

**2º TERMO ADITIVO AO ACORDO DE
COOPERAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA
FIRMADO ENTRE VALE S.A., A UFES E A FEST**

Pelo presente instrumento de um lado a **VALE S.A.**, sociedade sediada na Praia de Botafogo nº 186, Rio de Janeiro – RJ, CEP 22.250-145, inscrita no CNPJ/MF sob o nº 33.592.510/0001-54, adiante denominada **VALE**, aqui representada por seus representantes legais infra assinados, e, de outro lado, a **UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**, com sede administrativa na Av. Fernando Ferrari, nº 514, Bairro Goiabeiras, Vitória / ES, inscrita no CNPJ sob o nº 32.479.123/0001-43, neste ato representada por seu Reitor, Prof. Reinaldo Centoducatte, casado, portador do RG nº 244.493 – SSP/ES, CPF nº 616.006.107-06, adiante denominada **UFES**, e com interveniência da **FUNDAÇÃO ESPÍRITO-SANTENSE DE TECNOLOGIA – FEST**, CNPJ: 02.980.103/0001-90, com sede na Av. Fernando Ferrari, 845 – Campus Universitário – Goiabeiras Vitória – ES – 29.061-973, neste ato representada por Getúlio Apolinário Ferreira, inscrito no CPF: 169.230.306-68, adiante denominada **FUNDAÇÃO**, individualmente denominadas “Parte” e em conjunto “Partes”,

CONSIDERANDO que, em **09 de agosto de 2016**, as Partes celebraram o Acordo de Cooperação Científica e Tecnológica, doravante denominado “Acordo”, para execução do Projeto de Pesquisa: “**Mecânica do contato: elaboração de diagrama shakedown e sua aplicação para o par roda-trilho**”, integrante da Cátedra de Pesquisa Contato Roda-Trilho;

CONSIDERANDO que as Partes mantêm a relação jurídica em condições de pleno equilíbrio e celebraram em 09/08/2018 o 1º. Termo Aditivo ao Acordo;

CONSIDERANDO o interesse das Partes em alterar o valor do Acordo.

Resolvem celebrar o presente 2º Termo Aditivo ao Acordo (“Termo Aditivo”), de acordo com as seguintes cláusulas e condições:

CLÁUSULA PRIMEIRA – DO OBJETO

1.1. O presente Termo Aditivo tem como objeto a alteração do valor total do Acordo.

CLÁUSULA SEGUNDA – DAS ALTERAÇÕES

2.1. Em consequência do disposto na cláusula 1.1 acima, a Cláusula Terceira do Acordo passará a vigorar com a seguinte redação:

CLÁUSULA TERCEIRA: DOS RECURSOS FINANCEIROS

3.1 O valor total a ser desembolsado pela **VALE** à **FUNDAÇÃO** para execução do Projeto pela **UFES** é de **R\$ 413.452,72 (quatrocentos e treze mil, quatrocentos e cinquenta e dois reais e setenta e dois centavos)**. A **FUNDAÇÃO** deverá abrir conta bancária específica para o Projeto.

3.1.1 Os valores constantes da presente Cláusula já incluem as taxas administrativas da **FUNDAÇÃO** e os custos diretos e indiretos referentes à execução do Projeto, incluindo-se os encargos sociais.

3.1.2 A alteração de rubricas de despesas dependerá da prévia e expressa anuência da **VALE**, que poderá, ou não autorizar conforme seus critérios internos de financiamento de pesquisa, sem necessidade de Termo Aditivo, salvo na hipótese de alteração do valor do presente instrumento.

3.2 O valor será desembolsado em 03 (três) parcelas, conforme previsto no Cronograma de Desembolso constante do Anexo II.

3.3 As parcelas serão desembolsadas pela **VALE** até o 45o (quadragésimo quinto) dia após o recebimento pela **VALE** da documentação hábil de cobrança, conforme indicação pela **VALE**.

3.3.1 Os pagamentos das segunda e terceira parcelas estarão condicionados às entregas e execução das atividades constantes do Anexo II, itens 15 e 16, previstas para o período, bem como da entrega pela **FUNDAÇÃO** à **VALE** e aprovação pela **VALE** da prestação de contas parcial prevista para o período, no item 16.

3.3.2 A não entrega pelas Partes responsáveis e/ou a não aprovação pela **VALE** dos relatórios e demais entregas definidas nos itens 15 e 16 do Anexo II, incluindo-se as prestações de contas, poderão ensejar a suspensão dos pagamentos pela **VALE**.

3.3.3 As hipóteses de suspensão de pagamento de que tratam os itens acima não estão sujeitas a qualquer correção ou incidência de encargos de mora durante o período em que a(s) obrigação(ões) que originou(aram) a suspensão permanecer(em) pendente(s) de regularização.

3.4 Na hipótese de saldo igual, ou superior a 31% (trinta e um por cento) do total já repassado pela **VALE**, oriundo de quaisquer das parcelas anteriores, a **VALE** poderá abater do valor da parcela subsequente o saldo indicado no Relatório Físico Financeiro/Prestação de Contas Parcial. O repasse futuro do valor abatido, pela **VALE**, dependerá de apresentação, pelo pesquisador líder, de orçamento que justifique seu repasse, ou de manifestação que indique a sua necessidade, bem como da disponibilidade de orçamento para o período solicitado.

3.5 Eventuais rendimentos financeiros oriundos da aplicação, no mercado financeiro, por força de lei, dos recursos repassados pela **VALE** deverão ser utilizados diretamente e exclusivamente no Projeto, ficando desde já estabelecido que a utilização dos rendimentos deverá ser previamente aprovada pela **VALE**.

3.6 A **FUNDAÇÃO** deverá manter registros claros e acessíveis acerca da utilização dos recursos para eventuais consultas solicitadas pela **VALE**. A **VALE** poderá auditar os registros, desde que previamente comunicado, com antecedência mínima de 05 (cinco) dias.

3.7 Em havendo saldo oriundo da não utilização dos recursos e seus rendimentos, a **VALE** poderá solicitar a sua devolução.

3.8 A **FUNDAÇÃO** deverá apresentar à **VALE** Prestação de Contas final em até 30 (trinta) dias a contar do encerramento do Projeto, acompanhada de cópia dos comprovantes de despesas.

3.9 Se por ocasião da avaliação das prestações de contas parcial ou final for identificado pela **VALE** o uso indevido dos recursos, a **VALE** poderá solicitar a imediata devolução do valor.

3.10 Todas as prestações de contas deverão estar assinadas pelo responsável por seu conteúdo na **FUNDAÇÃO** e/ou na **UFES** e deverão estar acompanhadas de cópia dos comprovantes de despesas. O uso dos rendimentos financeiros também deverá integrar as prestações de contas, com os devidos comprovantes de despesas.

CLÁUSULA TERCEIRA – DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

3.1. As Partes, através do presente Termo Aditivo, dão a mais plena, geral, rasa e irrevogável quitação, para todos os fins de direito, por todos os fatos passados até a presente data, ratificando todos os atos praticados e nada mais tendo a reivindicar, em juízo ou fora dele, a qualquer título, em relação às obrigações contratuais até aqui já executadas.

3.1.1 A quitação outorgada no item 3.1 acima não se aplica às garantias legais e/ou contratuais, bem como as demais responsabilidades das Partes que, por sua natureza tenham caráter perene ou prazo prescricional ainda não decorrido, especialmente as relativas à responsabilidade civil perante terceiros, encargos trabalhistas e previdenciários, obrigações fiscais, direitos de propriedade intelectual e obrigação de confidencialidade, bem como a qualquer pleito futuro baseado em fatos desconhecidos pela outra Parte na data do presente Termo Aditivo

3.2. Permanecem inalteradas e ratificadas todas as demais Cláusulas do Acordo, naquilo em que não conflitarem com o teor deste instrumento.

3.3. Fica alterado o Anexo II (PROJETO) do ACORDO pelos anexos do presente aditivo, a saber: formulário de propostas e planilha de orçamento, ambos devidamente rubricados pelas Partes.

