7	Análise dinâmica de segurança dos perfis considerando a segurança operacional (L/V, hunting e ângulo de contato)	16	24
8	Realizar experimento virtual para análise de sensibilidade dos parâmetros de manutenção sobre o contato roda e trilho	16	24
9	Desenvolvimento e conclusão das teses, dissertações e ou artigos desenvolvidos	20	26
10	Apresentação e defesa das teses, dissertações e ou artigos desenvolvidos	22	30
11	Conclusão do trabalho, com apresentação do relatório final	24	30

## 17. Produtos

#	Produto	Descrição	Data de Entrega
1	Relatório	Prestação de contas financeira parcial	Mês 09
2	Relatório	Revisão bibliográfica e do estado da arte	Mês 10
3	Relatório	Resultados iniciais da modelagem	Mês 16
4	Relatório	Prestação de contas financeira parcial	Mês 21
5	Relatório	Resultados finais das simulações e dissertação de mestrado	Mês 30
6	Relatório	Prestação de contas financeira final	Mês 30

## 18. Plano de Trabalho para os Candidatos a Bolsa de Pesquisa

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. Confeção 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 utiliza-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.

## **19. 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, Perth, 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

## 20. Informações Adicionais

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

## 21. Anexos

#	Anexo	Descrição

## 22. Assinaturas

Preparado por:

\_\_\_\_\_  
Guilherme Fabiano M. dos Santos

Aprovado por:

\_\_\_\_\_  
Edilson Jun Kina

DEM-CV  
84  
Fabiano



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

Projeto

DADOS DO PROJETO (não abrevie)

Título do Projeto:	Análise e definição de critérios de projeto de perfis de roda e trilho considerando a dinâmica veicular		
Projeto em Rede ?	Rede	Título da rede (se aplicável)	Cadeira Roda Trilho
Instituição Líder:	Universidade Federal do Espírito Santo		
Coordenador:	Guilherme Fabiano Mendonça dos Santos		
Duração do Projeto (em meses):	30	Data de Início	nov/18





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 Fajano Mendonça dos Santos

ORÇAMENTO DETALHADO - Bolsas de pesquisa

Item	Justificativa	Quantidade	Duração (meses)	Custo Unitário	Custo Total	Valor Ano 1	Valor Ano 2	Valor Ano 3	Valor Ano 4	Valor Ano 5
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	Atividade de pesquisa científica	2	24	R\$ 2.005,50	R\$ 96.264,00	R\$ 48.132,00	R\$ 48.132,00			
IC	Atividade de pesquisa científica	1	24	R\$ 643,20	R\$ 15.436,80	R\$ 7.718,40	R\$ 7.718,40			
				R\$						
				R\$						
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 195.700,80</b>	<b>R\$ 89.450,40</b>	<b>R\$ 89.450,40</b>	<b>R\$ 16.800,00</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$</b>

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	
Material permanente nacional	Estação de trabalho computacional	3	R\$ 10.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00					
Material permanente nacional	Laptop de trabalho	1	R\$ 3.500,00	R\$ 3.500,00	R\$ 3.500,00					
Material permanente nacional	Material bibliográfico	1	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00					
Serviços de terceiros	Softwares básicos	3	R\$ 5.000,00	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00					
Viagens e diárias	Passagem Vitória - São Paulo	10	R\$ 1.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00					
Viagens e diárias	Diária São Paulo	50	R\$ 360,00	R\$ 18.000,00	R\$ 18.000,00					
Participação em congressos	Congresso Nacional	4	R\$ 2.500,00	R\$ 10.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00				
Participação em congressos	Congresso Internacional	2	R\$ 5.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00					
			R\$	R\$						
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 112.360,00</b>	<b>R\$ 97.360,00</b>	<b>R\$ 15.000,00</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$</b>	
<b>TOTAL GERAL (sem taxas)</b>					<b>R\$ 308.060,80</b>	<b>R\$ 186.810,40</b>	<b>R\$ 104.450,40</b>	<b>R\$ 16.800,00</b>	<b>R\$</b>	<b>R\$</b>

ORÇAMENTO DETALHADO - Taxas

DENE  
85  
Daria



## Parceiro - Cronograma de desembolso do projeto

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	TOTAL
1. Bolsa de pesquisa	R\$ 89.450,40	R\$ 89.450,40	R\$ 16.800,00	R\$ -	R\$ -	R\$ 195.700,80
2. Material de consumo	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
3. Material permanente nacional	R\$ 38.500,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.500,00
4. Material permanente importado	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
5. Serviços de terceiros	R\$ 15.000,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 15.000,00
6. Obras e edificações civis	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
7. Viagens	R\$ 28.880,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 28.880,00
8. Participação em congressos	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 30.000,00
9. Taxas	R\$ 43.224,54	R\$ 25.381,45	R\$ 4.082,40	R\$ -	R\$ -	R\$ 72.688,38
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>R\$ 230.054,94</b>	<b>R\$ 129.831,85</b>	<b>R\$ 20.882,40</b>	<b>R\$ -</b>	<b>R\$ -</b>	<b>R\$ 380.769,18</b>

DEN-CP  
*[Assinatura]*