

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**ESCOLA DE ENGENHARIA**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais**

**PPGE3M**

**A TÉCNICA DE ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO APLICADA A DIFERENTES  
CENÁRIOS DE INVESTIMENTOS**

**CASOS DE ESTUDO:**

**Minas de elementos terras raras**

**Reciclagem de rejeitos de material de demolição e construção civil**

**RENATO AURÉLIO PETTER**

**Dissertação para obtenção de título de Mestre em Engenharia**

**PORTO ALEGRE**

**2015**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

ESCOLA DE ENGENHARIA

Diretor: Luiz Carlos Pinto da Silva filho

Vice-Diretor: Carla Schwengber ten Caten

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO

Coordenador: Dr. Carlos Pérez Bergmann

Vice Coordenador: Prof. Dr. Afonso Reguly

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**ESCOLA DE ENGENHARIA**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais**

**PPGE3M**

**A TÉCNICA DE ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO APLICADA A DIFERENTES  
CENÁRIOS DE INVESTIMENTOS**

**Minas de elementos terras raras**

**Reciclagem de rejeitos de material de demolição e construção civil**

**RENATO AURÉLIO PETTER**

**Engenheiro de Minas**

**Dissertação para obtenção de título de Mestre em Engenharia**

Trabalho realizado no Laboratório de Processamento Mineral da Escola de Engenharia, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais (PPGEM), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia

**Área de Concentração: Metalurgia Extrativa e Tecnologia Mineral**

**Orientador: Professor Dr. Carlos Otavio Petter**

**PORTO ALEGRE**

**2015**

**Renato Aurélio Petter**

Esta Dissertação intitulada: A técnica de análise de risco econômico aplicada a diferentes cenários de investimentos em minas de elementos terras raras e plantas de reciclagem de resíduos de demolição e construção, foi aprovada e considerada adequada para obtenção do Título de “**Mestre em Engenharia, Área de Concentração: Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa**”.

---

Orientador: Prof. Dr. Carlos Otávio Petter

---

Coordenador do PPGEM-UFRGS: Prof. Dr. Carlo Pérez Bergmann

Aprovado em 27/08/2015

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Hoffmann Sampaio – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof. Dr. Régis Sebben Paranhos – Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

Dra. Lucy Takehara Chemale - CPRM

Dedico esta dissertação a minha esposa Eliane, minhas filhas Marcela e Camila por seu amor e sacrifício em me acompanhar durante a minha vida profissional aos lugares mais remotos e duros, isto me possibilitou grande parte dos conhecimentos necessários para redação desta dissertação.

Dedico a meus pais Edison e Helena pelo esforço realizado para nos dar a educação e formação iniciais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos Professores e Secretaria do PPGE3M por sua dedicação na transmissão de conhecimentos e pela organização do programa de Pós-Graduação. Especialmente os Professores Carlos Petter e João Felipe Coimbra Costa, o primeiro meu orientador e mestre em Economia Mineral e os segundo meu mestre em Geoestatística.

Agradecemos o apoio dos colegas especialmente Pablo Coury, Cristina Araújo, Marcel Bassini, Alessandro Medeiros Silva e a monitora Camila Zacche sem os quais teria sido muito difícil concluir a o curso.

Agradecemos ao pessoal do LAPROM e CT pela hospitalidade e apoio logístico durante o período de curso.

Agradecemos ao Professor Sampaio por permitir minha participação na pesquisa de Reciclagem de Resíduos de construção e demolições (RC&D).

Agradecemos a ROV (Risk Analysis Valuation), empresa americana que nos cedeu gratuitamente os softwares de análises de risco utilizados nas pesquisas.

Agradecemos ao CNPq por aprovar, apoiar e prover recursos para pesquisa em Elementos Terras Raras.

Finalmente agradeço ao meu primeiro mestre em Economia Mineral Professor Michel Duchene da Ecole des Mines de Paris em Fontainebleau, que sem seus ensinamentos teria sido muito difícil trilhar o caminho atual.

“A arte de ser por vezes muito audacioso e por vezes  
muito prudente é a arte do sucesso.”

“ L'art d'être tantôt très audacieux et tantôt très prudent  
est l'art de réussir.”

Napoleón Bonaparte

## RESUMO

As incertezas nos campos da política, economia e meio ambiente, bem como a rápida evolução social e tecnológica que afetam a humanidade levam a construção de modelos de previsão teóricos cada vez mais complexos. Entre as técnicas mais necessárias encontra-se a de análise de riscos. Dificilmente modelos determinísticos podem atender as necessidades estratégicas e técnicas de governos, organizações não governamentais e empresas. As distintas áreas do conhecimento desenvolveram ferramentas que permitem gerenciar melhor os riscos intrínsecos de suas atividades. São desde planilhas que quantificam consequências e frequência de perder-se algo de valor (risco), até sofisticados modelos de simulação que se baseiam em amostragem aleatórias massivas nas distribuições que melhor representem os fenômenos estudados.

Esta dissertação aplica técnicas de análise de riscos a dois casos de interesse das áreas de metalurgia extrativa e tecnologia mineral, que são a avaliação técnico econômica de jazidas de elementos terras raras (ETRs) e a reciclagem de materiais de construção civil e demolição (RC&D).

Para o primeiro caso de análise de investimentos, jazidas de terras raras, tentou-se respeitar ao máximo as informações técnicas publicadas pelos detentores dos direitos minerais. Adicionalmente inclui-se o valor agregado por avançar na cadeia produtiva dos ETR, através da análise da fabricação dos ímãs permanentes (Um exemplo para um depósito).

Via simulações de Monte Carlo foram obtidos os intervalos de valores que as jazidas podem alcançar (valor presente líquido do ativo), suas probabilidades de perda e os montantes máximos e mínimos de lucro ou prejuízo. Fica claro que a minas que tem operação constituída e podem ter os elementos terras raras como subprodutos, irão partir com uma grande vantagem competitiva sobre as que deverão investir pesadamente na abertura de novas minas.

Para o segundo caso de análise, a reciclagem de materiais de construção e demolição (RC&D), foram comparados diferentes tamanhos de planta e opções tecnológicas, através do uso de modelagem econômica e de análise de riscos.

Como resultado observa-se que as plantas tecnologicamente mais avançadas perdem por pouco em termos de rentabilidade e risco para as convencionais, entretanto o tamanho da planta, como de usual, é a variável que mais influência na rentabilidade e redução de riscos da ventura.

Palavra Chave: Análise de Riscos, Simulação de Monte Carlo, Terras Raras, Reciclagem.



## **ABSTRACT**

Uncertainties in the fields of politics, economic, environmental and the fast social and technological developments that affect humanity lead to construction of theoretical prevision models increasingly complex. Among the most necessary techniques is the risk analysis. It is difficult for deterministic models to meet the strategic and technical needs of governments, NGOs and companies. Different areas of knowledge-developed tools that enable better manage the risks inherent in its activities. They are from spreadsheets that quantify impact and frequency of getting lost something of value (risk), to sophisticated simulation models based on random sampling in massive distributions that best represent the studied phenomena.

This dissertation applies risk analysis techniques to two cases of interest extractive metallurgy and mineral technology areas, which are the economic technical evaluation deposits of rare earth elements (REE) and the recycling of construction and demolition materials. (C&DW).

For the first case of investment, analysis for rare earth deposits tried to respect the most of the technical information published by holders of mineral rights. Additionally was included the benefit for advancing the productive chain of the REE, by analyzing the production of permanent magnets (example for one deposit).

Via Monte Carlo, simulations was obtained ranges of values that the deposits can reach (asset net present value), its probability of losses and the maximum and minimum amounts of profit or losses. It is clear that a mine currently in operation that will produce ETRs as by-products will have competitive advantage over those who need to invest heavily to open new mines.

For the second case analysis recycling construction and demolition materials (C&DW), the options compared for different plant sizes and technological choices, by using economic modeling and risk analysis. As result, it was shown that the technologically most advanced plants lose narrowly in terms of profitability and risk for conventional, size of the plant, as usual, is the variable that most influences venture's profitabilities and risk reduction.

**Keyword:** Risk Analysis, Monte Carlo Simulation, Rare Earth Recycling.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1- Dinâmica do gerenciamento de riscos</b> .....	6
<b>Figura 2- Processo de Gerenciamento de risco</b> .....	8
<b>Figura 3-Esquema da matriz Forças, Oportunidades, Fraquezas, Ameaças (FOFA ou SWOT)</b> .....	10
<b>Figura 4- Riscos sísmicos</b> .....	11
<b>Figura 5- Gráfico de escala qualitativa de riscos</b> .....	12
<b>Figura 6 - Histograma gerado a partir de uma simulação de Monte Carlo e Função de Probabilidade acumulada (FDP)</b> .....	19
<b>Figura 7-Geradores eólicos</b> .....	22
<b>Figura 8-Localização das Jazidas de ETR no Brasil</b> .....	29
<b>Figura 9-Cadeia de Valores para produção de ímãs permanentes Fonte: UNCTAD Secretaria usando dados do Canadian Imperial Bank 2011.</b> ....	32
<b>Figura 10-Gráfico abaixo mostra os Elementos ligados a geração de Energia Limpa, entre eles muitos elementos terras raras e seu nível de escassez de médio prazo no ano 2011.</b> .....	34
<b>Figura 11-Matriz de Risco ETR Brasil</b> .....	42
<b>Figura 12-Estrutura Analítica de Riscos no Negócio de Terras Raras (ETRs)</b> .....	42
<b>Figura 13-Matriz SWOT do Negócio de Terras Raras</b> .....	45
<b>Figura 14-Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos VPL do Projeto 1</b> ....	79
<b>Figura 15 - Histograma e Função de Probabilidade acumulada das TIR do Projeto 1</b> ...	79
<b>Figura 16- Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos VPL do Projeto 2</b> ...	80
<b>Figura 17- Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos VPL do Projeto 3</b> ...	80
<b>Figura 18 - Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos TIR do Projeto 3</b> ...	80
<b>Figura 19- Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos VPL do Projeto 4</b> ...	81
<b>Figura 20-Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos TIR do Projeto 4</b> ....	82
<b>Figura 21-Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos VPL do Projeto 5</b> ....	82
<b>Figura 22- Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos TIR do Projeto 5</b> ....	83
<b>Figura 23-Opções de Fluxograma RC&amp;D</b> .....	86
<b>Figura 24- Cadeia de valores dos RC&amp;D</b> .....	87
<b>Figura 25 - Preços de Produtos de reciclagem – Zanker Califórnia U.S.A.</b> .....	88
<b>Figura 26- Processo de Cálculo de Custos Planta RC&amp;D</b> .....	91

<b>Figura 27 - Fluxograma para a primeira opção: planta convencional 100 kt/a, 300 kt/a, 600kt/a .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 28 - Fluxograma para a planta de Jigagem a Ar.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 29- Fluxograma de planta convencional+Jig Seco a Ar+Sorter Automático .....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 30 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional de 100 kt/a .....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 31 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional 100 kt/a .....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 32 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional de 300 kt/a .....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 33 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional 300 kt/a .....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 34- Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional de 600 kt/a .....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 35 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional 300 kt/a .....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 36- Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig a Seco a ar de 100 kt/a.....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 37- Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig a Seco a ar 100 kt/a.....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 38- Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig a Seco a ar de 300 kt/a.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 39- Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig a Seco a ar 300 kt/a.....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 40 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig Seco a ar de 600 kt/a.....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 41 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig Seco a ar 600 kt/a.....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 42 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automático de 100 kt/a.....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 43- Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automatico 100 kt/a.....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 44 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automático de 300 kt/a.....</b>	<b>111</b>

<b>Figura 45 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automatico 300 kt/a.....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 46 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automático de 600 kt/a.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 47 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automático 600 kt/a.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 48- Gráfico Aranha – Análise de sensibilidade da opção de planta convencional 300 kt/a .....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 49 - Gráfico Aranha – Analise de sensibilidade da opção de planta convencional 300 kt/a .....</b>	<b>115</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1- Classificação de risco por agência</b> .....	4
<b>Tabela 2 - Risco País em janeiro de 2015 – Piores 10 países segundo Moody's</b> .....	5
<b>Tabela 3- Risco País em janeiro de 2015 – Melhores 10 países segundo Moody's</b> .....	5
<b>Tabela 4-Acurácia nas diferentes fases do projeto</b> .....	7
<b>Tabela 5 - Planilha de análise de risco quantitativa</b> .....	14
<b>Tabela 6- Componentes do Fluxo de Caixa (Caso Genérico)</b> .....	16
<b>Tabela 7-Aplicações e Usos dos Terras Raras</b> .....	21
<b>Tabela 8-ETR contidos por tipo de lâmpada fluorescente compacta</b> .....	24
<b>Tabela 9-Preços dos Terras Raras em 2015</b> .....	27
<b>Tabela 10-Variação de Preços de Óxidos de Terras Raras (OTR)</b> .....	27
<b>Tabela 11-Reservas e Produção por País</b> .....	28
<b>Tabela 12-Tipos de Mineralização de Terras Raras</b> .....	30
<b>Tabela 13-Fases e atividades para implantação de projeto terras raras</b> .....	33
<b>Tabela 14-Investimento e custo de operação na fase de pesquisa para projeto terras raras</b> .....	33
<b>Tabela 15-Investimento e custo de operação na fase de planta e fabrica piloto para projeto terras raras</b> .....	33
<b>Tabela 16-Investimento e custo de operação na fase de planta industrial para projeto terras raras</b> .....	34
<b>Tabela 17-Tabela sumário das principais aplicações dos elementos terras raras.</b> .....	35
<b>Tabela 18-Potenciais Recursos Mineráveis de Terras Raras no Brasil (Com Projetos ou apresentações publicas formais.)</b> .....	40
<b>Tabela 19-Analise de Risco Qualitativa do negócio de Terras Raras no Brasil</b> .....	41
<b>Tabela 20-Analise SWOT – Descrição de Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças.</b> .....	43
<b>Tabela 21- Recursos Indicados do Projeto1</b> .....	47
<b>Tabela 22-Reservas ETR Projeto 2</b> .....	47
<b>Tabela 23-Teores de OTR - Projeto 3</b> .....	49
<b>Tabela 24- Reservas e teores Projeto 4</b> .....	51
<b>Tabela 25-Projeto 4 - Custo de Capital (somente Fase 1)</b> .....	52
<b>Tabela 26-Opex (Custos Operacionais) e Despesas</b> .....	52

<b>Tabela 27-Recursos Potencialmente mineráveis Projeto 5 (Poços de Caldas).....</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 28-Projeto 5 - Sumário de Opex .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 29-Morro do Ferro - Sumario de Capex.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 30-Matriz consumo x insumo ETR .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 31-Modelo econômico determinístico Projeto 1 .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabela 32-Modelo Econômico determinístico Projeto 2 .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabela 33-Produção de ímãs permanentes – parâmetros técnicos da avaliação .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabela 34-Modelo econômico determinístico projeto Projeto 3.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabela 35-Modelo econômico determinístico Projeto 4 .....</b>	<b>64</b>
<b>Tabela 36-Modelo econômico determinístico projeto Projeto 5.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabela 37-Projeto 1 – Análise de Cenários .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 38-Análise de sensibilidade Projeto 1 variando Preços de OTR .....</b>	<b>67</b>
<b>Tabela 39-Análise de sensibilidade Projeto 1 variando custos operacionais .....</b>	<b>67</b>
<b>Tabela 40- Análise de sensibilidade Projeto 1 variando Capital.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabela 41-Projeto 2 – Análise de Cenários .....</b>	<b>68</b>
<b>Tabela 42-Análise de sensibilidade Projeto 2 variando preços de OTR e ímãs permanentes .....</b>	<b>69</b>
<b>Tabela 43-Análise de Sensibilidade Projeto 2 variando custos de OTR e ímãs permanentes .....</b>	<b>69</b>
<b>Tabela 44-Análise de Sensibilidade Projeto 2 variando capital .....</b>	<b>70</b>
<b>Tabela 45-Projeto 3 – Análise de Cenários .....</b>	<b>70</b>
<b>Tabela 46- Análise de Sensibilidade do Projeto 3 variando preços de OTR.....</b>	<b>71</b>
<b>Tabela 47-Análise de Sensibilidade do Projeto 3 variando custos operacionais de OTR</b>	<b>71</b>
<b>Tabela 48-Análise de Sensibilidade do Projeto 3 variando capital.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabela 49 - Análise de Cenários Projeto 4 .....</b>	<b>72</b>
<b>Tabela 50 - Análise de sensibilidade Projeto 4 variando preços de OTR.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabela 51-Análise de sensibilidade Projeto 4 variando custos de OTR .....</b>	<b>73</b>
<b>Tabela 52-Análise de sensibilidade Projeto 4 variando capital.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabela 53- Análise de Cenários Projeto 5 .....</b>	<b>74</b>
<b>Tabela 54 - Análise de Sensibilidade do Projeto 5 variando preços de OTR.....</b>	<b>74</b>
<b>Tabela 55-Análise de Sensibilidade do Projeto 5 variando a custos dos OTR.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabela 56- Análise de Sensibilidade do Projeto 5 variando capital.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabela 57- Parâmetros para simulação de Monte Carlo – Projeto 1 .....</b>	<b>76</b>
<b>Tabela 58- Parâmetros para simulação de Monte Carlo – Projeto 2 .....</b>	<b>76</b>