E, por estarem assim justas e contratadas, as Partes assinam o presente Termo Aditivo, em 3 (três) vias de igual teor e forma, para um só efeito, na presença das testemunhas abaixo.

Espírito Santo, 29 de MARÇO de 2019

VALE S.A.

Nome:

VALE S.A.

Nome:

UFES

Nome:

Reinaldo Centoducatte
Reitor
Universidade Federal de Espírito Santo

FEST

Nome:

Fundação Espírito-santense de Tecnologia
Getúlio Apolinário Ferreira
Superintendente

Testemunhas:



Edilson

Nome: EDILSON JUN KINA
CPF:

F

Nome: ANDRÉ STANZANI FRANCA
CPF: MAT. 01100370

000360

ANDRÉ STANZANI FRANCA
ENGENHEIRO
MAT. 01100370

[Signature]

[Signatures]



Mecânica do contato: elaboração de diagrama shakedown e sua aplicação para o par roda-trilho

Cherlio Scandian

FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS



Handwritten signatures and initials: [Signature], [Signature], [Signature], [Signature], [Signature]



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).....	5
5. Equipe do Projeto	5
6. Palavras Chave do Projeto (3 palavras).....	5
7. Resumo do Projeto de Pesquisa (máximo de 1 página)	5
8. Descrição do Estado da Arte	7
8.1 Grau de maturidade da tecnologia a ser desenvolvida.....	12
9. Riscos (projeto, tecnológico, marcos regulatórios, etc.).....	12
10. Considerações Regulatórias.....	12
11. Objetivos.....	13
11.1 Gerais	13
11.2 Específicos	13
12. Grau de inovação do projeto	14
12.1 Justificativa	14
13. Justificativa de Interesse	14
14. Metodologia de Pesquisa	14
15. Metas	16
16. Resultados Esperados.....	16
17. Retorno do projeto (ambiental, social, econômico...)	17








18. Cronograma de Atividades e Marcos 17

19. Produtos 18

20. Plano de Trabalho para os Candidatos a Bolsa de Pesquisa 19

21. Referências Bibliográficas da Pesquisa 20

22. Orçamento Sumarizado..... 21

23. Informações Adicionais..... 23

24. Anexos 24

25. Assinaturas 24

Handwritten signatures and stamps:

- Top signature: *[Handwritten signature]*
- Middle left: *Gold P*
- Middle right: *HCh*
- Bottom center: *[Circular stamp with illegible text]*
- Bottom right: *[Handwritten signature]*

1. Identificação

1.1 Dados do Proponente

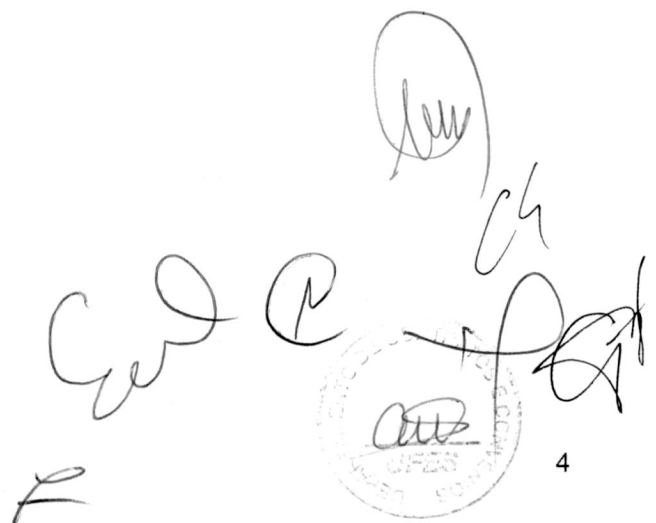
Instituição:	Universidade Federal do Espírito Santo
Nome do Pesquisador:	Cherlio Scandian
CPF:	967.673.087- 49
Nacionalidade:	Brasileira
Titulação:	() Graduado () Especialista () Mestre () Doutor (x) Pós-Doutorado
Telefone:	27 3335-2155
Celular:	27 9 8182-2525
E-mail:	cherlio@hotmail.com; cherlio@pq.cnpq.br
Departamento/ Unidade:	Departamento de Engenharia Mecânica – DEM / CT
Área de Formação/ Especialização:	Engenharia Metalúrgica e de Materiais
Endereço:	Rua Itaquari 300, B804, Itapuã
Cidade:	Vila Velha
Estado:	Espírito Santo
CEP:	29101-902
Pais:	Brasil

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

1.2 Área da Vale (quando aplicável)

Área da Vale envolvida:	
Contato:	
Telefone:	
E-mail:	

Handwritten signatures and stamps:



4



2. Dados do Projeto (não abrevie)

Título do Projeto:	Mecânica do contato: elaboração de diagrama shakedown e sua aplicação para o par roda-trilho		
Duração (em meses):	36		
Projeto em Rede:	<input type="checkbox"/> Individual <input type="checkbox"/> Rede*		
Programa/ Linha de Pesquisa**:			
Tipo de Pesquisa:	<input type="checkbox"/> Pesquisa Básica <input type="checkbox"/> Pesquisa Aplicada <input type="checkbox"/> Desenvolvimento <input type="checkbox"/> Transferência de Tecnologia		
Aplicável a Lei do Bem:	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Versão	Data	Autor	Alteração
01	01/08/2015	Proponente	
02	23/07/2018	Proponente	2º Aditivo (de escopo)

*Projeto relacionado com um ou mais projetos.

2. Equipe do Projeto

Nome	Titulação	Participação no Projeto e função	Link no Currículo Lattes
Cherlio Scandian	Doutor	Coordenador/ pesquisador (estudos tribológicos)	http://lattes.cnpq.br/8466752738430250
Roberto Martins de Souza	Doutor	Pesquisador (mecânica do contato e elementos finitos)	http://lattes.cnpq.br/3595605534544460
Rodrigo Pereira Gonçalves	Doutorando	Desenvolvimnto da dissertação de mestrado	http://lattes.cnpq.br/3783743299112470
Manuelle Curbani Romero	Mestranda	Desenvolvimnto da dissertação de mestrado	http://lattes.cnpq.br/2213541475559069
Maysa Santos Pacheco de Oliveira	Mestranda	Desenvolvimento da dissertação de mestrado	http://lattes.cnpq.br/7829415933440681
Newton Kiyoshi Fukumasu	Doutor	Pesquisador	http://lattes.cnpq.br/4261355673061061

3. Palavras Chave do Projeto (3 palavras)

Shakedown; atrito; roda-trilho.

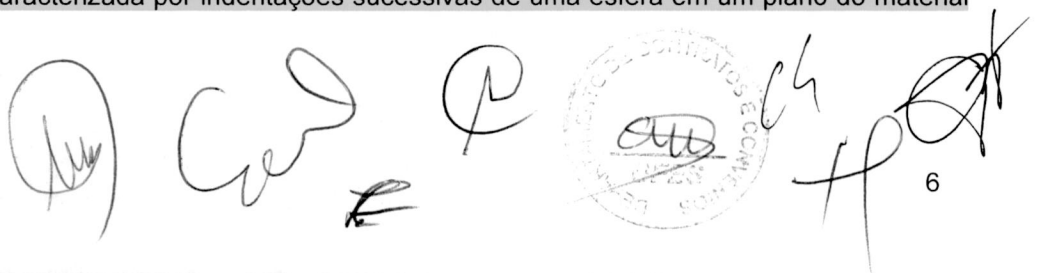
4. Resumo do Projeto de Pesquisa (máximo de 1 página)

O projeto tem por objeto estudar o fenômeno shakedown, oriundo da mecânica do contato, e sua correlação com o atrito possibilitando, assim, à VALE determinar parâmetros operacionais das ferrovias visando o aumento da vida útil dos componentes utilizados no contato roda-trilho. As simulações numéricas, que serão efetuadas para levantamento do diagrama shakedown, serão realizadas inicialmente em equipamentos já instalados em laboratórios das universidades envolvidas no projeto, a saber, UFES (Engenharia mecânica) e USP (Engenharia mecânica). Como resultados do projeto, além da elaboração de uma dissertação de mestrado e uma ferramenta computacional para a geração do diagrama shakedown, esperam-se qualificar colaboradores da VALE, em especial aqueles que participam no projeto Cátedra roda-trilho, no que tange os conceitos do fenômeno shakedown para que possam empregar esse conhecimento na busca de uma operação mais eficiente nas ferrovias.