<b>Tabela 59- Parâmetros para simulação de Monte Carlo – Projeto 3 .....</b>	<b>77</b>
<b>Tabela 60-Parâmetros para simulação de Monte Carlo – Projeto 4 .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabela 61- Parâmetros para simulação de Monte Carlo Projeto 5 .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabela 62 - Resultado das análises econômicas determinísticas usando fluxo de caixa descontado para de projetos terras raras.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabela 63- Tabela resumo da análise de cenários dos projetos de terras raras .....</b>	<b>84</b>
<b>Tabela 64- Tabela resumo dos resultados das simulações dos projetos terras raras .....</b>	<b>84</b>
<b>Tabela 65- Tabela Comparativa Material Primário contra Agregados Reciclados.....</b>	<b>89</b>
<b>Tabela 66- Mix de Materiais típicos por origem.....</b>	<b>89</b>
<b>Tabela 67 - Planilha de Fatoração pelo Método de Mular .....</b>	<b>91</b>
<b>Tabela 68 - Produtividade de Triagem Manual.....</b>	<b>93</b>
<b>Tabela 69 - Capex e Opex para opção de planta convencional .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabela 70- Capex e Opex Jig Seco a Ar.....</b>	<b>94</b>
<b>Tabela 71 - Planta Convencional + Jigagem Seca +Sorter Automático – Sumario de Custos (Capex /Opex)100 kt /300 kt/ 600 kt para tratamento de RC&amp;D.....</b>	<b>96</b>
<b>Tabela 72 - Modelo determinístico para Planta Convencional com escala de 100 kt/ano</b>	<b>97</b>
<b>Tabela 73- Modelo para Planta Convencional com escala de 300 kt/ano .....</b>	<b>97</b>
<b>Tabela 74- Modelo para planta Convencional com Escala de 600 kt/ano.....</b>	<b>98</b>
<b>Tabela 75 - Modelo para Planta com Jig Seco a Ar escala 100kt/ano .....</b>	<b>98</b>
<b>Tabela 76-Modelo para Planta com Jig Seco a Ar escala 300kt/ano .....</b>	<b>99</b>
<b>Tabela 77 - Modelo para Planta com Jig Seco a Ar escala 600kt/ano .....</b>	<b>99</b>
<b>Tabela 78- Modelo Planta com Jig Seco a Ar e Sorter escala 100kt/ano (Combinada) .</b>	<b>100</b>
<b>Tabela 79 - Modelo Planta com Jig Seco a Ar e Sorter escala 300kt/ano (Combinada)</b>	<b>100</b>
<b>Tabela 80-Modelo Planta com Jig Seco a Ar e Sorter escala 600kt/ano (Combinada)..</b>	<b>101</b>
<b>Tabela 81 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional 100 kt/a .....</b>	<b>101</b>
<b>Tabela 82- Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional 300 kt/a .....</b>	<b>103</b>
<b>Tabela 83 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional 600 kt/a .....</b>	<b>104</b>
<b>Tabela 84- Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco a Ar 100 kt/a .....</b>	<b>105</b>
<b>Tabela 85 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco a Ar 300 kt/a .....</b>	<b>107</b>
<b>Tabela 86- Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco a Ar 600 kt/a .....</b>	<b>108</b>

<b>Tabela 87 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco + Sorting a Ar 100 kt/a .....</b>	<b>110</b>
<b>Tabela 88 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco + Sorting a Ar 300 kt/a .....</b>	<b>111</b>
<b>Tabela 89 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco + Sorting a Ar 600 kt/a .....</b>	<b>112</b>
<b>Tabela 90 - Sumario dos resultados das análises econômicas determinísticas de opções de planta RC&amp;D para diferentes escalas de produção anual.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabela 91- Tabela resumo das simulações de Monte Carlo para as opções de planta de tratamento de RC&amp;D .....</b>	<b>116</b>



## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE GESTÃO DE RISCOS.....	3
2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE MINERAIS TERRAS RARAS .....	19
<b>3. APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO AOS DEPÓSITOS DE ELEMENTOS TERRAS RARAS .....</b>	<b>38</b>
3.1 IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS E ANÁLISE QUALITATIVA DE RISCOS.....	41
3.2 ESTRUTURA ANALÍTICA DE RISCOS DOS PROJETOS TERRAS RARAS NO BRASIL.....	42
3.3 ANÁLISE SWOT (FORÇAS/FRAQUEZAS/OPORTUNIDADES/AMEAÇAS).....	43
3.4 ESTRATÉGIAS QUE PODEM MITIGAR RISCOS COMUNS AOS PROJETOS DE ETRS.....	45
3.5 DESCRIÇÃO DOS PROJETOS .....	46
3.6 CADEIA DE VALORES DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS E PROJEÇÃO PARA CRESCIMENTO EM 30 ANOS - MATRIZ INSUMO PRODUTO.....	54
3.7 MODELOS ECONÔMICOS DETERMINÍSTICOS DOS PROJETOS DE TERRAS RARAS .....	55
3.7.1 Modelo Econômico Projeto 1 .....	60
3.7.2 Modelo Econômico Projeto 2 .....	61
3.7.3 Modelo Econômico Projeto 3 .....	62
3.7.4 Modelo Projeto 4 .....	63
3.7.5 Modelo Econômico Projeto 5 .....	64
3.8 ANÁLISE DE CENÁRIOS E SENSIBILIDADE DOS PROJETOS DE TERRAS RARAS .....	65
3.8.1 Análise de Sensibilidade e Cenários e Sensibilidade do projeto 1 .....	66
3.8.2 Análise de Sensibilidade e Cenários e Sensibilidade do Projeto 2 .....	68
3.8.3 Análise de Sensibilidade e Cenários e Sensibilidade do Projeto 3 .....	70
3.8.4 Análise de Sensibilidade e Cenários e Sensibilidade do Projeto 4 .....	72
3.8.5 Análise de Sensibilidade e Cenários e Sensibilidade do Projeto 5 .....	74
3.9 SIMULAÇÕES DE MONTE CARLO – PROJETOS DE TERRAS RARAS.....	75
3.9.1 Simulação de Monte Carlo do Projeto 1 .....	78
3.9.2 Simulação de Monte Carlo do Projeto 2 .....	79
3.9.3 Simulação de Monte Carlo do Projeto 3 .....	80
3.9.4 Simulação de Monte Carlo do Projeto 4 .....	81
3.9.5 Simulação de Monte Carlo do Projeto 5 .....	82

<b>3.10</b>	<b>Resultados Terras Raras .....</b>	<b>83</b>
<b>3.11</b>	<b>Resumo das análises econômicas e risco dos elementos terras raras.....</b>	<b>83</b>
<b>3.11.1</b>	<b>Resumo da análise econômica determinística dos projetos terras raras .....</b>	<b>83</b>
<b>3.11.2</b>	<b>Resumo da análise de cenários econômicos dos projetos terras raras .....</b>	<b>83</b>
<b>3.11.1</b>	<b>Resumo dos resultados das Simulações dos projetos de terras raras.....</b>	<b>84</b>
<b>4.</b>	<b>A TÉCNICA DE ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO APLICADA. RECICLAGEM DE REJEITOS DE MATERIAL DE DEMOLIÇÃO E CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>85</b>
4.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA EM RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RC&D). .....	85
4.2	CADEIA DE VALORES DOS RC&D.....	87
4.3	PREÇOS DOS PRODUTOS FINAIS.....	88
4.4	MIX DE MATERIAIS .....	89
4.5	METODOLOGIA.....	89
4.6	OPÇÃO DE PLANTA CONVENCIONAL .....	92
4.7	OPÇÃO DE PLANTA CONVENCIONAL + JIG SECO A AR .....	93
4.8	OPÇÃO DE PLANTA CONVENCIONAL + JIG SECO A AR + SORTER AUTOMÁTICO .....	95
4.9	MODELOS ECONÔMICOS DETERMINÍSTICOS PARA PLANTAS DE RC&D.....	96
4.10	SIMULAÇÕES DE MONTE CARLO DAS PLANTAS DE BENEFICIAMENTO DE RC&D .....	101
<b>4.11</b>	<b>Resumo das análises econômicas e de Risco de opções de planta de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RC&amp;D). .....</b>	<b>114</b>
<b>4.11.1</b>	<b>Resumo da análise determinística de planta de reciclagem de resíduos de construção e demolição RC&amp;D.....</b>	<b>114</b>
<b>4.11.2</b>	<b>Resumo da análise de sensibilidade de opções de planta de RC&amp;D .....</b>	<b>114</b>
<b>4.11.3</b>	<b>Resumo dos resultados das simulações de Monte Carlo para opções de planta de RC&amp;D.....</b>	<b>116</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>117</b>
5.1	A TÉCNICA DE ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO APLICADA A DIFERENTES CENÁRIOS DE INVESTIMENTOS EM DEPÓSITOS DE MINERAIS TERRAS RARAS. ....	117
5.2	A TÉCNICA DE ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO APLICADA A DIFERENTES CENÁRIOS DE INVESTIMENTOS EM RECICLAGEM DE REJEITOS DE MATERIAL DE DEMOLIÇÃO E CONSTRUÇÃO CIVIL.....	118
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>119</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A partir do início do ano 2013 vivencia-se uma crise de preços dos materiais primários ligados aos recursos naturais minerais, está sucedeu um ciclo de bonança de preços, o qual foi acompanhado de uma tendência de aumentos de custos de capitais e operacionais.

Devido à queda abrupta de preços e demanda os estrategistas das empresas foram tomados por surpresa, pois estavam no meio de planos de investimento visando expansões de produção, muitas vezes usando recursos minerais marginais, que haviam sido viabilizados devido aos altos preços especulativos de seus produtos. Portanto, faltou a utilização de técnicas que levassem em consideração as incertezas e riscos, principalmente nas tomadas de decisão de investimento da indústria de aproveitamento de recursos naturais (mineração, petróleo, metalurgia etc.).

Em função dos problemas acima citados, assume-se que a gestão de riscos será de agora em diante uma parte fundamental das ações anticíclicas. **“Identificar e controlar riscos em todos os níveis do negócio, incluindo riscos políticos e econômicos globais, passará a constituir uma enorme parte do trabalho de todos os líderes”** (Larry Bossidy, 2010).

Eventos que mais afetam a mineração e áreas afins são relacionados às incertezas e riscos ligados ao mercado, pois a lei da oferta e da procura que influencia preços e quantidades faz-se presente.

Outro risco crucial é o financeiro, pois está relacionado tanto com a disponibilidade de capital para investir, mas também quanto aos custos financeiros (taxa de juros).

Os riscos técnicos podem ser igualmente fatais, por exemplo o risco de avaliar erroneamente os recursos naturais (volumes, tonelagens e qualidade), mas também os erros em subestimar custos de capital, custos operacionais e ainda superestimar recuperações do produto final etc.

Riscos citados acima são frequentes e impactantes, mas são agravados quando combinados com riscos informacionais e de alinhamento de incentivos (informações iniciais para tomada de decisões escassas ou associadas com ganhos pessoais nos anúncios de grandes negócios baseados nestas informações).

O primeiro caso de estudo, será o de aplicação de técnica de análise de risco econômico nas minas de elementos terras raras, no qual foi dada especial atenção a evolução do mercado dos elementos terras raras através da elaboração de uma matriz de insumo x produto. Acredita-se que a sustentabilidade da mineração de terras raras no Brasil vai depender de como a cadeia

produtiva interna vai desenvolver-se, pois atualmente o consumo interno é muito pequeno **“em torno de 415 t de manufaturados e compostos 887 t”** (DNPM, 2014), e outro fator complicador é que o mercado externo está controlado pelo principal produtor mundial que é a República Popular da China. Como efeito deste ambiente de negócios e estratégias utilizadas, **“minas recentemente abertas nos Estados Unidos e na Austrália encontram-se em situação financeira deficitária”** (Globenewswire, 2015), (Yahoo Finance, 2015) ocasionada principalmente pela queda de preços ocorrida entre 2012 e 2015.

Para o estudo foram selecionados projetos que tinham informação pública disponível, de forma a desenvolver análises econômicas e de risco com o intuito tirar conclusões sobre o problema proposto (suprimento de elementos terras raras ao mercado brasileiro via minas nacionais). Nome das empresas e projetos não serão mencionados para evitar constrangimentos.

O segundo caso estudado foi o de aplicação de técnica de análise de risco econômico à reciclagem de rejeitos de material de demolição e construção civil. No qual especial atenção foi dada a seleção de rotas de beneficiamento e à definição de tamanhos de plantas de reciclagem com o auxílio das ferramentas de análise econômica e de riscos.

### **Objetivos da Dissertação**

Através do uso de técnicas de análise de risco econômico busca-se para os dois casos estudados atingir o seguinte:

- a) Caso de Minas de Elementos Terras Raras: Estabelecer rentabilidade e nível de riscos para exploração econômica de depósitos com informação pública parcial, de forma a apoiar os tomadores de decisão, principalmente as autoridades de fomento interessadas no aproveitamento dos recursos minerais de depósitos dos ETRs no Brasil.
- b) Caso de reciclagem de rejeitos de material de demolição e construção civil: Investigar as rotas de processo e tamanhos de planta, que permitam rentabilidade e riscos aceitáveis usando ferramentas de análise de risco econômico.

A estrutura desta dissertação é composta pelo primeiro capítulo introdutório, o segundo capítulo sendo uma revisão bibliográfica de gestão de riscos e elementos terras raras. O terceiro capítulo é a aplicação da técnica de análise de riscos a depósitos de terras raras. O quarto capítulo é aplicação de técnicas de análise de risco à reciclagem de rejeitos de construção civil e demolição. O quinto e o sexto capítulos respectivamente para conclusões e referências bibliográficas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Revisão bibliográfica sobre Gestão de riscos

#### Risco

**“Origem da palavra risco vem do latim risicu e riscu. Neste contexto a palavra deve ser interpretada como conjunto de incertezas encontradas quando se ousar fazer algo, e não apenas como problema”.** (Carlos Alberto Corrêa Salles Jr., 2007).

Risco em administração designa a combinação entre a probabilidade de ocorrência de um determinado evento (aleatório, futuro e independente da vontade humana) e os impactos (positivos ou negativos) resultantes quando o evento ocorra (Wikipédia, 2015). Tipos de Risco mais usuais:

- Riscos Operacionais;
- Risco Técnico;
- Risco Naturais;
- Risco Ambiental;
- Risco Financeiro;
- Riscos Políticos;
- Risco informacional;
- Risco de alinhamento de incentivos.

Riscos operacionais são relacionados ao negócio. No caso de um projeto podemos ter

**“Riscos associados ao ambiente de projeto (integração), riscos associados escopos mal definidos, riscos associados a prazos, riscos associados a custos, riscos associados a recursos humanos, riscos associados a falha de comunicação, riscos associados à perda de qualidade, riscos associados a suprimentos e aquisições (erro de especificação e não cumprimento de prazos) ”** (Carlos Alberto Corrêa Salles Jr, 2007).

A execução depende de três grandes elementos, as pessoas, as estratégias e a operação. Caso se escolha as pessoas inadequadas ou a estratégia errada, a operação terá uma grande probabilidade de não alcançar os resultados esperados.

Riscos técnicos podem resultar da combinação de riscos associados ao projeto, já citados acima, mas também pode ser algo que o técnico responsável não sabia que poderia ocorrer.

Riscos naturais são relacionados aos fenômenos naturais tais como: furacões, vendavais, inundações, terremotos, avalanches, aluviões, vulcões etc. Fenômenos estes que, via de regra, não tem influência direta do homem.

Riscos ambientais são riscos ligados a agentes produzidos pelo homem que podem ser físicos, químicos e biológicos.

**“Os agentes físicos decorrem de processos e/ou equipamentos: ruído, vibrações, pressões anormais, temperaturas extremas (calor ou frio), radiações ionizantes e radiações não-ionizantes. Os agentes químicos são oriundos da manipulação e processamento de matérias primas e insumos que possam entrar pela via respiratória, pelo contato ou ser absorvidos através da pele ou organismo sendo: gases, vapores, poeiras, fumos, névoas e neblinas. Os agentes biológicos são oriundos da manipulação, transformação e modificação de seres vivos microscópicos, dentre eles: bactérias, fungos, bacilos, parasitas, protozoários, vírus, entre outros”**  
(Wikipédia, 2015).

Risco financeiro é um risco tão importante para os investidores quanto o retorno esperado. Como os retornos dos negócios são comparados a negócios similares ou a aplicações financeiras de longo prazo, necessitamos avaliar os riscos relacionados a parâmetros macroeconômicos como inflação, taxas de juros de longo prazo, bem como os parâmetros microeconômicos, sazonalidade preços de insumos, juros sobre de giro, aplicações financeiras de curto e médio prazo do dia a dia da empresa.

Riscos políticos e econômicos de um país (risco país) ou região são monitorados pelas agências de qualificação de riscos, assim como de grandes empresas. Foi desenvolvido um ranking de classificação de AAA a D mostrados na tabela abaixo. A taxa de risco dos ativos em um país seriam, a taxa livre de risco (de 5,75% em janeiro de 2015) mais o prêmio de risco país (*country risk premium*) (no caso do Brasil, de 8,60% no início de 2015).