O projeto intitulado “Mecânica do contato: elaboração de diagrama shakedown e sua aplicação para o par roda-trilho”, que tinha como objetivos iniciais a elaboração de uma dissertação de mestrado e a constituição de um grupo e um projeto de pesquisa. Todos esses objetivos foram alcançados. A dissertação intitulada “Estudo Numérico do Efeito de Propriedades Mecânicas e do Atrito no Fenômeno Shakedown. Estudo de caso: contato esfera-plano submetido a carregamento cíclico” foi defendida pelo aluno Rodrigo Pereira Gonçalves em setembro de 2016 sendo os professores doutores Cherlio Scandian (UFES), Roberto Martins de Souza (USP) e Washington Martins da Silva Junior (UFU) membros da banca examinadora. Além disso, anteriormente à defesa, a pesquisa pôde ser apresentada no Workshop intitulado “Moqueca Tribológica V.03” que ocorreu em setembro de 2015 em Vitória. Posteriormente a defesa, a mesma foi exposta em formato de pôster na “Wear of Materials 2017” que ocorreu na Califórnia (EUA) em março de 2017, além de ter sido apresentada no “I e II Simpósio Ferroviário” em Campinas em maio de 2017 e junho de 2018, respectivamente.

Ao se atingir a meta traçada, foi possível efetuar simulações numéricas correlacionando o fenômeno shakedown e o atrito envolvido no contato roda-trilho, além de produzir palestras sobre o fenômeno e sua aplicação ao contato roda-trilho aos colaboradores da VALE, sendo estas realizadas em Governador Valadares em junho de 2017, São Luís em outubro de 2017, Vitória em dezembro de 2017 e, novamente, em São Luís em maio de 2018.

Os resultados obtidos até agora com o projeto indicam capacidade de reproduzir o fenômeno de shakedown via modelagem por elementos finitos. As análises atuais podem evoluir no sentido de aproximar cada vez mais as simulações às condições encontradas no contato roda-trilho, valendo-se, inclusive, das informações obtidas em outros projetos da Cátedra Roda-Trilho. No momento, o fenômeno está sendo reproduzido em uma situação simplificada, caracterizada por indentações sucessivas de uma esfera em um plano do material em estudo.



6

Sabendo-se que o fenômeno de shakedown foi observado na simulação de indentações sucessivas, entende-se que, em princípio, a realização experimental de ensaios desta natureza tem a capacidade de contribuir com a avaliação do comportamento de materiais de roda e trilho frente ao shakedown. Nesta linha, a metodologia proposta prevê ensaios de indentação sucessiva em materiais (inicialmente) de roda, para posterior comparação com resultados obtidos em outros projetos que avaliam materiais de roda no âmbito da Cátedra. Ou seja, pretende-se verificar se um bom comportamento relativo em indentações sucessivas se reflete em um bom comportamento relativo em outros tipos de testes mecânicos.

Adicionalmente, neste projeto, serão realizadas simulações para analisar a influência do tamanho de trincas superficiais e subsuperficiais no comportamento de materiais submetidos à fadiga de contato. Esse estudo poderá ampliar a visão do comportamento dos materiais submetidos a deformações sucessivas e o possível surgimento de trincas, o que é fundamental para o melhor entendimento do fenômeno shakedown.

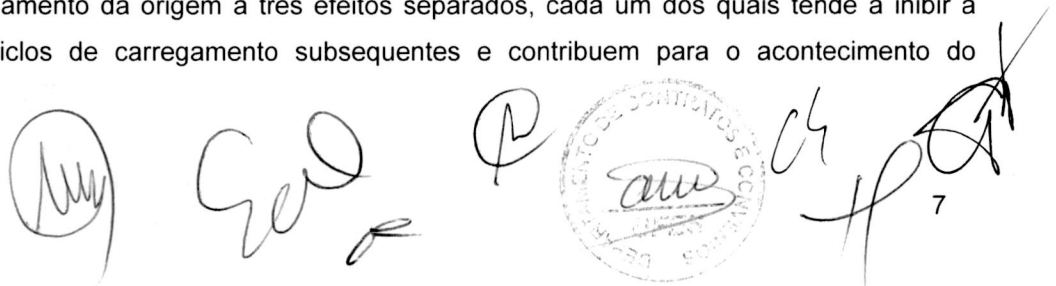
Os experimentos de indentações sucessivas e as simulações contribuirão com a caracterização dos materiais, permitindo cálculo de propriedades mecânicas específicas do fenômeno de shakedown, que poderão ser usadas para alimentar modelos numéricos desenvolvidos no âmbito da cátedra e que necessitam de dados dos materiais, em especial no projeto "Apoio à implantação do esmerilhamento preventivo de trilhos na Estrada de Ferro Vitória a Minas" da USP.

5. Descrição do Estado da Arte

Vias férreas quase que invariavelmente sofrem algum grau de deformação plástica. A deformação é particularmente severa em vias de transporte, onde os trilhos estão submetidos às extremas cargas das rodas. A deformação é conduzida pelas elevadas tensões tangenciais e normais que atuam entre as rodas e os trilhos e é um exemplo de escoamento plástico incremental ou "ratchetting": cada passagem sucessiva de uma roda ao longo da pista provoca um pequeno aumento nas deformações plásticas, que continuam a acumular ao longo de muitos milhares de ciclos, levando no limite, ao esgotamento plástico do material [1].

Uma das formas de mitigar o acúmulo de deformações plásticas no trilho e buscar um aumento de vida útil é através do estudo do fenômeno shakedown. Kapoor e Johnson [2] definem shakedown como o processo pelo qual uma estrutura submetida a um carregamento cíclico, que se deforma plasticamente durante a primeira aplicação de carga, atinge após uma determinada quantidade de ciclos um estado estacionário em que a resposta do material é perfeitamente elástica.

Muitos contatos em rolamento, tais como o contato roda-trilho, mostram evidências de deformação plástica sob a ação de cargas repetitivas e podem sofrer o processo de shakedown. O comportamento real desses contatos é complexo. A primeira passagem de uma carga que exceda o limite elástico do material de um ou de ambos os corpos de rolamento dá origem a três efeitos separados, cada um dos quais tende a inibir a deformação plástica em ciclos de carregamento subsequentes e contribuem para o acontecimento do shakedown [2]:



Handwritten signatures and a circular stamp of the Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- (i) As tensões residuais são introduzidas;
- (ii) O material pode encruar e;
- (iii) A área de contato pode mudar, possibilitando uma redução na pressão de contato.

A máxima carga para que ocorra shakedown é conhecida como "limite shakedown". A aplicação repetitiva de uma carga que exceda esse limite causará repetida deformação plástica no estado estacionário [3].

Em geral, duas abordagens podem ser usadas para obter o limite shakedown. A primeira é numérica, o componente é modelado como uma malha de elementos finitos, e usando um código computacional adequado elástico-plástico, a carga é aplicada para que as tensões internas e as componentes de deformação de cada elemento da malha possam ser determinadas. A carga é então removida, e assim, as deformações e tensões residuais são avaliadas. Na próxima aplicação de carga o efeito dessas tensões residuais é considerado. O processo é então repetido até que um estado estacionário seja alcançado em que as deformações e tensões residuais não tenham mais influência de um ciclo para o próximo, implicando que as condições elásticas foram alcançadas.

A segunda abordagem faz uso dos teoremas shakedown da teoria da plasticidade para obter fronteiras superior e inferior do limite shakedown. Essa abordagem tem a vantagem de ser predominantemente analítica e assim, evidenciar importantes variáveis envolvidas no sistema. Já que ela alcança o estado estacionário de forma direta, utilizando somente tensões elásticas, esta abordagem requer de forma geral um esforço computacional menor.

Os teoremas apropriados para um sólido perfeitamente elástico-plástico, sujeito a cargas repetitivas, foram obtidos por Melan e Koiter:

- (i) O teorema estático, devido à Melan afirma que: Se qualquer campo de tensões residuais invariante no tempo, satisfazendo as condições de equilíbrio, pode ser encontrado de forma que em nenhum momento o limite de escoamento é violado, então shakedown irá ocorrer. Este teorema fornece uma fronteira inferior do limite shakedown [4];
- (ii) O teorema cinemático, devido à Koiter afirma que: Shakedown não ocorrerá se houver um ciclo cinematicamente admissível de deformação plástica que possa ser encontrado em que o trabalho realizado pelas cargas externas exceda o trabalho de dissipação plástica interna. Este teorema proporciona assim, uma fronteira superior do limite shakedown [4].

A aplicação desses teoremas nos fornece fronteiras para o limite shakedown, e com o refino dos resultados, essas duas fronteiras tendem ao encontro e assim, o exato limite é estabelecido. Este limite pode ser levantado para diferentes coeficientes de atrito e assim, pode ser construído um diagrama Shakedown, como apresentado na Fig. 1:



Handwritten signatures and stamps at the bottom of the page. From left to right: a signature inside a circle, a signature 'C. S. P.', a signature 'P', a circular stamp with text 'CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO' and 'LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS', and a signature 'A. S. P.' with the number '8' below it.

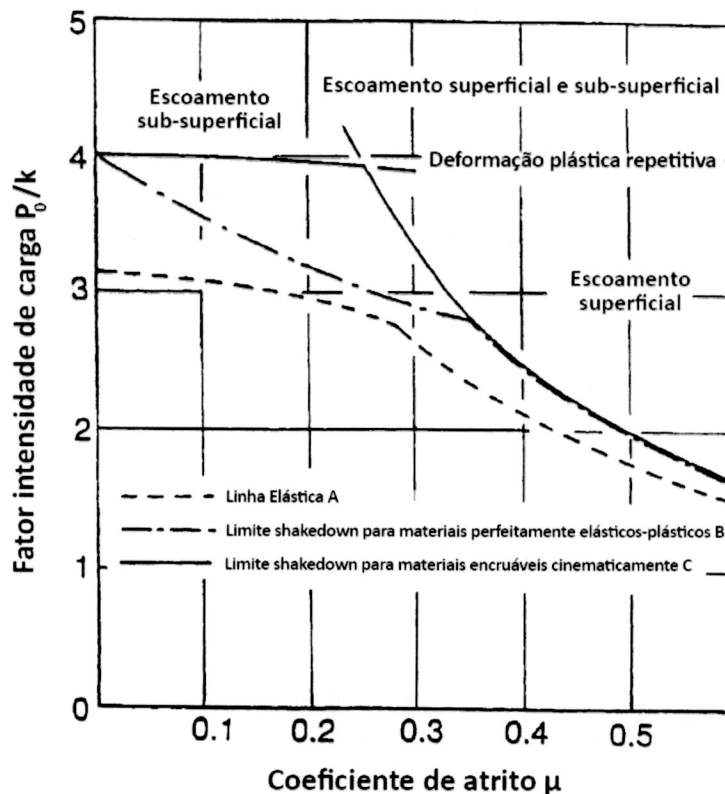
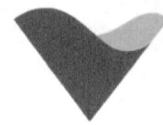
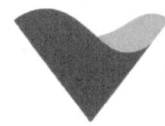


Figura 1 - Diagrama Shakedown em que o Limite shakedown é plotado em relação ao coeficiente de atrito. As regiões abaixo das curvas podem ser consideradas "safes". A curva A ilustra o caso mais conservador onde o limite elástico do material nunca é excedido; Curva B mostra o efeito do fenômeno Shakedown em um material elástico-plástico ideal e a curva C o desempenho adicional possível em materiais que sofrem encruamento cinemático. Adaptado [3].

Com o diagrama shakedown elaborado, pode-se então prever o comportamento do material sob efeito de carregamento cíclico para um dado coeficiente de atrito:

- Se o ponto de operação do contato plotado no diagrama fica abaixo da curva A (limite elástico) nenhum elemento do material atinge o escoamento, e o material responderia elasticamente como mostrado na Figura 2a;
- Entre as curvas A e B, um material perfeitamente elástico-plástico escoará inicialmente, mas atingirá o shakedown em regime permanente como exposto na Fig. 2b. A elevação da curva B em relação a A indica a contribuição das tensões residuais para o shakedown;
- Condições entre B e C somente resultam em shakedown se o material for capaz de encruar cinematicamente, levando a uma resposta elástica do material no regime estacionário como exibido na Figura 2b. A elevação da curva C em relação a B indica a influência do encruamento para o shakedown;
- Se o ponto de operação está acima da curva C, o limite shakedown é excedido e então ocorrerá deformação plástica em cada ciclo de carregamento. Ela poderá assumir duas formas;
 - Um ciclo fechado de deformação plástica que ocorre sem nenhum crescimento líquido de deformação plástica. Este tipo de resposta do material ocorre tipicamente em condições de baixo coeficiente de atrito.



onde a deformação plástica acontece subsuperficialmente sendo revestida de material elástico que atua impedindo o crescimento líquido de deformação plástica [4]. A resposta do material solicitado nessa condição de carregamento é apresentada na Figura 2c. Materiais nessas condições falham, em geral, por fadiga de baixo ciclo;

▪ Em condições de maior carregamento ou um maior coeficiente de atrito, o escoamento plástico acontece na superfície de contato e a resposta do material ocorre na forma de incrementos de deformação plástica que acumulam, a cada ciclo de carregamento, em um processo conhecido como ratchetting conforme apresentado na Figura 2d. O ratchetting leva, em geral, a uma falha por fratura dúctil devido acúmulo de deformações unidirecionais.

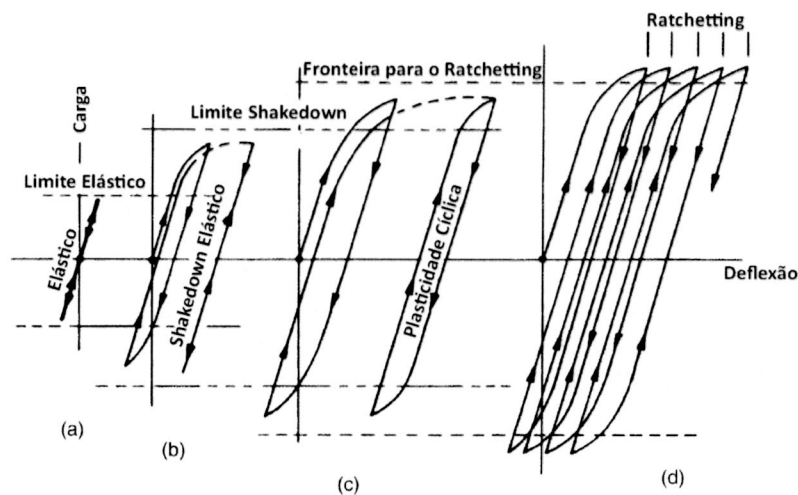


Figura 2 - Diferentes formas de resposta ao carregamento cíclico: (a) perfeitamente elástica, (b) shakedown, (c) plasticidade cíclica, (d) ratchetting. Adaptado [3].

A deformação plástica inicial pode induzir também uma mudança na geometria de contato, podendo dessa forma, contribuir para a ocorrência do shakedown.

Por exemplo, uma esfera rígida rolando em uma superfície plana elástica-plástica, se a carga se encontra acima do limite elástico do material o rolamento da esfera no plano produzirá um sulco permanente na superfície. Durante as passagens subsequentes da esfera ao longo da mesma pista, a conformidade entre a esfera e o perfil côncavo do sulco aumenta, e assim, a área de contato aumenta e a pressão de contato diminui. Esta ação claramente promove shakedown.

Experimentos realizados por Hearle [5], no rolamento repetitivo de discos dentro da mesma pista de desgaste, demonstram uma tendência na mudança da área de contato de um perfil elíptico (nos primeiros ciclos de carregamento) para um perfil retangular (após muitos ciclos de carregamento). A mudança de uma área de contato elíptica para uma retangular implica em uma mudança na distribuição de pressão semi-elipsoidal (Hertz) para uma que é semielíptica na direção rolamento e uniforme na direção transversal (Kunert) [2].