**Tabela 1- Classificação de risco por agência**

	Moody's	S&P	Fitch
	Aaa	AAA	AAA
Categoria de Investimento	Aa1	AA+	AA+
	Aa2	AA	AA
	Aa3	AA-	AA-

	Baa1	BBB+	BBB+
	Baa2	BBB	BBB
	Baa3	BBB-	BBB-
	Ba1	BB+	BB+
	Ba2	BB	BB
	Ba3	BB-	BB-
	B1	B+	B+
	B2	B	B
	B3	B-	B-
Categoria de Investimento de risco	Caa1	CCC+	CCC
	Caa2	CCC	CC
	Ca	CCC-	C
	C	CC	DDD
		SD	DD
		D	D

Fonte: Moody's, Standard & Poor, Fitch Rating's

**Tabela 2 - Risco País em janeiro de 2015 – Piores 10 países segundo Moody's**

Country		Moody's rating	Country Risk Premium
Jamaica	Caribbean	Caa3	15,00%
Ukraine	Eastern Europe & Russia	Caa3	15,00%
Belize	Central and South America	Caa2	13,50%
Cuba	Caribbean	Caa2	13,50%
Argentina	Central and South America	Caa1	11,25%
Egypt	Africa	Caa1	11,25%
Greece	Western Europe	Caa1	11,25%
Pakistan	Asia	Caa1	11,25%
Venezuela	Central and South America	Caa1	11,25%
Andorra	Western Europe	B3	9,75%

Fonte: [http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/ctryprem.html](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html): Aswath Damodaran

**Tabela 3- Risco País em janeiro de 2015 – Melhores 10 países segundo Moody's**

Country		Moody's rating	Country Risk Premium
Australia	Australia & New Zealand	Aaa	0,00%
Austria	Western Europe	Aaa	0,00%
Canada	North America	Aaa	0,00%
Denmark	Western Europe	Aaa	0,00%
Finland	Western Europe	Aaa	0,00%
Germany	Western Europe	Aaa	0,00%
Luxembourg	Western Europe	Aaa	0,00%
Netherlands	Western Europe	Aaa	0,00%
New Zealand	Australia & New Zealand	Aaa	0,00%
Norway	Western Europe	Aaa	0,00%

Fonte: [http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/ctryprem.html](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html): Aswath Damodaran

Risco informacional é **uma característica de um modelo de negócio que exige que você tome a decisão sem informações suficientes** (Karan Girotra, 2015).

Risco de alinhamento de incentivos **surge quando os incentivos impostos por um modelo de negócios levam a ações que se chocam com os interesses mais amplos de uma cadeia de valor.** (Karan Girotra, 2015). Este tipo de risco foi particularmente importante na crise dos derivativos imobiliários nos Estados Unidos da América em 2008. A política de incentivos de altos executivos levou os mesmos a assumirem riscos elevados na compra destes papéis em troca dos excelentes bônus que recebiam pelo volume de aplicações. Os executivos não foram submetidos pessoalmente aos mesmos riscos que os acionistas. Este é um bom exemplo de risco de alinhamento de incentivos.

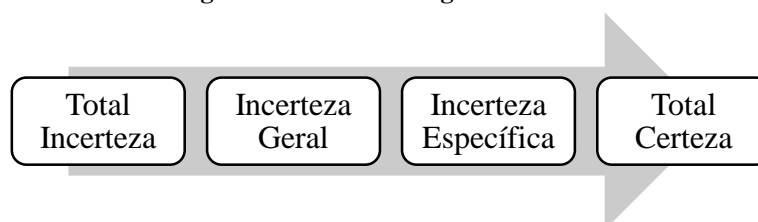
### Gerenciamento de risco

Como dizia Peter Drucker **“somente podemos controlar o que podemos medir”** (apud. Devore, 2006). Logo administração de risco é oriunda da necessidade de previsão do futuro, para isto temos que controlar atividades presentes, **“e via teoria das probabilidades que nos oferece métodos para a quantificação das chances ou possibilidades de ocorrência associadas aos diversos resultados”**. (Devore, 2006).

**“Gerenciar Riscos envolve a tomada de decisões em ambiente incerto, complexo e dinâmico”** (Carlos Alberto Corrêa Salles Jr., 2007).

A figura 1, abaixo, representa esta dinâmica do gerenciamento de risco. Através de adensamento na obtenção de dados, evolução dos estudos específicos, simulações de eventos futuros vamos nos aproximando da previsão final. Total certeza normalmente não é uma posição realista, mas aproximar-se de uma previsibilidade que nos afastará de impactos indesejáveis é o objetivo.

**Figura 1- Dinâmica do gerenciamento de riscos**



Fonte: (Carlos Alberto Corrêa Salles Jr., 2007)



Em Engenharia temos diversas designações para os processos de evolução das fases dos estudos. Abaixo temos as terminologias mais usadas.

- Concepção da ideia e planejamento do negócio: FEL1; planejamento da instalação: FEL2; planejamento do projeto: FEL3 e fase de operação;
- Estudo conceitual, pré-viabilidade, viabilidade, engenharia básica, engenharia de detalhe ou projeto definitivo, posta em marcha e operação.

Cada uma destas fases está relacionada com o grau de incerteza em que se encontra o estudo ou projeto. Caso o estudo esteja dentro de um intervalo de confiança aceitável para esta fase, o analista de projetos pode simular os resultados de acordo com a acurácia estimada, desta forma pode inferir uma probabilidade de sucesso ou insucesso do empreendimento. Observa-se que quanto mais avançado está o estudo, menor é o erro aceitável. Exemplo abaixo mostra as acurácias para as diferentes fases de estudo para projetos de mineração.

**Tabela 4-Acurácia nas diferentes fases do projeto**

<b>Atividade</b>	<b>Acurácia</b>
Estudo Conceitual (FEL1)	30-35%
Pré-Viabilidade (FEL2)	20-25%
Viabilidade (FEL3)	10-15%
Definitivo (FEL3*)	5-10%

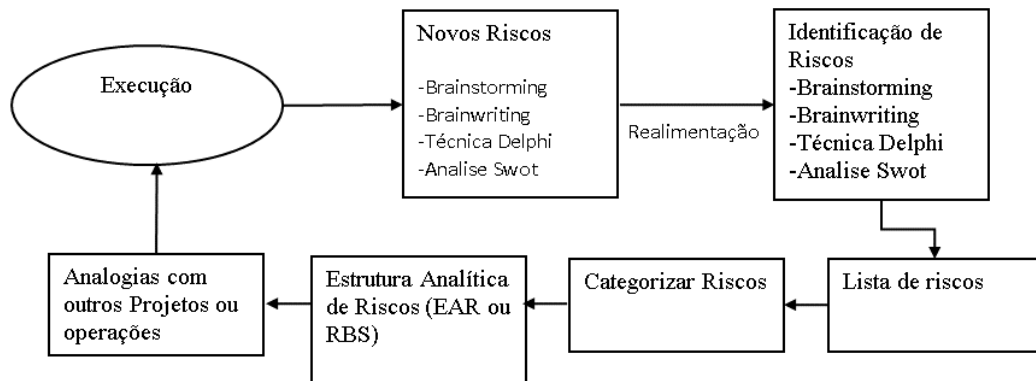
Fonte: (AUSIMM, 1993) modificado, \*inclui engenharia básica

O risco é o produto do impacto do evento pela probabilidade de o evento ocorrer. Logo segundo o PMI (**Project Management Institute**) gerenciamento de risco é:

**“O processo de identificação dos riscos, análise, desenvolvimento de respostas e monitoramento dos riscos, com o objetivo de diminuir a probabilidade e o impacto de eventos negativos e de aumentar a probabilidade de e o impacto de eventos positivos”.** (Carlos Alberto Corrêa Salles Jr, 2007).

A figura 2 tenta resumir o processo de gerenciamento de risco que é cíclico ou melhor dizendo interativo, pois nunca devemos parar de analisar os riscos que nos circundam, através das ferramentas que serão descritas mais adiante neste capítulo.

Figura 2- Processo de Gerenciamento de risco



Fonte: (Carlos Alberto Corrêa Salles Jr., 2007) - Modificado

### Identificação de Riscos

A identificação dos riscos é feita através de técnicas como (*brainstorming*) e (*brainwriting*), que iniciam com a escolha de um facilitador. São desenvolvidas através de reuniões com grupos multidisciplinares compostas por membros do projeto ou operação e especialistas nos processos a serem analisados.

Esta técnica permite reforçar o sentimento de propriedade (*ownership*) dos membros do projeto ou operação. Estes, muitas vezes, acreditam que os riscos são dos fornecedores, clientes, do país, do meio ambiente etc. Frequentemente não tomam para si o controle dos mesmos. Isto é feito através de sua identificação, propostas de mitigação (reduzir impacto e probabilidade de eventos negativos), mantendo o controle da execução destas medidas mitigadoras sobretudo através da revisão periódica.

**“Processo de (*brainstorming*) tem as seguintes regras (Carlos Alberto Corrêa Salles Jr., 2007):**

- **Selecionar participantes;**
- **Selecionar facilitador;**
- **Não ao Não (Não questionar a ideias dos outros membros), isto bloqueia criatividade;**
- **Não existe outra regra;**
- **Facilitador registra todos riscos identificados;**
- **No (*brainwriting*) os riscos são passados por escrito.**

Quando existem distintos níveis hierárquicos mesclados, opta-se pela técnica Delphi:

- Riscos são enviados anonimamente por escrito ao Facilitador sem o conhecimento dos demais membros do workshop de riscos;
- Facilitador consolida as listas;
- Participantes recebem listas preliminares para revisão e completar se necessário;
- Participantes enviam listas para o facilitador”.

### Análise SWOT

Análise sigla em inglês que significa (*Strenght*) Força, (*Weakness*) Fraquezas, (*Opportunities*) Oportunidades e (*Threat*) Ameaças. Este é um passo das análises que nos permite confrontar os ambientes internos e externos, que são sumarizados em uma planilha que teremos a oportunidade de aplicar nos próximos capítulos sobre o caso de ETRs.

“Análise SWOT (Carlos Alberto Corrêa Salles Jr., 2007)

**Análise SWOT é uma matriz (Na coluna: Forças e Fraquezas, na linha: Ameaças e Oportunidades) que nos permite posicionar o projeto em relação ao cenário externo e interna da empresa, como resultado teremos as potenciais ações defensivas, ofensivas, inferir vulnerabilidades e debilidades.**

**Oportunidades: São tendências sociais, econômicas, comerciais, mercadológicas e políticas, com consequências potencialmente positivas para o projeto.**

**Ameaças: São tendências sociais, econômicas, comerciais, mercadológicas e políticas, com consequências potencialmente negativas para o projeto.**

**Forças: Recursos e competências internas a organização de que se dispões para explorar e alavancar oportunidades e minimizar ameaças. São fatos.**

**Fraquezas: São deficiências que inibem a capacidade de desempenho e devem ser superadas para explorar/alavancar oportunidades e minimizar ameaças. São fatos”.**

**Figura 3-Esquema da matriz Forças, Oportunidades, Fraquezas, Ameaças (FOFA ou SWOT)**

	Ameaças	Oportunidades
Forças	Potencialidade de Ações Defensivas	Potencialidade de Ações Ofensivas
Fraquezas	Vulnerabilidades	Debilidades

Ameaças e oportunidades são componentes do ambiente externo, não controlado pelos (*stakeholders*) internos. Fraquezas e Forças são componentes do ambiente interno.

### **Análise de Riscos**

Por melhor que a equipe de execução seja, sabe-se que as ameaças externas vão agir, e forças e fraquezas internas virão à tona, portanto nem tudo que foi planejado atingirá os objetivos com precisão e acurácia de acordo com o previsto. Eventos negativos aconteceram, logo, é necessário estimar a probabilidade de sua ocorrência, e a amplitude dos impactos na escala selecionada que podem ser valor, tempo, qualidade etc.

Se pode analisar os riscos através das seguintes abordagem:

- Qualitativas: Atribuição de grau para probabilidade e grau de impacto;
- Quantitativas: Estimativa numérica da probabilidade de ocorrência dos riscos, cálculo do valor monetário esperado, atrasos, indicadores de qualidade etc.

### **Execução da Análise**

Principalmente quando não há a cultura de analisar riscos ou não havendo histórico de riscos na organização, recomenda-se que nesta análise se use especialistas externos.

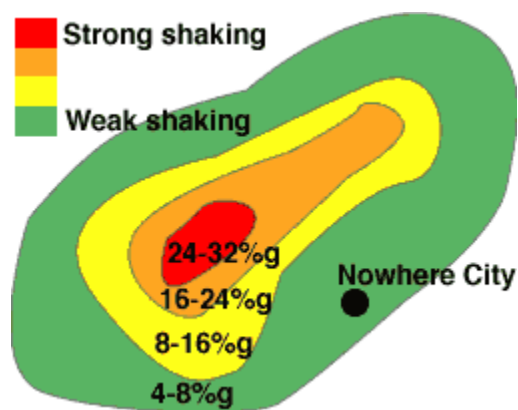
Definida uma reunião com a equipe de planejamento e execução, usando as listas definidas nos processos de identificação de riscos como visto anteriormente, pode-se iniciar as análises de risco usando abordagem qualitativa aonde:

Probabilidade e impacto receberam graus de intensidade em:

- Adjetivos: alto, médio, baixo;
- Escala numérica por exemplo de 0 a 1, ou 0 a 100 (em passos de 10);
- Cores (vermelho, amarelo, azul etc.).

Para facilitar o entendimento, da abordagem qualitativa, um exemplo do uso técnica é mostrada na figura 4 através de um mapa de risco sísmico da USGS em cores (USGS, 2015).

**Figura 4- Riscos sísmicos**



Fonte: <http://earthquake.usgs.gov/hazards/about/basics.php>

Análise qualitativa de riscos pode ser executada adotando diferentes graus de complexidade:

- Analisar a lista de risco se fazendo somente sua qualificação;
- Qualificação para priorização; e pré-seleção;
- Quantificação numérica apenas dos riscos pré-selecionados. (Quantificação grosseira para impacto e probabilidade. Exemplo: 0 a 1).

Muitas organizações se sentem inseguras nesta fase da análise, parece extremamente empírica, mas como o projeto está em fase muito inicial e a visão global não está disponível, a experiência dos membros da equipe que já executaram projetos similares deve ser ouvida para criar uma visão de um projeto que ainda não está formatado. Além dos mais na fase inicial não existem em sua maioria os estudos específicos de análises de risco tais como (usando exemplo

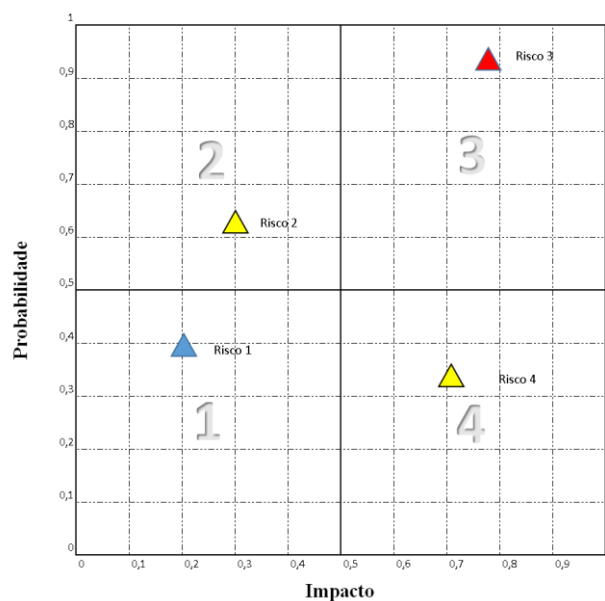
de avaliação de depósitos minerais): simulações condicionais de teores geológicos, modelos hidro geológicos estocásticos, modelos climáticos probabilísticos, modelos probabilísticos geotécnicos ou de solos etc.

**“Logo, para seguir adiante, as opções são as seguintes (Carlos Alberto Corrêa Salles Jr, 2007):**

- **Não aplicar risco somente via contingências (por exemplo, 35% na fase do estudo conceitual);**
- **Fazer a análise de riscos usando somente a qualificação (exemplo: Intolerável, Moderado, Tolerável, Trivial.);**
- **Fazer o gerenciamento de risco usando o processo qualitativo para gerar um primeiro filtro, priorizar, e a partir de aí quantificar;**
- **Ou fazer diretamente o gerenciamento de risco usando quantificação”.**

Uma forma prática, ainda dentro da abordagem qualitativa é através de uma escala, qualificar as probabilidades entre 0 e 1, e os impactos entre 0 e 1. Criando matrizes com graus de probabilidade de 0 a 1, graus de impacto de 0 a 1, criando uma grade de tolerância como mostrada na figura 5, abaixo. Quadrante 1 é de baixa probabilidade e baixo impacto, Quadrante 2 de alta probabilidade e baixo impacto, Quadrante 3 é de alta probabilidade e alto impacto, quadrante número 4 de baixa probabilidade e alto impacto.

**Figura 5- Gráfico de escala qualitativa de riscos**



**Fonte: Petter, R (2015)**

Logo o quadrante menos prioritário é o quadrante 1, aonde os riscos têm baixo impacto e baixa probabilidade de ocorrer, poderiam não ser quantificados na próxima fase. Nas páginas seguintes mostramos um exemplo de planilha quantitativa de riscos, usada no (*Brainwriting*), ou técnica (*Delphi*).

Para análise de riscos quantitativa começa-se pelos riscos listados. Temos que analisar qualitativamente os impactos na tabela 5

- Custos (Ocorrência do evento pode impactar custos do projeto);
- Cronograma (Ocorrência do evento pode impactar prazo do projeto);
- Escopo (Ocorrência do evento altera obtenção do trabalho requerido);
- Qualidade (Ocorrência do evento altera obtenção da qualidade requerida).

Podemos qualificar em:

- Impacto insignificante = 0,1
- Impacto sem efeito no aceite do projeto = 0,3
- Alguns entregáveis impactados percebíveis no aceite do projeto = 0,5
- Impacto muito significativo para o cliente = 0,7
- Inaceitável para o cliente = 0,9

Qualificando impacto em de custo, cronograma, escopo e qualidade de 0,1 a 0,9, escolheremos o impacto mais alto como geral.