Na comparação, os limites shakedown levantados para a distribuição de pressão de Kunert se mostraram maiores em relação aos levantados para a distribuição de pressão de Hertz como evidenciado a Figura 3.

Mostrando claramente que a mudança na geometria de contato e a consequente mudança na distribuição de pressão contribuem para o acontecimento do shakedown.

Outro fator que pode influenciar no fenômeno shakedown é o acabamento superficial da superfície solicitada. Na figura 4 o limite shakedown é mostrado como uma função do índice de plasticidade, mostrando de forma clara que a melhora no acabamento superficial contribui para o shakedown.

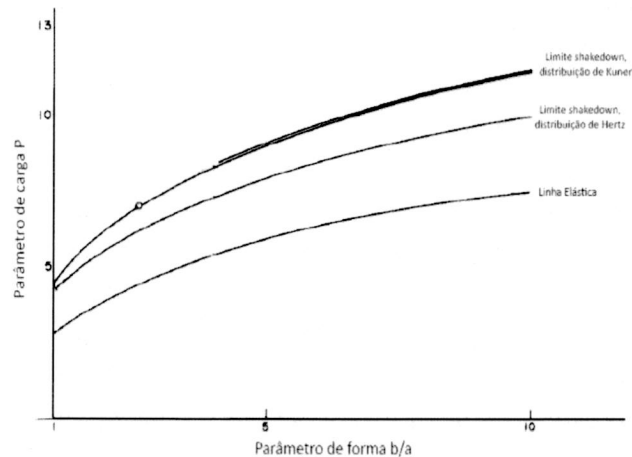


Figura 3 - Limites shakedown para as distribuições de pressão de Hertz e kunert plotados em relação ao parâmetro de forma b/a. Adaptado [1].

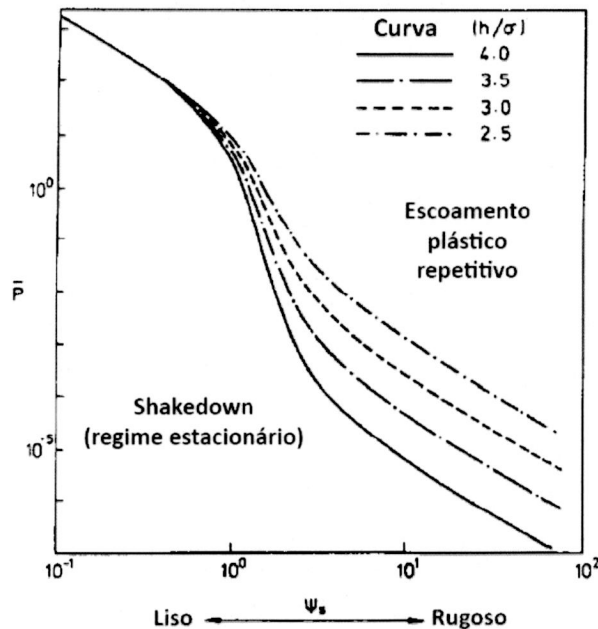


Figura 4 - Diagrama shakedown para superfícies rugosas (uma dura, outra dúctil) em contato deslizante. Ψ_s = índice de plasticidade, h = máxima altura das asperezas duras. [13] Adaptado.

O sistema roda-trilho pede um coeficiente de atrito alto o suficiente para que tração e frenagem ocorram apropriadamente, e o mais baixo possível para que haja economia de combustível. A literatura nos diz que na prática esse coeficiente de atrito gira em torno de 0,3. Dessa forma, o sistema roda-trilho quando submetido a um alto carregamento é mais propício a ocorrência de ratchetting do que plasticidade cíclica.

O diagrama shakedown se mostra, então, como uma ferramenta poderosa na escolha de um ponto de operação ótimo que proporcione tração e frenagem adequados, economia de combustível e um aumento da vida útil dos trilhos.

5.1 Grau de maturidade da tecnologia a ser desenvolvida

O conceito do diagrama shakedown, que fornece o comportamento mecânico do material em condições de carregamento cíclico, através do conhecimento do carregamento (fator intensidade de carga) e do coeficiente de atrito é muito bem conhecido pela literatura e aplicado no contato roda-trilho nas ferrovias internacionais. Todavia, as ferrovias da VALE possuem especificidades diferentes destas. Assim, torna-se necessário o levantamento dessas especificidades e a partir destas a elaboração de um diagrama shakedown para as ferrovias da VALE.

6. Riscos (projeto, tecnológico, marcos regulatórios, etc.)

O projeto trata essencialmente da geração de conhecimento. Está dividido em quatro etapas que são a constituição de um banco de dados sobre a mecânica do contato, em especial diagrama shakedown, o estudo de um código computacional já existente e adequação deste ao fenômeno shakedown voltado ao contato roda-trilho, realização de simulações para a elaboração do diagrama shakedown levando em consideração as especificidades das ferrovias da VALE e a realização de palestras para colaboradores da VALE, em especial aqueles envolvidos no projeto Cátedra roda-trilho.

Data vênua, não há riscos ao meio ambiente, à saúde e à segurança e não há problemas em nível de marco regulatório, não sendo necessária a obtenção de RIMA e outras licenças. Quanto ao conselho de bioética não se aplica.

7. Considerações Regulatórias

Podemos considerar dois aspectos: a questão da propriedade intelectual e aspectos ligados a saúde ou meio-ambiente.

No primeiro ponto, o desenvolvimento do projeto não envolve qualquer questão ligada à propriedade intelectual por não tratar de tema/produtos que estejam sob proteção de patentes e cuja quebra se faça necessária para o sucesso do projeto. Eventualmente, como resultados do projeto podem ser feitos depósitos de patentes relativas ao código computacional de geração do diagrama shakedown.



12

Do mesmo modo, a utilização dos laboratórios não envolve o manuseio de materiais tóxicos, radiológicos ou exposição à radiação que, por causarem risco à saúde, tenham que ser submetidos ao controle de agências reguladoras tais como ANVISA ou CNEN.

8. Objetivos

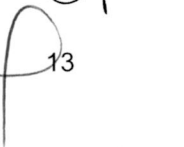

8.1 Gerais

- 1) Elaboração de uma dissertação de mestrado cujo o tema é: Estudo do diagrama shakedown e sua correlação com o atrito aplicado ao contato roda-trilho;
- 2) Constituição de um grupo de pesquisa voltado à mecânica do contato, especialmente no que tange ao par roda-trilho, na UFES;
- 3) Constituir um projeto de pesquisa que dará suporte ao projeto Cátedra roda-trilho (VALE-USP);
- 4) Uma segunda dissertação de mestrado dentro do escopo deste projeto;
- 5) Consolidação de um grupo de pesquisa (Academia e VALE) em mecânica do contato, especialmente em experimentos e simulações numéricas que tangem ao fenômeno shakedown aplicado ao par roda-trilho.

8.2 Específicos

- 1) Constituição de um banco de dados sobre o fenômeno shakedown;
- 2) Elaboração do diagrama shakedown, dado as especificidades das ferrovias da VALE, através de simulações numéricas adequadas;
- 3) Apresentação sobre o conceito do fenômeno shakedown para os colaboradores da VALE, em especial, àqueles que pertencem ao projeto Cátedra roda-trilho;
- 4) Apresentação dos resultados das simulações obtidas na dissertação de mestrado e treinamento dos colaboradores na utilização do código computacional adaptado, em especial, aqueles que pertencem ao projeto Cátedra roda-trilho;
- 5) Desenvolvimento de metodologia de indentação cíclica para caracterização de materiais de rodas e trilhos ferroviários.

9. Grau de inovação do projeto



13

O projeto visa dar a empresa o domínio do fenômeno shakedown visando o estabelecimento de parâmetros técnicos na escolha das condições de operação nas ferrovias tendo como o objetivo o aumento da vida útil dos componentes utilizados no contato roda-trilho. Também, objetiva-se a elaboração de uma ferramenta computacional para a geração do diagrama shakedown, bem como qualificar colaboradores da VALE nos conceitos do fenômeno shakedown e na utilização da ferramenta para que possam empregar esse conhecimento na busca de uma operação mais eficiente nas ferrovias.