Tabela 5 - Planilha de análise de risco quantitativa

ANÁLISE DE RISCOS									
Identificação do Projeto:			Projeto:						
Risco nº	Identificação do Risco		Análise qualitativa do Risco					Probabilidade	Probabilidade x Impacto
	Descrição do Risco		Custo	Cronograma	Impacto Escopo	Qualidade	Geral		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Fonte: (Carlos Alberto Corrêa Salles Jr., 2007) - modificado



Probabilidade do risco será de ocorrência deste risco caso nenhuma ação seja tomada, poderemos qualificar em:

- Muito improvável de acontecer = 0,1;
- Mais provável de não acontecer = 0,3;
- Probabilidade de acontecer ou não é igual = 0,5;
- Mais provável de acontecer do que não acontecer = 0,7;
- Muito provável que ocorra = 0,9.

Multiplicando-se a probabilidade pelo impacto do risco é estabelecida a avaliação geral do peso do risco. Para avaliar o risco geral do projeto será a média aritmética da probabilidade x impacto de cada risco, dividido pelo maior valor que pode alcançar o produto impacto x probabilidade, logo teremos a seguinte equação:

Equação de resultado da análise de risco geral:

$$\text{Risco Geral} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \times P_i}{N \times (0,81)} \quad (1)$$

ONDE:

I<sub>i</sub> - Impactos dos riscos listados

P<sub>i</sub> - Probabilidade dos riscos listados

N - Número de riscos listados x ( 0,9 × 0,9 = 0,81) que é o máximo risco possível.

### Para analisar quantitativamente os riscos

Análise econômica de um projeto para avaliar os efeitos de riscos numericamente, temos que tratar os impactos usando unidades comuns a todos os riscos. Logo devemos decidir se vamos analisar valor, tempo, qualidade etc. Objetivo final da maioria dos projetos é criar valor, portanto a criação de valor pode ser representada pelo valor econômico. Temos várias equações-chaves para representação de valor econômico na data presente, portanto fluxo de caixa líquido para o período de previsão.

$$\text{Valor Econômico} = \sum_0^n \frac{CF}{(1-i)^n} \quad (2)$$

$CF = \text{Fluxo de Caixa}$

$i = \text{taxa de desconto (CMPC ou WACC)}$

$n = \text{tempo correspondente ao fluxo de caixa}$

Pela equação no numerador temos as componentes do Fluxo de caixa (Fluxo de Caixa - FC) interferem no resultado.

**Tabela 6- Componentes do Fluxo de Caixa (Caso Genérico)**

Componentes do Fluxo de Caixa	Descrição	Sinal
Recebimentos de Clientes	Preço x Quantidade x Recuperação	(+)
Pagamento a Fornecedores		(-)
Salários & Encargos		(-)
Impostos e taxas		(-)
Compra de imobilizado		(-)
Venda de imobilizado		(+)
Empréstimos recebidos		(+)
Pagamento dos empréstimos		(-)
Ações emitidas		(+)
Dividendos pagos		(-)

Fonte: FGV Managemt Contabilidade Financeira - Modificado

Agora analisando o denominador temos a taxa de desconto ( $i$ ), que pode ser uma única taxa, ou uma taxa para o fluxo de caixa operacional, e outra para o fluxo de investimentos.

Como calcular a taxa de desconto é um ponto importante. Normalmente descontamos usando o custo médio ponderado de capital (CMPC ou WACC). Mas muitos analistas usam a taxa de mínima de atratividade (TMA) para descontar. Outros usam o CMPC somente para o capital e a TMA para fluxo de caixa operacional. A diferença é que os métodos que aplicam a TMA, qualquer valor presente líquido (VPL) acima de zero já seria aceitável para aprovação do projeto. Usando o CPMC temos que calcular a taxa interna de retorno (TIR) (TIR= taxa de desconto que zera o valor presente líquido), se a TIR for maior que a TMA e o VPL é maior que zero, o projeto já seria aceitável para aprovação.

Calculo de custo médio ponderado de capital (CMPC)

$$CMPC = \frac{\text{Capital Próprio}}{\text{Capital Total}} \times Ks + \frac{\text{Capital de Terceiros}}{\text{Capital Total}} \times Kd \quad (3)$$

$$Ks = \text{custo do capital próprio} \left( \frac{\text{dividendos}}{\text{valorda ação}} \text{ em } \% \right)$$

$$Kd = \text{custo da dívida (taxa de juros em \%)}$$

Para explicar como se calcula a TMA teremos que voltar aos anos 60, quando Sharpe e Lintner desenvolveram uma teoria precificação de capitais que considerava RISCO X RETORNO

$$TMA = Ki \quad (4)$$

$$Ki = RF + \beta \times (ERM - RF) \quad (5)$$

KI=taxa adequada para o Risco do ativo

$\beta$  = Beta = tangente da reta formada pela rentabilidade do ativo estudos (no eixo Y), e a rentabilidade do portfólio de ativos do mesmo mercado. (ERM)

ERM= Retorno esperado do portfólio de mercado

RF = taxa livre de risco

Quanto as análises econômicas podemos avaliar aplicando uma das abordagens tradicionais que são:

- Estimativa determinística;
- Análise de sensibilidade;
- Simulação de Monte Carlo.

### **Estimativa determinística**

Como o valor esperado é o produto do impacto vezes a probabilidade, podemos quantificar determinísticamente cada risco via as seguintes equações.

$$\text{Valor esperado do risco} = \text{impacto} \times \text{probabilidade} \quad (5)$$

$$\text{Valor esperado do projeto} = \text{Valor Base} + \sum \text{valores esperados de todos os riscos} \quad (6)$$

Logo podemos ter uma idéia quantitativa para o cenário considerando os riscos com probabilidades mais prováveis. Valor esperado é o valor incremental, que na maioria das vezes é negativo.

### **Análise de sensibilidade**

Esta é análise que quantifica “o que passa com o valor se acontecer...”, avalia o impacto do risco se tivermos variações nos dados de entrada do projeto. Usualmente se escolhe intervalos de variação fixos para análise (-50%, -25%, 0%, +25%, +50%), para estas variações de um dado de entrada único se calcula os resultados dos projetos, tais como valor presente líquido, taxa interna de retorno etc. Projetos de mineração em geral variam os preços do produto, custos operacionais, investimentos, teores de alimentação (qualidade), recuperação metalúrgica, e taxas de desconto etc.

### **Simulação de Monte Carlo**

A simulação de Monte Carlo gera múltiplos cenários, cada variável de incerteza possui uma distribuição de probabilidade associada, obtida através de distribuição padrão, ou distribuição obtida por observações.

Primeiramente deve-se aplicar um gerador de variáveis aleatórias de distribuição uniforme, por exemplo: tem-se uma variável aleatória  $X$  que é distribuída uniformemente num intervalo  $[a,b]$ , uma suposição razoável para geração de  $X$  é dada por:

$$X = a + (b - a) \times U \quad (7)$$

Onde  $U$  é um número randômico pertencente ao intervalo  $(0,1)$ .

Identifica-se uma função acumulada que melhor represente a variável a ser simulada, ou seja que mantenha as principais características da função original. Por exemplo uma função normal e sua acumulada que mantem a média e desvio padrão coerentes com a distribuição “real”.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} N(\mu, \sigma) dx \quad (8)$$

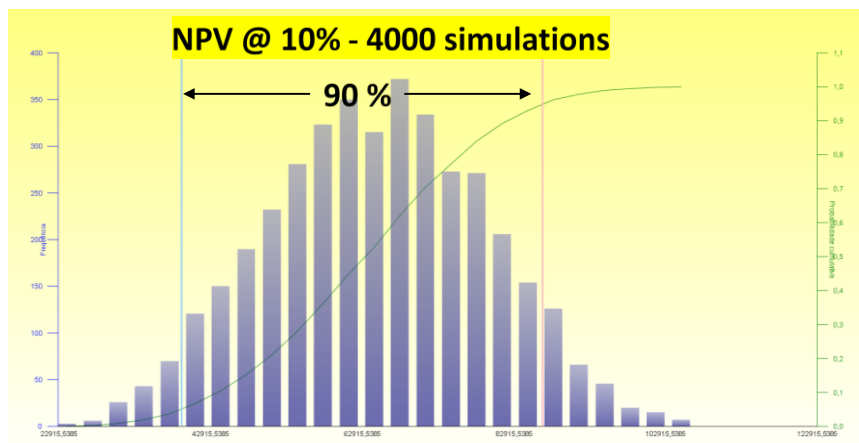
Na prática aplicasse o conjunto de valores gerados as variáveis de incerteza através de uma função de transformação como por exemplo: fluxo de caixa, otimização de cava, cronograma (*PERT*) de um projeto etc. Obtém-se a distribuição dos resultados que podem ser representados por histogramas, ou função de probabilidade acumulada.

$$N^{-1} = [F(x)] = N(x) \quad (9)$$

Desta forma poderemos alimentar os tomadores de decisão com respostas tais como a probabilidade de perda ( $VPL < 0$ ), com perda máxima de X\$ para um intervalo de confiança de Z%. Ou probabilidade de obter uma taxa interna de retorno superior à taxa mínima de atratividade Y\$ para um intervalo de confiança de W%.

Exemplificaremos usando figura (6) com uma distribuição de resultados para uma análise de plantas de RC&D. Temos um histograma obtido através da simulação com milhares de interações, aonde os resultados de valor presente líquido VPL (em inglês NPV) podem ser interpretados usando a curva de frequência acumulada (gráfico de linha), aonde os valores de NPV que estão no eixo horizontal e as probabilidades estão no eixo vertical, aonde podemos fazer a seguinte leitura dos resultados: 90% de confiança para um VPL 10% entre 39 MUS\$ e 87 MUS\$.

**Figura 6 - Histograma gerado a partir de uma simulação de Monte Carlo e Função de Probabilidade acumulada (FDP)**



Fonte: Petter, Renato (2015)

## 2.2 Revisão bibliográfica sobre minerais terras raras

Denominação Terras Raras (K.A.Gsheneidner, 1999).

O nome de terras raras tem suas origens na história da descoberta de estes elementos. Eles nunca são encontrados como metais livres na crosta da Terra e minerais puros de terras raras individuais não existem. São encontrados como óxidos que provaram ser particularmente difíceis de separar uns dos outros, especialmente para os químicos do século 18 e 19. No início os gregos tinham definido as terras como os materiais que não poderiam ser posteriormente alterados por fontes de calor, e esses óxidos parecem se encaixar nessa definição. A parte **“rara”** do nome refere-se a dificuldade em obter os elementos puros, e não na sua abundância relativa na crosta da Terra; todas os elementos terras-raras são, na verdade mais abundantes do que a prata, e alguns são mais abundantes do que o chumbo.

### **Definindo as Terras Raras**

Os metais das terras raras são, por definição, o grupo de elementos do grupo IIIb, Sc, Y, La e os 14 lantanídeos de Ce-Lu. O termo "terra rara" tem sido muitas vezes aplicada no sentido mais restrito como um sinônimo para os lantanídeos, assim excluindo Sc, Y e La. É razoável considerar os lantanídeos como um grupo separado do resto da tabela periódica, pois suas principais propriedades que dependem da ocupação da camada eletrônica 4f, de 0 (La) e 14 (Lu). Um importante exemplo pode ser encontrado nas propriedades magnéticas dos lantanídeos, muitas vezes exóticas observadas em ligas e compostos que contêm estes elementos que são intimamente dependentes dos elétrons 4f nos lantanídeos, e são, portanto, ausentes no Sc, Y e La.

Como as interações químicas entre os átomos são dominadas por suas configurações externas de elétrons, essa semelhança é diretamente responsável por os elementos de terras raras serem difíceis de separar entre si.

### **Aplicações e Usos**

De acordo com a publicação USO E APLICAÇÕES DAS TERRAS RARAS NO BRASIL (Cgee, 2013)

**“Hoje em dia, os usos e as aplicações dos 17 elementos constituintes do grupo das ETRs concentram-se em áreas de alta tecnologia, e não são conhecidos até o momento substitutos que proporcionem o mesmo desempenho. Nas tecnologias relacionadas a energias limpas e controle de emissões atmosféricas, por exemplo, as cadeias produtivas são fortemente dependentes de ETRs, essenciais na fabricação de:**

- **Imãs permanentes, usados em turbinas eólicas e veículos elétricos;**

- **Baterias avançadas, utilizadas em veículos elétricos;**
- **Semicondutores filmes-finos, usados em sistemas de energia fotovoltaica;**
- **Fósforos, utilizados em sistemas de iluminação mais eficientes”.**

Outro uso estratégico de ETRs refere-se aos catalisadores utilizados no refino do petróleo e nos sistemas de exaustão de veículos. Estima-se que a falta de catalisadores que contem lantânio, uma das ETRs, reduziria a produção de derivados do petróleo pelas refinarias em cerca de 7%. Esses são apenas exemplos da ampla gama de usos industriais e aplicações de ETRs abordadas neste estudo, segundo uma visão estratégica de longo prazo, pautada nos princípios da sustentabilidade.

**Tabela 7- Aplicações e Usos dos Terras Raras**

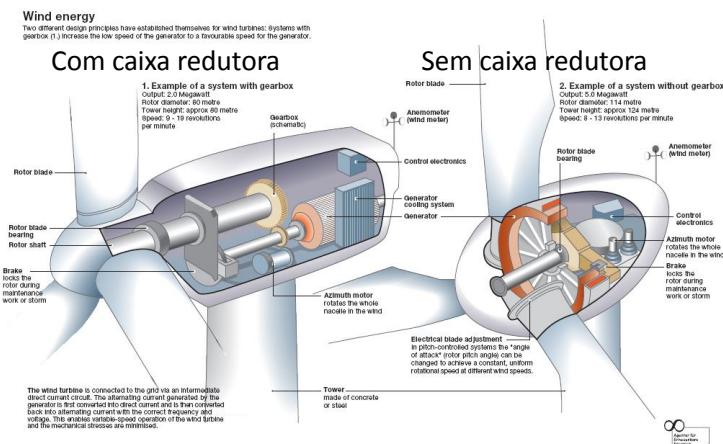
<b>Terras Raras Leves</b>	<b>Maior uso final</b>	<b>Terras Raras Pesados</b>	<b>Maior uso final</b>
Lantânio	Motores híbridos, ligas metálicas	Térbio	Fósforos e Imãs permanentes.
Cério	Catalisadores de automóveis, Catalisadores no Petróleo, ligas metálicas	Disprósio	Imãs permanentes, Motores híbridos.
Praseodímio	Imãs	Hólmio	Colorir vidros, lasers.
Neodímio	Catalisador em automóveis, discos duros, fones de ouvido, motores híbridos.	Érbio	Fósforos
Samário	Imãs	Túlio	Unidades de Raio X médicos.
Európio	Fosforo com cor vermelha para TV e telas de computadores.	Ítérbio	Laser, Ligas de aço
		Lutécio	Catalizador na Indústria do Petróleo
		Gadolinio	Imãs
		Ítrio	Cor vermelha, lampadas fluorescentes, cerâmicas, agente nas ligas metálicas.
Fonte: DOI USGS Circular 930-N (modificado)			

## **Principais mercados para os elementos terras raras**

### **Geração Eólica**

Geradores eólicos de transmissão direta e híbridos são mais eficientes, porém mais caros, por usar ímãs permanentes, os geradores de transmissão via caixa redutora dispensam os mesmos, sendo mais baratos. Estes ímãs permanentes usam ligas magnéticas que tem propiciado a produção de materiais que geram campos magnéticos de alta intensidade, resistem a desmagnetização quando expostos a outros campos magnéticos ou ao aumento de temperatura. Os ETRs presentes nessas ligas, são Nd, Pr, Sm, Dy e Tb, aumentando o ferromagnetismo de metais de transição, tais como o ferro (Fe) e o cobalto (Co). Os ímãs nessas grandes turbinas contem cerca de 150-200 kg de Nd + Pr e cerca de 20-35 kg de Dy por MW de capacidade geradora. (Cgee, 2013). As maiores turbinas requerem 2 t de ímãs com 30% de terras raras. (Iamgold, 1999)

**Figura 7-Geradores eólicos**



Fonte: (German Renewable Energy Agency 2010).

Para fins de projeções de consumo destes elementos, podemos mencionar que segundo a CEPEL (Grupo Eletrobrás) uma projeção realista de crescimento de 2010 até 2022 seria de 24 GW considerando um crescimento de 10% ao ano. No ano de 2015 no Brasil estão instaladas 262 unidades gerando 6,56 GW e em construção 11,21 GW. (A Associação Brasileira de Energia Eólica - ABEEólica, 2015). Os ímãs nessas nestes grandes geradores contem cerca de 150-200 kg de Nd + Pr e cerca de 20-35 kg de Dy por MW (Cgee, 2013)

## Veículos Elétricos e Híbridos

A conscientização que temos que mitigar as mudanças climáticas, impulsionará os veículos elétricos e híbridos.

**“As baterias compostas de La e níquel (Ni) que são utilizados para produzir células de bateria de armazenamento de energia. A presença do lantânio permite a absorção de H na célula e facilita a reversão desse processo eletroquímico, gerando compostos La-Ni-H, os quais são particularmente apropriados para aplicações de baterias recarregáveis. Estão ganhando cada vez mais terreno as baterias baseadas em La-Ni-H**



**por serem muito eficazes e confiáveis no armazenamento de energia elétrica para inúmeras aplicações, como, por exemplo, baterias para carros híbridos, usam aproximadamente 2,3 kg de La por veículo” (Cgee, 2013).**

Para fins de projeções de consumo destes elementos, podemos mencionar, que considerando a produção de veículos de janeiro a fevereiro de 2015 o Brasil tem uma tendência de produção de 2,6 milhões de veículos anuais (Anfavea, 2015), com um crescimento de 3% para uma projeção de longo prazo.

Carros híbridos e elétricos para os próximos 15 anos devem ter um (*market share*) para o mercado global de 66% segundo pesquisa do Deutsche Bank (BNDES, 2015), sendo possível inferir um aumento médio de 4% ao ano para efeitos de projeções de consumo dos insumos (principalmente **La**).

#### **Motores elétricos automotivos**

**Outro crescente mercado consumidor de ímãs de ETRs refere-se as aplicações em veículos elétricos. Nesse contexto, os ímãs são utilizados tanto no trem de transmissão quanto em muitos motores menores para funções auxiliares em um veículo automotor (cerca de 0,5 kg a 1 kg/veículo) (Cgee, 2013)**

#### **Catalisadores para refino de petróleo (FCC)**

O processo de craqueamento catalítico (FCC) usado no refino petróleo gera produtos derivados como o GLP, gasolina e o diesel. Catalisadores para FCC apresentam quatro tipos de componentes: um componente ativo, que é uma zeolita contendo ETRs; uma matriz ativa, alumina; uma matriz inerte, representada pelo caulim; e uma matriz sintética, ou seja, um ligante. Consumo de catalisadores é estimado para obtenção de 61.4% de gasolina a partir de um barril de petróleo bruto é aproximadamente 2,11 g de Óxido de Lantânio. (US Department of energy (DOE), 2011) . Consumo de cério nos catalisadores é dado pela relação:  $La/Ce \geq 4,0$  Paulo Emílio David Chaves – FCC (Chaves, 2011)

#### **Células Combustível**

Células de combustível é uma tecnologia de energia limpa promissora para a propulsão dos veículos e também pode auxiliar na geração de energia distribuída. ETRs são usados em vários produtos químicos de células de combustível diferentes. Em particular, as células de

combustível de óxido sólido (SOFCs) para acumulação de energia distribuída geralmente usam ítrio em seu eletrólito, e pode utilizar também de lantânio, além cério, níquel e cobalto em outros componentes. O Laboratório de Tecnologia Nacional de Energia (NETL) estima que os projetos SOFC comumente usados podem exigir 21 gramas de óxido de ítrio (ou seja, ítria) por quilowatt de capacidade. (US Department of energy (DOE), 2011).

### **Bicicletas elétricas**

Esta é uma aplicação em crescimento acelerado, hoje no Brasil são produzidas 4000 000 de bicicletas anuais. Crescimento do (*market share*) de bicicletas com auxílio de motor elétrico é notável na China, pode ser uma solução para mobilidade em muitas cidades brasileiras. Nesta aplicação a intensidade de uso de materiais como neodímio e disprósio é calculado a partir do peso estimado do material total ímã NdFeB por motores dos veículos. As estimativas de alto e baixo consumo em peso de ímãs são 0,2 kg e 0,05 kg por bicicleta. Teor de neodímio é estimado como sendo 31% do peso do ímã, enquanto o teor de disprósio é estimada para estar entre 1% e 4% em peso, que é um reflexo das temperaturas de operação mais baixas em comparação com as bicicletas elétricas de alto desempenho, que são muitas vezes caracterizados como (*scooters*) ou motocicletas elétricas, que operaram com temperaturas mais elevadas e exigem maior conteúdo disprósio nos ímãs.

### **Lâmpadas LED e Fluorescentes compactas**

Lâmpadas incandescentes já estão proibidas na maioria dos países devido ao seu consumo energético muito alto, estas foram substituídas inicialmente pelas lâmpadas CFL (*Compact Fluorecent Lamps*), que contém mercúrio e terras raras na sua formulação, e poderão ser substituídas pelas lâmpadas LEDs nos próximos 10 anos.

*Tabela 8-ETR contidos por tipo de lâmpada fluorecente compacta*

Comprimento de Lâmpada	Tipo de Lâmpada	Diâmetro (pol.)	Área (cm <sup>2</sup> )	ETRs contido (g)
4'	T12	1,5	1459	4,3
	T8	1	972	2,9
	T5	0,625	608	1,8
8'	T12	1,5	2919	8,7
	T8	1,5	1946	5,8
Fonte: (US Department of energy (DOE), 2011)				

Logo, o futuro da iluminação está ligado intimamente as lâmpadas LED (*Lighting Emitting Diodes*), pois ao contrário das lâmpadas fluorescentes não contém mercúrio. Portanto, em termos de minerais, temos na sua composição uma combinação de metais escassos como Gálio, Índio e os terras raras Ítrio e Cério, particularmente importantes para o Brasil que dispõe muitos depósitos contendo Monazita ((La, Ce, Th) PO<sub>4</sub>) e na Amazônia a xenotima ((Y, Dy, Yb) PO<sub>4</sub>). (Serra, \* Lima, & de Sousa Filho, 2014).

**“A tecnologia das lâmpadas de LED é uma das fontes de luz de estado sólido mais energeticamente favoráveis, que consiste na combinação das emissões de pelo menos dois compostos. Os semicondutores que compõem esse arranjo geram sob a aplicação de uma corrente elétrica, emissões ao redor de 450 nm. A emissão proveniente desses LEDs azuis (de GaN ou InGaN) excitam um luminóforo presente na lâmpada, que é responsável pela emissão de uma luz amarela. A combinação da luz azul do LED com a luz amarela do luminóforo resulta na composição da luz branca utilizada em iluminação, ao mesmo tempo em que se obtêm um sistema energeticamente econômico em que a própria radiação excitante compõe as emissões finais. Uma das classes mais estudadas de compostos para tais finalidades são as granadas de ítrio e alumínio (YAGs, Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>), amplamente aplicadas como matrizes para íons Nd<sup>3+</sup> para lasers de estado sólido. Como resultado de sua estrutura cristalina, tais compostos apresentam elevada estabilidade química, sendo degradados apenas em condições consideravelmente enérgicas. Quando dopadas com íons Ce<sup>3+</sup> (isto é, com íons Ce<sup>3+</sup> ocupando os sítios dodecaédricos), as YAGs apresentam a capacidade de absorver eficientemente luz fornecida por um LED azul (de GaN ou InGaN) e emitir na faixa do amarelo transições 4*f*-5*d* do íon Ce<sup>3+</sup>), permitindo a geração da luz branca para iluminação com a combinação das emissões. Acredita-se que em 2025 em função de tecnologias emergentes o consumo de fósforos para iluminação somente cairá 13.5%”. (US Department of energy (DOE), 2011).**

No Brasil, foram consumidas 250 milhões de lâmpadas em 2013, de acordo com a Abilux (associação da indústria de iluminação), sendo 16.8 milhões de lâmpadas LED e 80 milhões de CFL, o restante de incandescentes e outras. Tais números são importantes para o cálculo da demanda potencial do Brasil por fósforos (Eu, Tb, Y, Ce).

### **Ferro Nodular – Dopagem com Cério**

A adição de uma pequena quantidade de magnésio (Mg) e/ou cério (Ce), antes da fundição, aos ferros fundidos facilmente grafitizados, pode produzir uma nova microestrutura, juntamente com um conjunto de propriedades mecânicas diferentes. Estes elementos são adicionados para diminuir o teor de enxofre e diz que a liga foi dessulfurada. Nódulos ou esferoides, em lugar de veios, de grafita, são nucleados pela adição de Ce ou Mg ao ferro fundido e esses afetam de forma positiva a ductilidade do ferro fundido. À medida que a liga se resfria, os nódulos crescem pela adição do carbono rejeitado pela austenita. A liga resultante é denominada ferro nodular ou ferro dúctil. Dependendo da velocidade de resfriamento, a matriz que circunda as partículas ou nódulos pode consistir de perlita ou de ferrita. O ferro fundido nodular pode ser tratado para ser ferrítico, perlítico ou para conter martensita revenida, e possui características mecânicas que se aproximam daquelas do aço. O ferro fundido nodular pode ser utilizado em aplicações de alto desempenho como autopeças, onde a ocorrência de falhas por fragilidade pode originar graves desastres envolvendo vidas humanas (Ciencia dos Materiais Multimidia, 2015).

**“Adição de 0,1% a 0,2% de (*mish metal*) com 30% de ETR melhora a ductilidade do ferro nodular”.** (Gupta, 2005)

### **Ligas de Alumínio**

Ligas de alumínio com pequena quantidade de ítrio (100 ppm) em combinação com zircônio pode aumentar em 50% a condutividade de transmissão de alumínio linhas. A adição de metais (*misch*) de ligas à base de alumínio usado em linhas de transmissão de tensão tem levado a uma melhor resistência à tração, resistência ao calor, vibração, resistência à corrosão e capacidade de extrusão. Uma liga de ítrio-alumínio-magnésio tem sido desenvolvida na China para o cabeamento de transmissão (Gupta, 2005).

### **Preços de Terras Raras**

China foi questionada duramente entre 2011 e 2012 pelos Estados Unidos e Japão sobre algumas restrições impostas à exportação de terras raras, tungstênio (volfrâmio) e molibdênio. As restrições são estabelecidas na forma de quotas de exportação e direitos de exportação, bem como preço mínimo de exportação, as licenças de exportação. Estas medidas restritivas produzem efeitos que distorcem o fluxo internacional de mercadorias, tais como: diminuição

do suprimento mundial destas matérias-primas; aumento artificial dos preços mundiais das matérias-primas; redução artificial os preços para os produtores chineses; incentivo às empresas a se estabelecer na China, pois adquirem os produtos com preços mais baixos. (mineralprices.com, 2015). A tabela (9) mostra a situação dos preços em 2015, e a tabela (10) mostra as variações causadas pelas políticas comerciais chinesas em relação aos materiais estratégicos.

**Tabela 9-Preços dos Terras Raras em 2015**

<b>Terras Raras</b>	<b>Último Preço (Maio/2015)</b>	<b>Unidades</b>
<b>Lantânio metal ≥ 99%</b>	10.00	US\$/kg
<b>Lantânio Óxido ≥ 99.5%</b>	4.80	US\$/kg
<b>Cério metal ≥ 99%</b>	10.00	US\$/kg
<b>Cério Óxido ≥ 99.5%</b>	4.40	US\$/kg
<b>Praseodímio metal ≥ 99%</b>	175.00	US\$/kg
<b>Praseodímio Óxido ≥ 99.5%</b>	105.00	US\$/kg
<b>Neodímio metal ≥ 99.5%</b>	87.00	US\$/kg
<b>Neodímio Óxido ≥ 99.5%</b>	59.00	US\$/kg
<b>Samário metal ≥ 99.9%</b>	20.00	US\$/kg
<b>Európio Óxido ≥ 99.99%</b>	680.00	US\$/kg
<b>Gadolínio metal 99.9%</b>	95.00	US\$/kg
<b>Gadolínio Óxido ≥ 99.5%</b>	39.00	US\$/kg
<b>Térbio metal ≥ 99.9%</b>	810.00	US\$/kg
<b>Térbio Óxido ≥ 99.5%</b>	600.00	US\$/kg
<b>Disprósio metal ≥ 99%</b>	470.00	US\$/kg
<b>Disprósio Óxido ≥ 99.5%</b>	340.00	US\$/kg
<b>Érbio metal ≥ 99.9%</b>	165.00	US\$/kg
<b>Érbio Óxido ≥ 99.5%</b>	77.00	US\$/kg
<b>Ítrio metal ≥ 99.9%</b>	77.00	US\$/kg
<b>Ítrio Óxido ≥ 99.99%</b>	15.00	US\$/kg
<b>Escândio metal 99.9%</b>	18,000.00	US\$/kg
<b>Escândio Óxido ≥ 99.95%</b>	7,200.00	US\$/kg
<b>Mischmetal ≥ 99%</b>	8.00	US\$/kg

Fonte: (USGS, 2015)

**Tabela 10-Variação de Preços de Óxidos de Terras Raras (OTR)**

<b>Óxidos de ETRs</b>	<b>Preços de Óxidos</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>

<b>Cério</b>	Min	60	40	10	5	4
	Max	62	45	12	6	5
<b>Disprósio</b>	Min	285	1400	600	440	320
	Max	305	1420	630	490	360
<b>Európio</b>	Min	620	3780	1500	950	680
	Max	640	3800	1600	1000	730
<b>Lantânio</b>	Min	59	50	9	6	5
	Max	61	52	11	6	5
<b>Mischmetal</b>	Min	57	47	14	9	9
	Max	60	49	16	10	10
<b>Neodímio</b>	Min	86	190	75	65	56
	Max	89	200	80	70	60
<b>Térbio</b>	Min	595	2800	1200	800	590
	Max	615	2820	1300	850	640
<b>Ítrium</b>	Min	25	136	86	23	15
	Max	27	141	91	27	17

**Fonte:** (USGS, 2015)

### Reservas e produção dos elementos terras raras

Reservas mundiais de óxidos de terras raras (OTR) alcançam 130 milhões de toneladas, o suficiente para 1183 anos do atual consumo. Quadro abaixo mostra produção mundial e reservas por países.

**Tabela 11-Reservas e Produção por País**

	Produção OTR (t)		Reservas OTR (t)
	2013	2014	
<b>Estados Unidos</b>	5 500	7 000	1 800 000
<b>Austrália</b>	2 000	2 500	3 200 000
<b>Brasil</b>	330	0	22 000 000
<b>China</b>	95 000	95 000	55 000 000
<b>Índia</b>	2 900	3 000	3 100 000
<b>Malásia</b>	180	200	30 000
<b>Rússia</b>	2 500	2 500	(incluída em Outros Países)
<b>Tailândia</b>	800	1 100	NA
<b>Vietnam</b>	220	200	(incluída em Outros Países)
<b>Outros Países</b>	NA	NA	41 000 000
<b>Total Mundial</b>	110 000	110 000	130 000 000

**Fonte:** (USGS, 2015)

Em 2013 o Brasil tinha uma reserva de 22 milhões de toneladas de OTR (óxidos de terras raras), as reservas mundiais somam 136,23 milhões de toneladas. Sua produção em 2013 foi somente de 600 t, sendo que a produção mundial alcançou 112.220 t de OTR. (DNPM, 2014)

Algumas Barreiras podem estar reduzindo a conversão de recursos minerais em reservas minerais. Abaixo listamos algumas destas:

- Problemas de classificação de depósitos que contenham um ou mais elementos nucleares, que legalmente poderiam ser considerados como monopólio da União;
- Falta de domínio de toda cadeia de valores, impedindo que o produtor primário agregue mais valor a seu produto;
- Custos mais altos devidos as medidas de controle e reabilitação ambiental quando estão presentes minerais radioativos;
- Volatilidade dos preços dos metais e óxidos de terras raras;
- Baixa demanda causada por mercado interno limitado para óxidos e metais de terras raras. (Baixa competitividade dos produtos manufaturados);
- Importantes depósitos se encontram em áreas de reservas indígenas.

Figura 8-Localização das Jazidas de ETR no Brasil



Fonte: Prof. Lápido Loureiro - (CETEM - Série “Estudos e Documentos” Nr. 21 – 1994)

### Aspectos Econômicos dos Terras Raras

Para desenvolver estudos econômicos para um projeto específico, necessitamos incluir termos da declaração de resultados (DRE) tais como: faturamento, custos de capital (investimentos), custos operacionais, despesas comerciais e impostos.

Como anteriormente mencionado a obtenção dos ETRs é bastante complexa, devido às fortes interações químicas entre os átomos, pois obrigam a aplicar processos que usam lixiviação, precipitação fracionada, extração por solventes, eletrólise que aumentam os custos, mas também por sua complexidade podem diminuir as recuperações metalúrgicas.

Vale lembrar que a existência de associações com minerais radioativos também são vetores de aumento de custo, pois os cuidados com saúde dos trabalhadores e com o meio ambiente levam a adoção das melhores práticas muito particulares da área nuclear bastante caras.

Para discorrer sobre aspectos econômicos temos que esclarecer os tipos possíveis de operações:

- Terras Raras como subprodutos de tratamento de outros minerais (Fosfato, Nióbio, Estanho, etc.);
- Terras Raras incluídos no estéril de descobertura de minas a céu aberto;
- Barragem ou pilhas de rejeitos já que foram tratadas para extrair outros minerais;
- Minas e Plantas dedicadas a extração de terras raras.

Outro aspecto importante são os tipos de jazimento encontrados, minerais portadores de terras raras são normalmente contidos em depósitos carbonáticos, peralcalinos, graníticas ou estilo placer. Os terras raras são conhecidos para estarem alojados em mais de 200 tipos de óxido, carbonato, fosfato e mineralizações silicato. Tabela abaixo lista algumas das terras raras hospedagem mineralizações mais comuns.