9.1 Justificativa

Nas ferrovias da VALE, provavelmente o consumo de trilhos é elevado gerando razoável custo para a empresa (segundo item mais consumido nas ferrovias após o combustível). A elaboração do diagrama shakedown visando adequar o coeficiente de atrito do contato roda-trilho pode aumentar a vida útil deste consumível evitando, assim, a falha ou ruína deste.

10. Justificativa de Interesse

Desde 2014, a VALE e a USP (Departamento de Engenharia Mecânica / Laboratório de Fenômenos de Superfície (LFS)) constituíram um projeto de pesquisa para estudar os fenômenos mecânicos e de materiais envolvidos no contato roda-trilho. Tal projeto denomina-se Cátedra roda-trilho. A UFES (Departamento de Engenharia Mecânica / Laboratório de Tribologia, Corrosão e Materiais (TRICORRMAT)) assim como outras instituições de ensino superior é colaboradora deste projeto. Em uma das reuniões de trabalho no final de 2014, na VALE em Vitória-ES, surgiu o interesse em se estudar a influência do fenômeno shakedown no atrito, quando do movimento relativo entre a roda e o trilho.

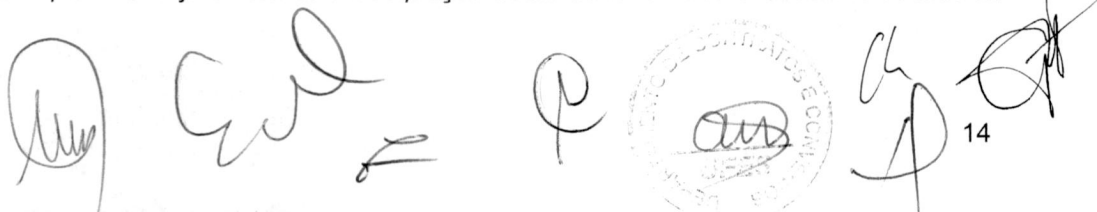
11. Metodologia de Pesquisa

As atividades a serem desenvolvidas seguirão a seguinte metodologia;

1) *Constituição de um banco de dados sobre a mecânica do contato e diagrama shakedown:*

Será feita a aquisição e estudo de artigos e livros que abordam o fenômeno shakedown e sua aplicação no contato roda-trilho. Será realizada uma completa revisão bibliográfica sobre o assunto para posterior apresentação à VALE.

2) *Estudo de um código computacional já existente e adequação deste ao fenômeno shakedown voltado ao contato roda-trilho:*



14

Este estudo será feito sob orientação do Prof. Dr. Roberto Martins em conjunto com um grupo de pesquisa de simulações via elementos finitos nos laboratórios da USP, posteriormente, será adequado um código computacional já existente para as condições específicas do contato roda-trilho no laboratório TRICORRMAT na UFES.

3) Realização de simulações para a elaboração do diagrama shakedown:

Depois de estudado e adequado ao contato roda-trilho o código computacional será utilizado para a realização de simulações numéricas, no laboratório TRICORRMAT na UFES, com o intuito de construir o diagrama shakedown levando em consideração as especificidades das ferrovias da VALE.

4) Realização de palestras para colaboradores da VALE:

Serão realizadas palestras para colaboradores da VALE, em especial aqueles participantes no projeto Cátedra roda-trilho, sobre o conceito do fenômeno shakedown. Serão também ministrados na UFES e na VALE treinamentos para que colaboradores da VALE possam se familiarizar com a utilização da ferramenta responsável por gerar o diagrama shakedown.

Os resultados obtidos até agora com o projeto indicam capacidade de reproduzir o fenômeno de shakedown via modelagem por elementos finitos. As análises atuais podem evoluir no sentido de aproximar cada vez mais as simulações às condições encontradas no contato roda-trilho, valendo-se, inclusive, das informações obtidas em outros projetos da Cátedra Roda-Trilho. No momento, o fenômeno está sendo reproduzido em uma situação simplificada, caracterizada por indentações sucessivas de uma esfera em um plano do material em estudo.

Sabendo-se que o fenômeno de shakedown foi observado na simulação de indentações sucessivas, entende-se que, em princípio, a realização experimental de ensaios desta natureza tem a capacidade de contribuir com a avaliação do comportamento de materiais de roda e trilho frente ao shakedown. Nesta linha, a metodologia proposta prevê ensaios de indentação sucessiva em materiais (inicialmente) de roda, para posterior comparação com resultados obtidos em outros projetos que avaliam materiais de roda no âmbito da Cátedra. Ou seja, pretende-se verificar se um bom comportamento relativo em indentações sucessivas se reflete em um bom comportamento relativo em outros tipos de testes mecânicos.

Adicionalmente, neste projeto, serão realizadas simulações para analisar a influência do tamanho de trincas superficiais e subsuperficiais no comportamento de materiais submetidos à fadiga de contato. Esse estudo poderá ampliar a visão do comportamento dos materiais submetidos a deformações sucessivas e o possível surgimento de trincas, o que é fundamental para o melhor entendimento do fenômeno shakedown.

Os experimentos de indentações sucessivas e as simulações contribuirão com a caracterização dos materiais, permitindo cálculo de propriedades mecânicas específicas do fenômeno de shakedown, que poderão ser usadas para alimentar modelos numéricos desenvolvidos no âmbito da cátedra e que necessitam de dados dos materiais, em especial no projeto "Apoio à implantação do esmerilhamento preventivo de trilhos na Estrada de Ferro Vitória a Minas" da USP.



15

12. Metas

- 1) Estudo de um código computacional já existente no âmbito da mecânica do contato e sua adequação a este estudo de caso: contato roda-trilho;
- 2) Realização de simulações numéricas para construir o diagrama shakedown correlacionado com o atrito envolvido no contato roda-trilho;
- 3) Realização de simulações numéricas para construir o diagrama shakedown correlacionado com o atrito envolvido no contato roda-trilho;
- 4) Nuclear um grupo de pesquisa competente no assunto desenvolvido neste projeto;
- 5) Realizar workshops e treinamentos sobre o fenômeno shakedown e sua aplicação ao contato roda-trilho aos colaboradores da VALE.
- 6) Ensaaios de Indentação Cíclica com esferas de diferentes diâmetros;
- 7) Simulações Numéricas de fadiga de contato;
- 8) Caracterização dos materiais de roda com os resultados obtidos nos ensaios;
- 9) Tentativa de uso de indentações cíclicas para classificar qual material analisado se comporta melhor em relação ao Shakedown.

13. Resultados Esperados

São os seguintes resultados esperados:

- 1) Uma dissertação de mestrado dentro do escopo deste projeto;
- 2) Nucleação de um grupo de pesquisa voltado à mecânica do contato, no que tange ao par roda-trilho, na UFES e o intercâmbio direto com os colaboradores da VALE;
- 3) A elaboração de uma ferramenta computacional capaz de gerar diagramas shakedown para que se possa determinar a mais adequada condição de operação nas ferrovias da VALE;
- 4) Um aumento de vida útil nos trilhos das ferrovias da VALE tornando a operação ferroviária mais eficiente, reduzindo-se o custo da operação ferroviária;
- 5) Geração de conhecimento científico e tecnológico na área, com apresentação dos resultados obtidos em congressos científicos, publicação de artigos e depósito de patentes;
- 6) Formação continuada de recursos humanos.
- 7) Uma segunda dissertação de mestrado dentro do escopo deste projeto;



8) Desenvolvimento de metodologia de indentação cíclica para caracterização de materiais de rodas e trilhos ferroviários;

9) Consolidação de um grupo de pesquisa (Academia e VALE) em mecânica do contato, especialmente em experimentos e simulações numéricas que tangem ao fenômeno shakedown aplicado ao par roda-trilho.

14. Retorno do projeto (ambiental, social, econômico...)

Retorno ambiental: Com a expectativa de aumento de vida útil dos componentes do contato roda-trilho, em especial este último, através de uma condição de operação ótima obtida através do estudo e levantamento do diagrama shakedown, é esperada redução do passivo ambiental dos materiais metálicos.