**Tabela 12-Tipos de Mineralização de Terras Raras**

<b>Tipo</b>	<b>Mineralização</b>	<b>Elementos Constituintes</b>
<b>Óxido</b>	Aeschnita	(Ce,Th,Ca...)[(Ti,Nb,Ta)2O6]
<b>Óxido</b>	Euxenita	(Y,Er,Ce,U,Pb,Ca)(Ta,Nb,Ti)2(O,OH)6
<b>Óxido</b>	Fergusonita	YnbO4
<b>Óxido</b>	Samarskita	(Y,Er,Fe,Mn,Ca,U,Th,Zr)(Nb,Ta)2(O,OH)6
<b>Carbonato</b>	Ancylita	Sr(Ce,La)(CO3)2(OH)(H2O)
<b>Carbonato</b>	Bastnaesita	(Ce,La,Y)CO3F
<b>Carbonato</b>	Parisita	Ca(Ce,Nd,Y,La)(CO3)2F
<b>Carbonato</b>	Synchisita	Ca(Ce,Nd,Y,La)(CO3)2F
<b>Carbonato</b>	Tengerita	Y2(CO3)3n(H2O)
<b>Fosfato</b>	Britholita	(Na,Ce,Ca)5(OH)[(P,Si)O4]3
<b>Fosfato</b>	Florencita	(La,Ce)Aβ(PO4)2(OH)6
<b>Fosfato</b>	Monazita	(Ce,La,Th,Nd,Y)PO4
<b>Fosfato</b>	Xenotima	YPO4



<b>Silicato</b>	Alanita	$\text{Ca}(\text{Ce,La,Y,Ca})\text{Al}_2(\text{Fe,Fe})(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$
<b>Silicato</b>	Kainsosita	$\text{Ca}_2(\text{Ce,Y})_2(\text{SiO}_4)_2\text{CO}_3:\text{H}_2\text{O}$
<b>Silicato</b>	Thalenita	$\text{Y}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$

Fonte: (Australian Ventures Pty Ltd, 2014)

### Bastnaesita

Bastnaesita é um mineral fluorocarbonato e é a mineralização de acolhimento mais produtiva para terras raras. Bastnaesita tende a conter uma grande quantidade de terras raras particularmente com alta especificidade para o cério, o lantânio e neodímio e ao mesmo tempo contendo concentrações relativamente elevadas de ítrio, mas tende a ter concentrações muito baixas de outras terras raras pesadas. Há três variações de bastnaesite com nomenclaturas utilizadas para descrever o domínio de terras raras específicas na mineralização, ou seja, bastnaesita-cério, lantânio-bastnaesita, bastnaesita-yttrium<sup>5</sup>.

### Monazita

A monazita é um mineral de fosfato e é a segunda forma mais comum de hospedagem rara mineralização terra. Enquanto a monazita tipicamente contém concentrações mais elevadas de terras raras pesadas do que bastnaesita, ela ainda tem uma maior concentração de terras raras leves do que as terras raras pesadas. A estrutura permite que o tório para substitua alguns elementos de terras raras, resultando em subprodutos radioativos que podem apresentar desafios para o processamento e transporte de resíduos e de concentrados. Em alguns casos extremos estes subprodutos (incluindo o urânio e o tório) podem ser econômicos. Existem quatro variações de monazita com nomenclaturas utilizadas para descrever o domínio de terras raras específicas na mineralização: monazita-cério, monazita-lantânio, neodímio e monazita-praseodímio.

### Xenotima

Xenotima é a terceira mineralização de terras rara mais comum, tipicamente, contém a maior concentração de terras raras pesadas. O ítrio contido na xenotima é facilmente substituído por uma variedade de terras raras pesadas, incluindo disprósio, hólmio, o túlio e de lutécio. O ítrio também poderá ser substituído por tório e urânio criando desafios de processamento e transporte potenciais associados com radioatividade.

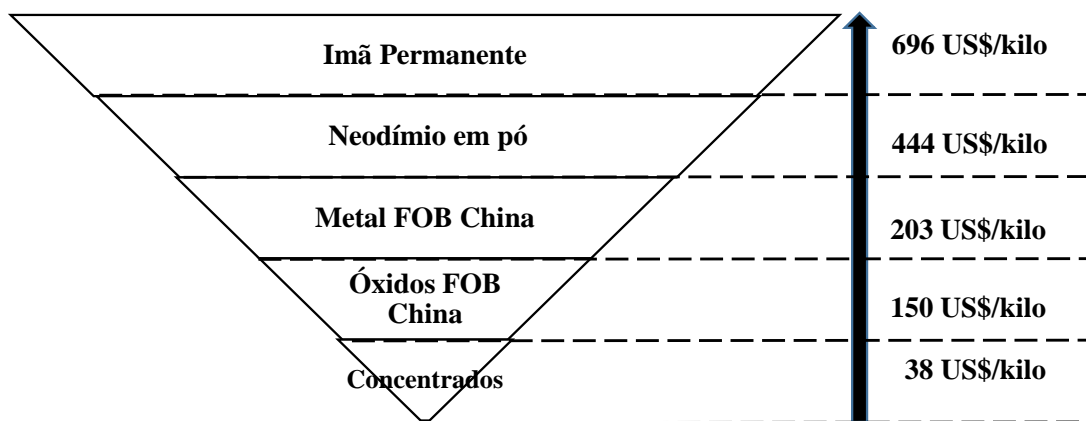
### Cadeia de Valor das terras raras

A crise no mercado de matérias primas nos conduz a uma mudança radical no modelo mental dos engenheiros de minas, empresários da mineração e autoridades responsáveis pelo fomento mineral. Avançar na cadeia de valores é essencial, por exemplo o efeito multiplicador desde o concentrado de óxidos até o ímã permanente é de 18 vezes (UNCTAD, 2014).

### Cadeia de Valores dos Ímãs Permanentes (NdFeB)

Observa-se na figura (9) que o preço por quilo varia de 38 US\$/quilo de um concentrado com óxidos misturados até o ímã permanente que vale 696 US\$/quilo, sendo que o ímã tem somente 30% de terras raras na sua composição. Os preços variaram ao longo do tempo, mas o efeito multiplicador do avanço na cadeia produtiva permanece proporcional. Abaixo vemos a figura que representa esta cadeia de valores. (UNCTAD, 2014).

**Figura 9-Cadeia de Valores para produção de ímãs permanentes** Fonte: UNCTAD Secretaria usando dados do Canadian Imperial Bank 2011.



Fonte: (UNCTAD, 2014)

### Custos Operacionais e de Capitais

Apesar da dificuldade de generalizar custos de produção para as diferentes minas, alguns autores desenvolveram matrizes de custos que podem servir de referência para projetos muito iniciais. Um dos exemplos foram as matrizes apresentadas abaixo desenvolvido pelo grupo de trabalho de cadeia produtiva de Ímãs de TR no Brasil composto pela CERTI (UFSC), USP, ABDI, CNI, CETEM, IPT, Bundesministerium fur Bildung und Furschung (Republica Alemã) e Frahofer (Schneider, 2013):

Tabela 13-Fases e atividades para implantação de projeto terras raras

		Atividades				Aplicações Industriais e Científicas
		1	2	3	4	
Fase		Mineração / Concentração	Separação	Redução / Fabricação da Liga	Fabricação do Imã	
1	Pesquisa / Escala de Bancada	2 t/a	200 kg/a	500 kg/a	500 kg/a	Estudos de Mercado de ímãs permanentes de ETRs
2	Planta Piloto	150 t/a	20 t/a	50 t/a	50 t/a	Estudo de Viabilidade para Implantação de Cadeia de Valores incluindo Produção de Ímãs Permanentes
3	Planta Industrial	Mineração (Depende de Teores e Relação Estéril/Mineral da Jazida	Planta para 400 t/a de ETR contidos	Metalurgia Produtora de Ligas para Ímãs de ETR	Fabrica para 1000 t/a de Ímãs	Engenharia Basica e Detalhe, Licenciamento, Construção, Operação

Fonte: (Schneider, 2013)

## Investimentos e Custos por Fase

Tabela 14-Investimento e custo de operação na fase de pesquisa para projeto terras raras

Atividade.Fase	milhões de reais (2011)		
	Investimento	Operação (3 anos)	P&D / capacitação
0.1	0,5	3,5	
1.1	1,0	2,0	2,0
2.1	3,0	3,0	3,0
3.1	2,0	1,0	3,0
4.1	1,0	1,5	1,5
5.1		0,5	
5.2		1,5	
<b>Total</b>	<b>7,5</b>	<b>13</b>	<b>9,5</b>

Fonte: (Schneider, 2013)

Tabela 15-Investimento e custo de operação na fase de planta e fabrica piloto para projeto terras raras

Atividade.Fase	milhões de reais (2011)		
	Investimento	Operação (3 anos)	P&D / capacitação
1.2	10	3	2
2.2	5,0	4,0	3,0
3.2	5,0	7,0	3,0
4.2	15,0	30,0	10,0
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>44</b>	<b>18</b>

Fonte:(Schneider, 2013)

Tabela 16-Investimento e custo de operação na fase de planta industrial para projeto terras raras

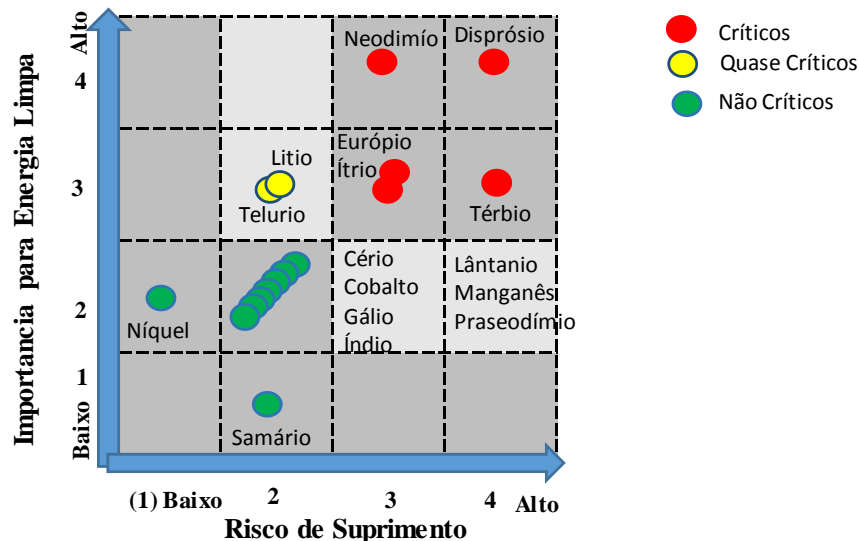
Atividade.Fase	milhões de reais (2011)		
	Investimento	Operação	P&D / capacitação
1.3	40	12	0,5
2.3	30,0	10,0	0,5
3.3	30,0	18,0	0,5
4.3	70,0	45,0	2,5
<b>Total</b>	<b>170</b>	<b>85</b>	<b>4</b>

Fonte: (Schneider, 2013)

### Projeção de crescimento de Demanda para os Terras Raras

Elementos de terras raras (ETRs) estão se tornando cada vez mais integrados nas novas tecnologias, especialmente nos setores de energia limpa, eletrônicos, militares e de consumo. Como cada um desses setores continua a crescer, o mesmo acontece com a demanda dos ETRs. Enquanto projeções exatas de demanda nos próximos anos são difíceis de fazer, os analistas têm colocado os limites inferiores e superiores para o crescimento anual de demanda total ETRs entre 5% e 9% para os próximos 25 anos. (Alonso, 2012)

Figura 10-Gráfico abaixo mostra os Elementos ligados a geração de Energia Limpa, entre eles muitos elementos terras raras e seu nível de escassez de médio prazo no ano 2011.



Fonte: (US Department of energy (DOE), 2011)

As aplicações dos Terras raras são conhecidas desde 1787, mas sua primeira aplicação comercial importante foi o Misch Metal descoberto por Carl Auer von Welsbach em 1891, na geração de uma luz branca superior a luz elétrica. Esta invenção foi seguida pela pedra de

isqueiro usando 70% de Misch metal e 30% de ferro, mas foi na segunda metade do século vinte que se alcançou um nível de desenvolvimento mais significativo, principalmente nas indústrias metalúrgica, eletrônica e química. Tabela (17) contém as aplicações que na sua maioria revolucionárias em suas áreas de conhecimento.

**Tabela 17-Tabela sumário das principais aplicações dos elementos terras raras.**

Uso Industrial	Aplicação de ETR	Função	Elementos terras raras (ETR)
Veículos elétricos, híbridos, plug-in	Imãs Permanentes	Motores elétricos	Nd,Pr,Dy,Tb,Sm
Geração eólica e hidrelétrica	Imãs Permanente	Geradores sem engrenagem	Nd,Pr,Dy,Tb,Sm
Fermentas elétricas sem fio	Imãs Permanente	Motores compactos, leves e potentes	Nd,Pr,Dy,Tb,Sm
Discos rígidos de computadores	Imãs Permanente	Motores compactos, leves e potentes	Nd,Pr,Dy,Tb,Sm
Equipamento para diagnósticos por imagem (MRI)	Imãs Permanente	Geração de campos magnéticos	Nd,Pr,Dy,Tb,Sm
Unidades de craqueamento catalítico em leito fluidizado	Catalisadores	Propiciam sítios ácidos para a matriz catalítica	La,Ce,Pr e Nd
Conversores catalíticos para redução de emissões atmosféricas	Catalisadores	Capacidade de oxidação do CO e Ozônio para CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub>	Ce,La
Indústria automotiva	Ligas Metálicas ferrosas contendo ETR	Melhoria de desempenho das ligas e usos ampliados de usos industriais das ligas	Todos ETRs
Indústria aeroespacial, energia nuclear, fabricação de satélites, linhas de transmissão, sistemas de refrigeração magnética e outros	Ligas Metálicas não ferrosas contendo ETR	Melhoria de desempenho das ligas e usos ampliados de usos industriais das ligas	Todos ETRs
Lâmpadas fluorescentes compactas e lineares, LEDs, entre outros sistemas de iluminação	Fósforos	Redução do consumo de energia, com melhoria das características de cor e luminescência	Y,Eu,Tb

Dispositivos móveis sem fio/ Displays em telas planas	Fósforos	Fósforos excitados por UV em baixa pressão	Y,Eu,Tb,Gd,Ce
Detectores de raios x e raios gama	Fósforos	Captura de luz de cintilação e sistemas de detecção	Y,Eu,Tb,La,Ce
Pós para polimento de vidros e lentes	Pós para Polimentos	Melhoria das propriedades óticas de vidros e lentes	Ce
Fabricação de vidros e lentes	Mudanças de propriedades química e físicas de vidros e lentes	Descoloração de vidros, bloqueio de luz UV e composição de vidros especiais	La,Ce,Nd,Pr,Yb,Ho,Er
Fibras ópticas para telecomunicação	Fibras ópticas dopadas com ETRs	Amplificação do sinal	Y,Eu,Tb,Er,Nd e Ho
Sensores de Gases, incluindo CO	Cerâmicos	Monitoramento e controle de emissões gasosas. Melhoria do desempenho de motores a combustão	Y
Lasers para usos diversos (medicina, defesa e outros)	Cerâmicos	Orientação de artefatos de defesa, precisão de corte e incisões	Y,Nd e outros
Dispositivos de Armazenagem de energia	Cerâmicos	Alta densidade energética em comparação com capacitores convencionais	Todos TRs
Dispositivos de Armazenagem de energia	Baterias de Ni-metal-hidreto	Melhor custo benefício que baterias de íons de Lítio	La

Fonte: (Cgee, 2013)

Considerando o Faturamento podemos ordenar por importância as aplicações:

- Imãs permanentes 37%;
- Fosforescentes 31%;
- Ligas metálicas 14%;
- Catalisadores 5%;
- Polimento 4%;

- Cerâmicas 4%;
- Vidros 2%;
- Outros 3%.

Fonte: (BNDES, 2010)

### **3. APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO AOS DEPÓSITOS DE ELEMENTOS TERRAS RARAS**

O problema proposto para os terras raras é: Se o Brasil contará com o suprimento de elementos terras raras de forma sustentável e suficiente para seu desenvolvimento, desta forma mitigando o risco de desabastecimento por dumping externo de países fornecedores e inflação dos preços internacionais dos elementos terras raras.

Algumas empresas estão evoluindo lentamente com seus projetos de terras raras. Sendo muitas empresas canadenses Juniors de recurso e mineração, e mineradores consolidados como CBMM, Vale, Mineração Taboca. Reservas são expressas em toneladas “in situ” diluídas, acompanhadas de seus teores correspondentes de óxidos de terras raras (OTR). Normalmente a composição destes óxidos é chamada de cesta de ETRs, ou seja, compostos pelos óxidos dos demais Lantanídeos. Tabela 18 contém o resumo dos potenciais recursos mineráveis dos depósitos alvos desta análise, obtidos através de dados do sumário mineral de 2014, e de relatórios para bolsa canadense e de composições médias obtidas de testes metalúrgicos históricos.

Segundo o DNPM (DNPM, 2014)

**“No final de 2012, o DNPM aprovou novas reservas lavráveis, em duas áreas de Araxá das empresas CBMM e CODEMIG, com 14,20 Mt e 7,73 Mt de óxidos de terras raras (OTR) contidos, teores de 3,02% e 2,35%, respectivamente, e uma área em Itapirapuã Paulista, com 97,96 mil t de OTR contidos, teor de 4,89%, de titularidade da Vale Fertilizantes S/A, elevando o Brasil à posição de segundo maior detentor mundial de reservas de OTR, logo após a China, posição está mantida em 2013. Outras reservas pertencem à Mineração Terras Raras (a reavaliação, apresentada no RAL 2014 resultou em 3 Mt de minério lavrável, com teor de 1,15% de OTR, perfazendo um total de 34,8 Mt de OTR contidos) em Poços de Caldas (MG)Indústrias Nucleares do Brasil – INB (338,4 Mt de minério lavrável, com teor de 0,129% de monazita, totalizando 438 t de monazita contida) em São Francisco do Itabapoana (RJ) e VALE S/A (17,2 Mt de TR de reservas medidas e indicadas, contendo 57% de monazita, equivalente a 9,7 Mt) no Vale do Sapucaí (MG). Outras reservas, ainda não aprovadas pelo DNPM, encontram-se na província mineral de Pitinga, em Presidente Figueiredo (AM), com 2 Mt de xenotímio e teor de 1% de ítrio, e Catalão (GO), onde a VALE é**



**proprietária de um depósito com 32,8 Mt de reservas lavráveis com teor médio de 8,4 % de OTR - óxidos de terras raras contidos, e teores de urânio e tório inferiores a 0,01% (Lapido-Loureiro, 2011). No rejeito da mineração do nióbio da CBMM, em Araxá, estão concentradas quantidades importantes de terras raras, com grande potencial de aproveitamento”.**

Muitos depósitos citados pelo DNPM não foram analisados devido à falta de informação pública. O caso mais importante é o da província mineral de Pitinga, aonde temos recursos muito importantes contendo vários ETRs não informados, somente os teores de Ítrio foram oficialmente declarados ao DNPM. Temos a situação oposta, que são depósitos com recursos informados publicamente, que devido ao seu estágio de avanço nos estudos não permitem fazer uma declaração oficial de reservas, principalmente em função das normas rigorosas impostas, pelos reguladores das bolsas de Toronto no Canadá, Bolsa da Austrália e NYSE (USA).