Retorno social: A partir da qualificação de colaboradores da VALE é razoável supor que esse fato terá como consequência a melhoria em suas condições de produção/salário com impacto positivo em suas condições de vida.

Retorno econômico: O aumento da vida útil dos componentes do contato roda-trilho tem como consequência uma redução dos gastos na aquisição de componentes de materiais. Acarreta também uma redução nas paradas de manutenção e o aumento da confiabilidade de desempenho de componentes dos ativos.

15. Cronograma de Atividades e Marcos

#	Atividade	Início	Término
1	Constituição de um banco de dados sobre a mecânica do contato e diagrama shakedown	Início do projeto	Mês 17
2	Estudo de um código computacional já existente e adequação deste ao fenômeno shakedown voltado ao contato roda-trilho	Início do projeto	Mês 6
3	Realização de simulações para a elaboração do diagrama shakedown	Mês 4	Mês 16
4	Realização de palestras para colaboradores da VALE	Mês 8	Mês 18
5	Realização de Ensaios de Indentação Cíclica com esferas de diferentes diâmetros;	Mês 19	Mês 26
6	Realização de Simulações Numéricas de fadiga de contato;	Mês 21	Mês 26
7	Caracterização dos materiais de roda com os resultados dos Ensaios;	Mês 26	Mês 32
8	Comparação dos resultados obtidos nos Ensaios com as simulações realizadas no ABAQUS;	Mês 26	Mês 32








9	Tentativa de classificação qual material analisado se comporta melhor em relação ao Shakedown;	Mês 32	Mês 34
11	Realização de palestras para colaboradores da VALE.	Mês 26	Mês 36

16. Produtos

#	Produto	Descrição	Data de Entrega
1	Publicações	Pôster na Wear of Materials 2017, Hilton Long Beach, California, USA	Mês 1
2	Relatório	Revisão bibliográfica e adequação do código computacional ao contato roda-trilho	Mês 6
3	Relatório	Resultados iniciais das simulações de laboratório	Mês 12
4	Relatório	Resultados finais das simulações de laboratório	Mês 18
5	Dissertação	Dissertação de mestrado	Mês 18
6	Relatório	Revisão bibliográfica	Mês 24
7	Relatório	Adequação do código computacional aos ensaios de laboratório e resultados iniciais dos ensaios de laboratório	Mês 30
8	Relatório	Resultados finais dos ensaios de laboratório	Mês 36
9	Dissertação	Dissertação de mestrado	Mês 36
10	Prestações de contas	Relatório de prestação de contas financeiras parcial e final do projeto	Mês 9, 24 e final

17. 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. Orientação do mestrando na revisão bibliográfica sobre o fenômeno shakedown e sua aplicação no contato roda-trilho. Orientação do mestrando na realização das simulações para elaboração do diagrama shakedown. Análise de resultados das simulações de laboratório e sua








comparação com os resultados previstos na literatura. Orientação do mestrando na redação da dissertação de mestrado. Confeção de relatórios. Organização de palestras aos colaboradores da VALE. Redação de trabalhos científicos e tecnológicos.

2) Bolsa de Mestrado (GM):

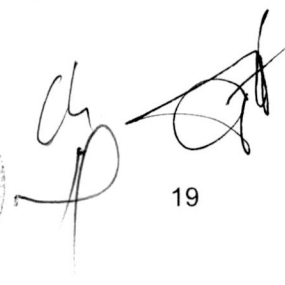
Estudo e confecção de um banco de dados sobre o fenômeno shakedown e sua aplicação ao contato roda-trilho. Estudo de um código computacional já existente e adequação deste ao fenômeno shakedown. Realização de simulações para a elaboração do diagrama shakedown, Redação de uma dissertação de mestrado cujo tema é: Estudo no diagrama shakedown no atrito aplicado ao contato roda-trilho.

3) Bolsa de Iniciação Científica (IC):

Auxiliar na confecção de um banco de dados sobre o fenômeno shakedown e sua aplicação ao contato roda-trilho. Auxiliar na realização de simulações para a elaboração do diagrama shakedown. Auxiliar, em nível técnico administrativo, na confecção de relatórios e organização de palestras aos colaboradores da VALE.

18. Referências Bibliográficas da Pesquisa

- [1] A. F. Bower, K. L. Johnson, Plastic flow and shakedown of the rail surface in repeated wheel-rail contact, *Wear*, 144 (1991) 1-18.
- [2] A. Kapour, K.L. Johnson, Effect of changes in contact geometry on shakedown of surfaces in rolling/sliding contact, *Int. J. Mech. Sci.*, 34 (3) (1992) 223-239.
- [3] J.A. Williams, The influence of repeated loading, residual stresses and shakedown on the behaviour of tribological contacts, *Tribology International* 38 (2005) 786–797.
- [4] A. R. S. Ponter, Application of the kinematical shakedown theorem to rolling and sliding point contacts, *J. Mech. Phys. Solids* Vol. 33, No. 4 (1985) 339-362.
- [5] A. D. Hearle, Deformation, shakedown and fatigue in rolling contact. Ph.D. Thesis, Cambridge University (1984).
- [6] Donald T. Eadie, The effects of top of rail friction modifier on wear and rolling contact fatigue: Full-scale rail-wheel test rig evaluation, analysis and modelling, *Wear*, 265 (2008) 1222-1230.
- [7] Anders Ekberg, Elena Kabo, Fatigue of railway wheels and rails under rolling contact and thermal loading—an overview, *Wear*, 258 (2005) 1288-1300.
- [8] K. L. Johnson, *Contact Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, (1985).
- [9] K. L. Johnson, The application of shakedown principles in rolling and sliding contacts. *Eur J Mech A Solids* 1992;11(Special issue): 155–72.



[11] J.M. Challen, P.L.B. Oxley, An explanation of different regimes of friction and wear using asperity deformation models, *Wear*. 53 (1979) 229-243.

[12] K.L Johnson, Contact mechanics and the wear of metals, *Wear* 190 (1995) 162-170.

[13] K. L. Johnson, Plastic flow, residual stress and shakedown in rolling contact, *Proc. Int. Symp. On Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems II*, Kingston, RI, July 1986, University of Waterloo Press, Waterloo, Ontario, 1987, pp. 83-97.

19. Orçamento e desembolso

Preencher a planilha em Excel do orçamento

20. Informações Adicionais

Infraestrutura necessária já existente

Item	Quantidade	Local
Cluster onde será acoplada a estação de trabalho computacional adquirida neste projeto	1	UFES

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

Entidade	Valor solicitado	Valor aprovado

Candidatos a bolsas de pesquisa que possuem vínculo empregatício

Pesquisador	Entidade	Departamento	Função atual
Cherlio Scandian	Universidade Federal do Espírito Santo	Engenharia Mecânica	Professor
Roberto Martins de Souza	Universidade de São Paulo	Engenharia Mecânica	Professor

21. Anexos

#	Anexo	Descrição

Handwritten signatures and stamps at the bottom of the page, including a circular stamp of the Universidade Federal do Espírito Santo and a handwritten number '20'.

--	--	--

22. Assinaturas

Preparado por:


Cherlio Scandian

Aprovado por:


Jun Kina










21

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

Projeto

DADOS DO PROJETO (não abrevie)

Título do Projeto:	Mecânica do Contato: Elaboração de diagrama Shakedown e sua aplicação para o para Roda-Trilho		
Projeto em Rede ?	Rede	Título da rede (se aplicável)	Catedra de Pesquisa Roda-Trilho
Instituição Líder:	UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO		
Coordenador:	CHERLIO SCANDIAN		
Duração do Projeto (em meses):	36	Data de Início	01/08/2015

Handwritten signatures and stamps at the bottom of the page. A circular stamp from the "COMISSÃO DE LICITAÇÃO E CONTRATAS" is visible, along with several handwritten initials and signatures.



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	UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
Responsável: CHERLIO SCANDIAN	CHERLIO SCANDIAN

ORÇAMENTO DETALHADO - Bolsas de pesquisa

Tipo de Bolsa	Justificativa	Quantidade	Duração (meses)	Custo Unitário	Custo Total	Valor		Valor Ano 4	Valor Ano 5	
						2016/2 e 17	2018/1			
Bolsa Apoio Pesquisador Institucional (Prof. Cherlio Scandian)	Coordenação e atividade de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico	1	1	R\$ 850,00	R\$ 850,00	R\$ 850,00				
Bolsa Apoio Pesquisador Institucional (Prof. Cherlio Scandian)	Coordenação e atividade de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico	1	21	R\$ 1.500,00	R\$ 31.500,00	R\$ 21.000,00	R\$ 10.500,00			
Bolsa Apoio Pesquisador Institucional (Prof. Cherlio Scandian)	Coordenação e atividade de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico	1	18	R\$ 2.800,00	R\$ 50.400,00	R\$ 50.400,00				
Bolsa Apoio Pesquisador Institucional (Prof. Newton Kiyoshi Fukumasu)	Pesquisador responsável pela realização das Simulações Numéricas no Fenômeno Shakedown	1	1	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00		R\$ 2.500,00			
Bolsa Apoio Pesquisador Institucional (Prof. Newton Kiyoshi Fukumasu)	Pesquisador responsável pela realização das Simulações Numéricas no Fenômeno Shakedown	1	6	R\$ 2.500,00	R\$ 15.000,00			R\$ 15.000,00		
Bolsa de Incentivo à Pesquisa – Mestrado (Manuelle Curbani Romero)	Aluna de Mestrado - Simulações Numéricas relacionadas ao Shakedown e ao Atrito.	1	1	R\$ 850,00	R\$ 850,00					
Bolsa de Incentivo à Pesquisa – Mestrado (Manuelle Curbani Romero)	Aluna de Mestrado - Simulações Numéricas relacionadas ao Shakedown e ao Atrito.	1	8	R\$ 1.500,00	R\$ 12.000,00					
Bolsa de Incentivo à Pesquisa – Doutorado (Rodrigo Pereira Gonçalves)	Aluno de Doutorado - Simulações Numéricas relacionadas ao Shakedown e ao Atrito.	1	11	R\$ 2.500,00	R\$ 27.500,00	R\$ 22.500,00	R\$ 5.000,00			
Bolsa de Iniciação Científica (Maysa Santos Pacheco de Oliveira)	Aluna de Graduação - Projeto de Conclusão de curso relacionado ao Shakedown e ao Atrito.	1	1	R\$ 226,67	R\$ 226,67					
Bolsa de Iniciação Científica (Maysa Santos Pacheco de Oliveira)	Aluna de Graduação - Projeto de Conclusão de curso relacionado ao Shakedown e ao Atrito.	1	11	R\$ 400,00	R\$ 4.400,00					
Bolsa de Incentivo à Pesquisa - Mestrado (Maysa Santos Pacheco de Oliveira)	Aluna de Mestrado - Simulações Numéricas e Ensaio de Indentação Cíclicas relacionadas ao Shakedown e ao Atrito.	1	18	R\$ 2.043,00	R\$ 36.774,00			R\$ 36.774,00		
Bolsa de Iniciação Científica (Juliana Lima Barbaroli)	Aluna de Graduação - Iniciação Científica.	1	10	R\$ 500,00	R\$ 5.000,00	R\$ 1.500,00	R\$ 3.500,00			
Bolsa de Iniciação Científica	Aluno de Graduação - Iniciação Científica.	1	18	R\$ 400,00	R\$ 7.200,00			R\$ 7.200,00		
TOTAL						R\$ 194.200,67	R\$ 63.326,67	R\$ 21.500,00	R\$ 109.374,00	R\$ -

000383

TOTAL





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

Parceiro

ORÇAMENTO DETALHADO - Materiais, Serviços e Demais despesas

Item	Descrição	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total	Valor 2016/2 e 2017	Valor 2018/1	Valor 2018/2-2020	Valor Ano 4	Valor Ano 5
Material de consumo									
Material permanente nacional	Aquisição de estação de trabalho computacional, laptop, livros e artigos especializados e softwares de apoio.	1	R\$ 58.125,00	R\$ 58.125,00	R\$ 40.707,26	R\$ 5.510,00	R\$ 11.907,74		
Serviços de terceiros	Serviços de manutenção.		R\$ 24.000,00	R\$ 24.000,00	R\$ 8.299,63		R\$ 15.700,37		
Obras e edificações civis	Adequação do Espaço Físico para a criação do Laboratório de Tribologia e Dinâmica Ferroviária (LTDF).		R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00	R\$ 4.896,23	R\$ 10.103,77			
Viagens e diárias	Passagens de ida e volta e diárias para viagens a São Paulo e a São Luís para reuniões relacionadas ao Projeto.	1	R\$ 63.580,17	R\$ 63.580,17	R\$ 20.603,65	R\$ 3.276,52	R\$ 39.700,00		
Participação em congressos	Tribobr - Florianópolis, SC	1	R\$ 7.200,00	R\$ 7.200,00			R\$ 7.200,00		
Participação em congressos	Wear of Materials - Miami, FL, USA	1	R\$ 28.000,00	R\$ 28.000,00			R\$ 28.000,00		
TOTAL					R\$ 195.905,17	R\$ 74.506,77	R\$ 18.890,29	R\$ 102.508,11	R\$ -
TOTAL GERAL (sem taxas)					R\$ 390.105,84	R\$ 137.833,44	R\$ 40.390,29	R\$ 211.882,11	R\$ -

ORÇAMENTO DETALHADO - Taxas

Tipo de Taxa	Justificativa	Percentual Total	Valor 2016/2 e 2017	Valor 2018/1	Valor 2018/2-2020	Valor Ano 4	Valor Ano 5
Ressarcimento FEST (10%)	Taxa administrativa da Fundação Espírito Santense de Tecnologia (FEST).	10%	R\$ 13.783,34	R\$ 4.039,03	R\$ 21.188,21	R\$ -	R\$ -
Valor das taxas por ano			R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
TOTAL GERAL DAS TAXAS			R\$ 13.783,34	R\$ 4.039,03	R\$ 21.188,21	R\$ -	R\$ -
Total a ser desembolsado por ano *			R\$ 429.116,42	R\$ 44.429,32	R\$ 233.070,32	R\$ 0,00	R\$ 0,00

* Neste valor está incluído o valor de R\$15.663,70 (quinze mil, seiscentos e sessenta e três reais e setenta centavos) referente aos rendimentos dos primeiros desembolsos e não deverão ser desembolsados pela Vale.

000384



TOTAL GERAL - Cronograma de desembolso do projeto

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	TOTAL
1. Bolsa de pesquisa	R\$ 63.326,67	R\$ 21.500,00	R\$ 109.374,00	-	-	R\$ 194.200,67
2. Material de consumo	R\$ -	R\$ -	R\$ -	-	-	R\$ -
3. Material permanente nacional	R\$ 40.707,26	R\$ 5.510,00	R\$ 11.907,74	-	-	R\$ 58.125,00
4. Material permanente importado	R\$ -	R\$ -	R\$ -	-	-	R\$ -
5. Serviços de terceiros	R\$ 8.299,63	R\$ -	R\$ 15.700,37	-	-	R\$ 24.000,00
6. Obras e edificações civis	R\$ 4.896,23	R\$ 10.103,77	R\$ -	-	-	R\$ 15.000,00
7. Viagens e diárias	R\$ 20.603,65	R\$ 3.276,52	R\$ 39.700,00	-	-	R\$ 63.580,17
8. Participação em congressos	R\$ -	R\$ -	R\$ 35.200,00	-	-	R\$ 35.200,00
9. Taxas	R\$ 13.783,34	R\$ 4.039,03	R\$ 21.188,21	-	-	R\$ 39.010,58
TOTAL GERAL*	R\$ 151.616,78	R\$ 44.429,32	R\$ 233.070,32	-	-	R\$ 429.116,42

* Neste valor está incluído o valor de R\$15.663,70 (quinze mil, seiscentos e sessenta e três reais e setenta centavos) referente aos rendimentos dos primeiros desembolsos e não deverão ser desembolsados pela Vale.