Abaixo temos uma tabela (18) que contém recurso minerais potencialmente lavráveis (Reservas) para os depósitos que chamamos de Projetos, e seus correspondentes teores totais de óxidos de terras raras (OTRs). Também foram calculados os teores metálicos e as quantidades de metal em toneladas por elemento por elementos.

Tabela 18-Potenciais Recursos Mineráveis de Terras Raras no Brasil (Com Projetos ou apresentações publicas formais.)

	Reservas		Teor de Oxidos %														
	Mt	OTRs	CeO2	La2O3	Nd2O3	Pr6O11	Sm2O3	Eu2O3	Gd2O3	Tb4O7	Dy2O3	Er2O3	Ho2O3	Tm2O3	Yb2O3	Lu2O3	Y2O3
Projeto 1	121	0,16%	0,06%	0,04%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%
Projeto 2	106	7,01%	3,09%	2,15%	1,07%	0,32%	0,11%	0,03%	0,09%	0,01%	0,03%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,09%
Projeto 3	106	5,45%	2,64%	1,32%	0,99%	0,29%	0,07%	0,02%	0,03%	0,05%	0,02%						
Projeto 4	1,25	7,96%	3,94%	2,23%	1,46%		0,12%	0,03%	0,03%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%		0,00%		0,09%
Projeto 5	6,13	3%	1,58%	0,72%	0,41%	0,14%	0,04%	0,01%	0,03%	0,00%	0,02%	0,01%					0,06%
Oxido/Metal (massa)			81,41%	85,27%	85,74%	82,77%	86,24%	86,76%	86,36%	86,88%	87,13%	87,45%	87,30%	87,56%	87,82%	87,94%	78,74%

	Reservas		Oxidos t														
	Mt	OTRs	CeO2	La2O3	Nd2O3	Pr6O11	Sm2O3	Eu2O3	Gd2O3	Tb4O7	Dy2O3	Er2O3	Ho2O3	Tm2O3	Yb2O3	Lu2O3	Y2O3
Projeto 1	121	0,16%	67711	44625	24981	8119	4294	287	3949	2774	4101	2801	884	415	603	457	29843,34
Projeto 2	106	7,01%	3288797	2282022	1141011	343049	117830	28339	95457	8949	31322	4475	11186	746	4475	746	96202,89
Projeto 3	106	5,45%	2800970	1400485	1050364	309274	75860	17506	29177	52518	17506	0	0	0	0	0	0,00
Projeto 4	1,25	7,96%	49193	27850	18308	0	1473	328	328	70	33	70	40	0	40	0	1114,40
Projeto 5	6,13	3%	97078	43806	24873	8724	2599	742	1671	186	1114	557	0	0	0	0	3712,36

	Reservas		Teor de Metal REE %														
	Mt	OTRs	Ce	La	Nd	Pr	Sm	Eu	Gd	Yb	Dy	Er	Ho	Lu	Tb	Tm	Y
Projeto 1	121	0,16%	0,05%	0,03%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%
Projeto 2	106	7,01%	2,52%	1,83%	0,92%	0,27%	0,10%	0,02%	0,08%	0,01%	0,03%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%
Projeto 3	106	5,45%	2,15%	1,13%	0,85%	0,24%	0,06%	0,01%	0,02%	0,04%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Projeto 4	1,25	7,96%	3,20%	1,90%	1,26%	0,00%	0,10%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%
Projeto 5	6,13	3%	1,29%	0,61%	0,35%	0,12%	0,04%	0,01%	0,02%	0,00%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%
Oxido/Metal (massa)			0,81	0,85	0,86	0,83	0,86	0,87	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88

	Reservas		Metal em toneladas - REE t														Total		
	t	OTRs	Ce	La	Nd	Pr	Sm	Eu	Gd	Yb	Dy	Er	Ho	Lu	Tb	Tm			Y
Projeto 1	121000000	0,16%	55122	38050	21418	6720	3703	249	3410	2410	3573	2450	772	363	530	402	23500	162671	1,42%
Projeto 2	106385000	7,01%	2677358	1945824	978249	283942	101612	24587	82438	7775	27291	3913	9765	653	3930	656	75754	6223747	54,50%
Projeto 3	106000000	5,45%	2280226	1194159	900532	255986	65418	15188	25197	45628	15253	0	0	0	0	0	0	4797588	42,01%
Projeto 4	1250000	7,96%	40047	23747	15696	0	1270	285	284	61	29	61	35	0	35	0	878	82426	0,72%
Projeto 5	6126000	3%	79030	37352	21325	7221	2241	644	1443	161	970	487	0	0	0	0	2923	153797	1,35%
Total			5131784	3239132	1937220	553869	174243	40952	112772	56035	47117	6911	10572	1016	4494	1058	103055	11420229	100,00%

Fontes: DNPM modificado (DNPM, 2014), Relatórios NI43101 de empresas, Apresentação públicas.

### 3.1 Identificação dos riscos e análise qualitativa de riscos

Riscos foram identificados em diversas bibliografias recentes nacionais e internacionais, a tabela 19 discrimina riscos parcialmente extraídos do livro aplicações de Terras Raras no Brasil 2012 – 2030 (Cgee, 2013), e também a partir de reuniões internas do grupo de projeto ETR do laboratório de processamento mineral (Laprom – UFRGS).

**Tabela 19-Analise de Risco Qualitativa do negócio de Terras Raras no Brasil**

ANALISE DE RISCOS									
Identificação do Projeto: Terras Raras no Brasil					Projeto: Abertura de Novas Minas				
Risco n°	Identificação do Risco	Descrição do Risco	Análise qualitativa do Risco					Probabilidade	Probabilidade x Impacto
			Custo	Cronograma	Escopo	Qualidade	Geral		
1	Preocupação social com os riscos representados pelos elementos radioativos que acompanham as TRs.	Atenção	0,7	0,7	0,7	0,9	0,75	0,9	0,675
2	Descontinuidade da política de quotas de exportação de TRs pela China.		0,7	0,7	0,7	0,1	0,55	0,3	0,165
3	Tendência de concentração na China de indústrias de alta tecnologia que utilizam TRs.		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,5	0,45
4	Descontinuidade do suprimento de TRs na forma de óxidos ou ligas, com fragilidade das cadeias de suprimento e produtivas		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,35
5	Surgimento de materiais alternativos como resposta à dependência da China em relação ao fornecimento de TRs.		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,3	0,27
6	Desarticulação das cadeias produtivas que dependam de TRs.		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,35
7	Surgimento de novos ímãs melhores que os atuais baseados em TRs .		0,9	0,5	0,9	0,9	0,8	0,1	0,08
8	Alteração do equilíbrio entre oferta e demanda, com oferta maior do que a demanda, causando grande impacto nos preços internacionais de TRs .	Atenção	0,5	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,56
Total									

ANALISE DE RISCOS									
Identificação do Projeto: Terras Raras no Brasil					Projeto: Abertura de Novas Minas				
Risco n°	Identificação do Risco	Descrição do Risco	Análise qualitativa do Risco					Probabilidade	Probabilidade x Impacto
			Custo	Cronograma	Escopo	Qualidade	Geral		
9	Perda know-how de separação dos ETR por aposentadoria de profissionais com experiência, fechamentos de laboratórios etc.	Atenção	0,7	0,7	0,7	0,9	0,75	0,9	0,675
10	Recursos como Energia e Água com problemas de suprimento, devido a mudanças climáticas que podem levar a problemas de obtenção das licenças governamentais e sociais.		0,9	0,7	0,9	0,1	0,65	0,9	0,585
11	Impostos e taxas elevadas afetando custos e rentabilidade dos projetos no Brasil.	Atenção	0,9	0,5	0,9	0,9	0,8	0,8	0,64
12	Plantas complexas exigindo engenharia sofisticada aumentando custos de implantação.		0,9	0,5	0,7	0,9	0,75	0,7	0,525
13	Custo dos Capitais para mineração em alta pelos crescentes riscos da atividade.		0,9	0,9	0,7	0,7	0,8	0,5	0,4
14	Insegurança quanto ao marco regulatório da mineração no Brasil.		0,9	0,9	0,5	0,5	0,7	0,7	0,49
15	Prazos para licenciamento podem ser muito longos, e exigências de compensações onerosas.		0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,9	0,54
8	Problemas de classificação de depósitos que contenham um ou mais elementos nucleares, que legalmente poderiam ser considerados como monopólio da União	Atenção	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,63
9	Importantes depósitos que se encontram em áreas de reservas indígenas	Atenção	0,9	0,9	0,9	0,3	0,75	0,9	0,675
10	Avaliação de Recursos e Reservas tecnicamente incorretas por desconhecimento dos depósitos de ETRs.		0,7	0,7	0,9	0,9	0,8	0,5	0,4
11	Estudos de Viabilidade incluindo definição de rota de processo e metalurgia tecnicamente incorretos por desconhecimento técnico do aproveitamento dos ETRs.	Atenção	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,63
12	Instabilidade Econômica do País afetar direcionadores de custo internos, taxa de câmbio, custo de capital. (Risco País).	Atenção	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,63
Total Geral	Risco dos Projetos de Terras Raras no Brasil						0,77	0,64	0,49

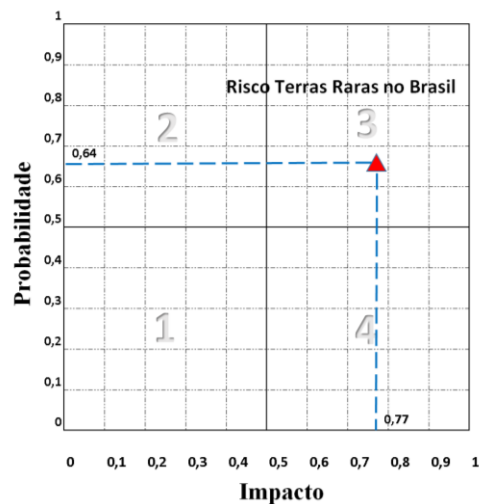
1. Muito improvável de acontecer (0,1)      1. Impacto Insignificante (0,1)  
 2. Mais provável de não acontecer do que acontecer (0,3)      2. Pouco impacto (0,3)  
 3. Probabilidade de acontecer igual a de não (0,5)      3. Impacto médio (0,5)  
 4. Probabilidade de acontecer do que acontecer (0,7)      4. Forte Impacto no negócio (0,7)  
 5. Muito provável que ocorra (0,9)      5. Impacto Inaceitável (0,9)

0,7 - 0,9 Risco Inaceitável  
0,3 - 0,7 Risco Médio a Alto, obrigando medidas mitigação e controle intenso  
0 - 0,3 Risco Aceitável

Como resultado da análise temos que o risco geral médio é de 49%, calculados usando os pesos iguais a um. Como risco este poderia ter um valor máximo de 81%, nos leva a concluir

que a implantação de minas, plantas e fábricas de ímãs está no quadrante de alta probabilidade e alto impacto. Situação pouco confortável, que deve ser mitigada através de ações governamentais para reduzir riscos sistemáticos, ou seja aqueles riscos que afetam todos ativos do mercado, e cada projeto deveriam mitigar seus riscos particulares.

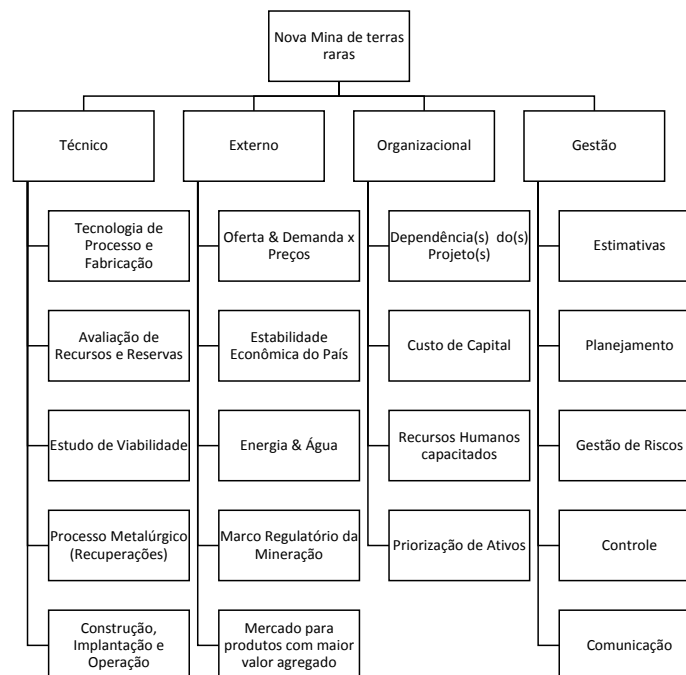
**Figura 11-Matriz de Risco ETR Brasil**



Fonte: Petter,R (2015)

### 3.2 Estrutura Analítica de Riscos dos Projetos terras raras no Brasil

**Figura 12-Estrutura Analítica de Riscos no Negócio de Terras Raras (ETRs)**



Fonte: Petter, R (2015)

### 3.3 Análise SWOT (Forças/Fraquezas/Oportunidades/Ameaças)

Abaixo uma análise SWOT baseada no trabalho desenvolvido pelo Centro de Gestão de Estudos estratégicos, que é uma organização do Ministério de Ciência e Tecnologia Brasileiro. Foram atualizados alguns pontos pois o documento foi redigido em 2013, quando a crise das

**Tabela 20-Analise SWOT – Descrição de Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças.**

<b>Forças</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alto potencial geológico e viabilização das reservas já conhecidas, principalmente minas de Nióbio e Fosfato que hoje descartam os ETRs em suas bacias de rejeitos e pilhas de estéril;</b></li> <li>• <b>Existência de competência técnico-científica para o desenvolvimento de tecnologias para as cadeias produtivas, porem dispersas em outras atividades;</b></li> <li>• <b>Cultura da mineração brasileira é antiga e bem aceita pela sociedade em geral;</b></li> <li>• <b>Foram elaborados mapeamento do potencial estratégico de cadeias produtivas de aplicações de ETRs;</b></li> <li>• <b>Apoio do congresso nas discussões sobre ETRs;</b></li> <li>• <b>Mercado consumidor interno e externo para ETRs com tendência de crescimento;</b></li> <li>• <b>Crise hídrica está levando a discussões sobre fontes energéticas sustentáveis como energia eólica e solar, ambas podem usar ETRs na sua implantação.</b></li> </ul>

Fonte: (Cgee, 2013) – Modificado

<b>Fraquezas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Brasil nos anos 60 dominava a tecnologia de separação dos ETRs, por falta de iniciativas nas décadas seguintes perdeu sua posição competitiva, que terá que ser revertida no período 2012-2020;</b></li> <li>• <b>Falta de fomento ao investimento de risco. Arcabouço jurídico complexo. Deficiente ordenamento territorial associado a atividade de mineração;</b></li> <li>• <b>Necessidade urgente de recursos humanos capacitados em todos os níveis, em quantidade adequada;</b></li> <li>• <b>Baixo orçamento governamental para PD&amp;I e desenvolvimento industrial da cadeia produtiva de ETRs no país;</b></li> <li>• <b>Custo Brasil. Infraestrutura de transporte precária nas regiões de maior potencial mineral;</b></li> <li>• <b>Pressão das comunidades do entorno das atividades produtivas em busca de ganhos sociais.</b></li> </ul>

Fonte: (Cgee, 2013) – Modificado

Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Hegemonia chinesa no mercado global de ETRs, permissividade do WTO com sua política de quotas de exportação;</b></li> <li>• <b>Volatilidade dos preços;</b></li> <li>• <b>Dependência do suprimento de ETRs por parte da China pode gerar impactos negativos no desenvolvimento das cadeias estratégicas como imãs permanentes, catalisadores e ligas metálicas;</b></li> <li>• <b>China verticalizou sua da cadeia de produção de ETRs a desta forma atrai empresas de alta tecnologia que são dependentes deste insumo;</b></li> <li>• <b>Recessão local e mundial afetam drasticamente projetos de ETRs tais como catalisadores e ligas metálicas no Brasil;</b></li> <li>• <b>Falta substitutos para os ETRs;</b></li> <li>• <b>Empresas de mineração de ETRs abertas no mundo, fora da China, durante a fase de bolha especulativa dos ETRs começam a enfrentar problemas que estão ameaçando sua continuidade de suas operações.</b></li> </ul>

Fonte: (Cgee, 2013)-Modificado

Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Existe uma tendência a estabilização dos preços das commodities em geral, preços dos ETRs estabilizaram em patamares razoáveis para os pesados, e baixos preços para os leves, ainda propiciam oportunidade para investimentos no Brasil em mineração;</b></li> <li>• <b>Acordos internacionais favorecem o acesso as tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio. Início da formação de empresas joint-ventures resultantes de parcerias entre países detentores de reservas e países detentores de tecnologias limpas para produção e processamento de ETRs;</b></li> <li>• <b>Estabelecimento de parcerias internacionais, visando ao desenvolvimento de reservas e de cadeias produtivas consideradas estratégicas para o país, a saber: imas permanentes, em continuidade aos esforços de cooperação Brasil-Alemanha iniciados em 2011; integração a montante das cadeias de catalisadores; integração vertical da cadeia de pós para polimento e fabricação de vidros especiais, com suprimento interno de ETRs de origem nacional; desenvolvimento de segmentos das cadeias produtivas de ligas metálicas portadoras de ETRs e fósforos de ETRs;</b></li> <li>• <b>Intensifica-se no mundo e no Brasil o uso de ETRs pelo aumento da demanda por tecnologias sustentáveis (economia verde) e por produtos de alta tecnologia (sociedade da informação), somado a ausência de materiais substitutos de ETRs;</b></li> <li>• <b>Intensificam-se as atividades de exploração de jazidas e identificam-se e dimensionam-se novas reservas de ETRs que contribuem para a viabilização da cadeia produtiva no país.</b></li> </ul>

Fonte: (Cgee, 2013) – Modificado

Combinando ameaças e oportunidades com forças e debilidades são propostas ações defensivas, ofensivas e são mostradas as vulnerabilidades e debilidades no desenvolvimento da cadeia de produção dos ETRs.

**Figura 13-Matriz SWOT do Negócio de Terras Raras**

	Ameaças	Oportunidades
Forças	<p><b>Potencialidade de Ações Defensivas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• P&amp;D das cadeias de produção dos TRs. fomentadas pelo governo brasileiro.</li> <li>• Concluir e publicar novo Marco Regulatório da mineração urgentemente.</li> <li>• Não cobrar impostos de renda sobre ganhos na bolsa valores de investidores em empresas de mineração.</li> <li>• Não cobrar impostos de renda sobre ganhos na bolsa valores de investidores em empresas de tecnologia verde (que contribuam com meio ambiente).</li> </ul>	<p><b>Potencialidade de Ações Ofensivas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Autoridades devem exigir estudos econômicos do aproveitamento dos TRs das empresas de mineração que estão descartando ETR nos seus rejeitos ou pilhas, para verificar se o descarte é justificável.</li> <li>• Taxação de produtos feitos com TRs importados.</li> <li>• Suspender direitos minerais de Minas em operação que estão descartando TRs economicamente viáveis, sendo descartados.</li> </ul>
Fraquezas	<p><b>Vulnerabilidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marco Regulatório da mineração pouco claro quanto a minas que tenham elementos radioativos nos seus minerais (Monopólio).</li> <li>• Falta de domínio completo da cadeia de valor dos TRs.</li> <li>• Preços dos Produtos a base de TRs não competitivos devido aos custos Brasil.</li> <li>• Empresa especulativas detentoras de direitos minerais de TRs, listadas em bolsas estrangeiras, podem abrir minas anti-econômicas. Fechamentos podem ser traumáticos, socialmente e ambientalmente.</li> </ul>	<p><b>Debilidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucas empresas interessadas em produzir imãs, catalizadores, fosforos nacionais devido a disponibilidade a baixo preço deste produtos vindos da China.</li> <li>• Fomento governamental desaquecido pelos baixos preços internacionais dos TRs. Falta de visão de futuro.</li> <li>• Difícil que países desenvolvidos transferiram tecnologia lucrativa ao Brasil. Visitas Técnicas de Prof. Universitários brasileiros a plantas de TRs no exterior demonstraram que há bloqueio pesado de informações chaves.</li> </ul>

### 3.4 Estratégias que podem mitigar riscos comuns aos projetos de ETRs

Como o nível de risco do negócio de terras raras é alto, listamos as seguintes estratégias que poderiam mitigar alguns riscos, entre os exemplos de projetos de minas encontraremos opções que estão de acordo com estas estratégias, e outras que infelizmente não.

- Priorizar Minas em operação, que estejam trabalhando com lucro, aonde os ETRs seriam subprodutos;
- Priorizar jazidas com ETRs aonde são razoáveis os teores de elementos com maiores preços tais como Pd, Nd, Tb, Eu, Er, Gd, Dy, Sc;
- Priorizar depósitos aonde não estejam presentes elementos radioativos;
- Associar-se a empresas consumidoras finais de ETRs para dispor da tecnologia envolvida na cadeia de valores, ter capital próprio mais acessível;

- Aplicar taxas de desconto de acordo com o risco do negócio, mitigando principalmente risco de alinhamento de incentivos (muito comum em empresas listadas em Bolsas);
- Priorizar projetos em regiões aonde água e energia não são problemas;
- Contratar empresas de engenharia com histórico positivo em implantação de projetos de ETRs, ou caso não disponível iniciar com escala de laboratório, seguida por planta e fabrica piloto antes de aventurar-se em escala industrial. (Mitigar Risco Técnico);
- Usar as melhores práticas de mercado para avaliação de recursos e reservas minerais; usando preferencialmente avaliadores e laboratórios com experiência em terras raras.
- Cronograma deve permitir realizar todas fases do projeto com tempo suficiente. Falha nas fases iniciais podem levar a erros conceituais de difícil resolução a custos baixos nas fases mais avançadas do projeto.

### **3.5 Descrição dos projetos**

#### **Projeto 1**

Projeto tem recursos indicados de 178 milhões de toneladas com 0,16 % de óxidos de terras raras (OTRs) com 23% de terras raras pesados (HREO – Eu a Lu+Y) , e os recursos inferidos somam 234 milhões de toneladas com 0,16% de OTRs a 0,1% de teor de corte. Os OTRs ocorrem em um saprólito originado de alterações granítica.

Mais de 50% dos OTRs são absorvidos pela argila com exceção do Ce, solução rica contém 40% de HREO. As rotas estudadas de tratamento do mineral incluem lixiviação por pilhas e lixiviação por agitação. Tabela (21) abaixo mostra os recursos dos diferentes setores do projeto (121/11/36/10/Média). Massa em milhões de tonelada somando 178 Mt e teor médio em % de OTR para cada elemento.



**Tabela 21- Recursos Indicados do Projeto1**

Recursos Indicados						
	Metal (g/t)					
Mass (Mt)	121	11	36	10	Average	178
Ce	463	398	423	546	456	0,04556%
La	318	293	294	369	314	0,03145%
Nd	178	177	162	219	177	0,01770%
Pr	56	54	51	68	56	0,00555%
Sm	30	33	29	41	31	0,00306%
Eu	2	2	2	3	2	0,00021%
Gd	27	32	28	39	28	0,00282%
Yb	18	23	24	25	20	0,00199%
Dy	28	32	31	40	30	0,00295%
Er	19	23	22	26	20	0,00202%
Ho	6	7	7	8	6	0,00064%
Lu	3	3	3	3	3	0,00030%
Tb	4	5	5	6	4	0,00044%
Tm	3	4	4	4	3	0,00033%
Y	181	219	215	252	194	0,01942%
Zr	527	515	432	627	513	
LREE	1045	955	959	1243	1033	0,103%
HREE	291	350	341	406	311	0,031%
TREE	1336	1305	1300	1649	1344	0,134%

Fonte: Relatório 43101-Modificado

A empresa Mineração “**Empresa A**” pretende produzir um concentrado misto de terras raras (Miningweekly, 2014) em 2017, que começaria a produzir com 5000 toneladas por ano de concentrado de 2019 e aumentando para 10000 tpa em 2024. Custo de produção é estimado em aproximadamente US\$ 15/kg de concentrado de terras raras, e pouco abaixo de 25 US\$/kg de óxidos de terras raras.

Capital estimado entre 500 e 700 milhões de dólares, para 10000 toneladas de concentrado, adicionalmente foram gastos 100 milhões de dólares nos primeiros 4,5 anos de exploração e desenvolvimento do projeto. (Kean, 2014).

## Projeto 2

Mina em operação do Projeto 2 tem sido preponderantemente um produtor de nióbio, no minério de nióbio, existe em sua composição 4% de Monazita contendo óxidos de terras raras que aporta ao mineral os seguintes teores médios para um teor de corte de 5% de óxidos totais de terras raras (OTRs).

**Tabela 22-Reservas ETR Projeto 2**

Minério Mt	106,385
TREO	7,01%
CutOff	5%

CeO <sub>2</sub>	3,09%
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,15%
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,07%
Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	0,32%
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11%
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03%
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09%
Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	0,008%
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03%
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004%
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0105%
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0007%
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004%
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0007%
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,090%
Cutoff OTR	5%

Fonte: (Lapido-Loureiro, 2013)

Capital para instalação da planta de concentração, instalações para redução e fábrica de ímãs com capacidade 1350 toneladas por ano de foram estimados em de 128 milhões de dólares (real: dólar (nov-2013) = 2,32). Sendo 54,74 milhões de dólares nas fases de pesquisa e desenvolvimento (inclui planta piloto) e 74 milhões de dólares na construção da planta industrial. (Schneider, 2013)

Custo operacional da planta de concentração e separação de 3000 t/a será de 12,0 US\$/kg, custo da redução e fabricação da liga contendo Nd, Pd e Dy e de fabricação do ímã será de 24,95 US\$/kg. Foi calculado a partir de dados bibliográficos que continham custo total, aonde foram subtraídos custos da matéria prima Nd, Dy, Tb (Consórcio Tecnológico do Projeto ETR-BR, 2013).Custo de mineração não será considerado, pois está sendo pago pelo mineral principal que é o Nióbio.

### **Recuperações metalúrgicas e perdas no processo de fabricação de ímãs**

Recuperação do processo de concentração estimaremos em 80%. Perdas de ETRs na fabricação dos ímãs são estimadas entre 30% e 60%, sendo 30% baseado em levantamentos em empresas usuárias de ETRs (Hart, 2014).

### **Projeto 3**

Esta área como não tem um projeto publico, logo para elaborar uma avaliação econômica e de riscos, usou-se como referência outros projeto que tem recursos minerais e características geometalúrgicas similares.

Professor Lapido Loureiro calculou as reservas em rocha laterítica para este depósito do Projeto 3 como 54 milhões de toneladas a 8,39% de OTR a um teor de corte de 5% (Lapido-Loureiro, 2013), para o estudo exploratório desta dissertação seremos conservadores usando dados oficiais do sumário mineral do DNPM aonde está citada a reserva do depósito como :“**Em Catalão (GO), onde a “EMPRESA C” é proprietária de um depósito com 32,8 Mt de reservas lavráveis com teor médio de 8,4 % de OTR - óxidos de terras**” (DNPM, 2014).

Como não está divulgada a composição dos elementos nas reservas oficiais divulgadas pelo DNPM, um ajuste usando amostras publicadas foi aplicado e está mostrado abaixo:

**Tabela 23-Teores de OTR - Projeto 3**

	<b>Amostra Projeto 3</b>	<b>Teor Médio DNPM*</b>
<b>Teor Medio REO</b>	9,90%	8,40%
<b>La2O3</b>	2,40%	2,04%
<b>CeO2</b>	4,80%	4,07%
<b>Nd2O3</b>	1,80%	1,53%
<b>Pr6O11</b>	0,53%	0,45%
<b>Sm2O3</b>	0,13%	0,11%
<b>Eu2O3</b>	0,03%	0,03%
<b>Gd2O3</b>	0,05%	0,04%
<b>Tb4O7</b>	0,09%	0,08%
<b>Dy2O3</b>	0,03%	0,03%
<b>*Teores por elemento amostra do Minério Catalão I</b>		
<b>Ajustados ao da Teor médio DNPM</b>		

Modificado: Fonte: (Lapido-Loureiro, 2013) - de AQUINO & ALBUQUERQUE, 1996.

Aplicando a regra de Taylor para cálculo da produção possível teríamos uma produção anual P de:

$$P = 5 \times (Reserva)^{\frac{3}{4}} \quad (10)$$

$$P = 5 \times (32\ 800\ 000)^{\frac{3}{4}} = 2167\ 082\ tpa$$

Com o teor médio de 8,4% de OTR, e recuperação de 80% teríamos uma produção de 2167 082 t x 8,40% x 79% = 143 807 t de OTR, que é superior a produção mundial de 2013 que foi de 112 220 t de OTR. Logo o tamanho da mina será definido por mercado, não pela taxa de produção possível.

### **Parâmetros técnicos e econômicos**

Como mencionado anteriormente, por não haver divulgação de nenhum estudo para o depósito, por analogia extrairemos da avaliação do projeto Bear Lodge (Rare Earth Resources

INC, 2014) propriedade da Rare Earth Element Resources INC o capex, opex, recuperações metalúrgicas, taxa de produção para elaborar as análises econômicas e de risco para o depósito Catalão I. Assim como Bear Lodge o depósito Projeto 3 tem boa infraestrutura, como acesso fácil pois esta às margens da rodovia BR 050, a 280 km de Brasília e 700 de São Paulo.

Depósito do Projeto Bear Lodge está bem pesquisado, aproximadamente 27000 m de sondagem, apresentando reservas provadas e prováveis de 14 milhões de toneladas com um teor de 2,78 % de OTR.

Taxa de Produção de 196 000 toneladas por ano de alimentação a planta usada no estudo do projeto Bear Lodge parece razoável para utilizar-se em Projeto 3.

$P = 196\ 000\ t \times 8,40\% \times 79\% = 13\ 000$  toneladas de OTR, que seria aproximadamente 12 % da produção mundial de 2013/14.

Custos devem ser atualizados pelo PPI e nacionalizados via índice Big Mac:

Para custos de serviços de minas temos:

PPI maio 2013 = 121.4 (Consideraremos os custos do estudo tomado no ano anterior)

PPI maio 2015 = 114.4

Logo tivemos uma deflação de -6%

Utilizando o índice “Big Mac”, o custo Brasil tem que ser acrescido em 8,27%.

Logo temos deflação x custo Brasil =  $0,942 \text{ a } 1,0827 = 1,02$  ou seja deveríamos aumentar opex e capex em 2%. Portanto teremos Capex de 367 MUS\$ e opex de 15,35 US\$ por tonelada de OTR.

#### **Projeto Terras Raras – Projeto 4**

Depósito da **EMPRESA D** em Araxá é um depósito de fosfato, nióbio e terras raras classificado como depósito primário em carbonatito, com enriquecimento hidrotermal supergênico em saprolitos. Mineral hospedeiro das terras raras é a monazita. As reservas planejadas do projeto Araxá têm 1,25 milhões de toneladas com teor de óxidos de terras raras totais de 7,96%. Abaixo estão os teores por elemento, para um teor de corte de 6% de óxidos de terras raras totais. Para complementar o modelo econômico serão utilizados os recursos inferidos como “blue sky”, serão acrescidas 70 mil toneladas com teor 7,96% a um teor de corte de 6% de OTRs, totalizando 1,32 Mt com uma vida útil de 11 anos.

Tabela 24- Reservas e teores Projeto 4

Minério Mt	1,25
OTRs	7,86%
CutOff	6%
CeO <sub>2</sub>	3,94%
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,23%
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,46%
Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12%
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03%
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03%
Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	0,01%
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00%
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01%
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00%
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00%
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09%
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,46%

Fonte: NI43101 Empresa D - (VENMYN RAND (PTY), 2013)

Rota de Processo utilizada está descrita abaixo:

- **(Run of Mine)** (ROM);
- **(Cracking)** Circuit - ROM é atacado com ácido sulfúrico em um processo de digestão antes da lixiviação de água para dissolver REE, juntamente com ferro, tório, e nióbio, entre outros metais;
- Extração por solventes para remoção de ferro e tório a partir da solução contendo ETR;
- Circuito Precipitação - com a utilização de ácido oxálico, terras raras (e nióbio) são precipitados como oxalatos de terras raras e, em seguida, filtrados para separá-los de uma solução contendo ácido fosfórico;
- Circuito Dissolução - ácido clorídrico é utilizado para dissolver os oxalatos de terras raras (para formar cloretos de terras raras, ou o licor mãe) deixando para trás um resíduo rico em nióbio.
- Extração por solventes - terras raras individuais e cloretos de terras raras são separados um do outro;

- Precipitação e calcinação - Cloretos de terras raras individuais são convertidos nos seus respectivos hidróxidos solúveis antes da calcinação, para formar o respectivo OTRs de alta pureza.

As recuperações de OTRs com a rota descrita acima foram de 92% para os óxidos de terras raras e 41,40% para o óxido de nióbio. (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Consideraremos para efeito do estudo de risco que a produção de ROM. Será mantida em 120 000 toneladas por ano, o estudo original considera a produção variado de 120000 a 384000 toneladas por ano.

**Tabela 25-Projeto 4 - Custo de Capital (somente Fase 1)**

Capital Inicial	406,05	MUS\$
Capital de Trabalho	6,3	MUS\$/ano

**Tabela 26-Opex (Custos Operacionais) e Despesas**

Custo OTRs	Custo	Und.
Custo de Reagentes	7,67	US\$/kg OTRs
Custo de Mina	0,53	US\$/kg OTRs
Custo de Mão de Obra	0,88	US\$/kg OTRs
Contingência	5%	
Manutenção	3%	
<b>Total Custo OTRs</b>	<b>9,8</b>	<b>US\$/kg OTRs</b>
Despesas Gerais e Administrativas	12	MUS\$/ano
Custo Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10	US\$/kg Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

Fonte: (VENMYN RAND (PTY), 2013)

## Projeto 5

Projeto 5 está situado no sul do estado de Minas Gerais, no limite do estado de São Paulo com Minas, na região mais desenvolvida do país. A área está a uma distância de 22 km de Poços de Caldas, uma cidade de 150.000 habitantes industrial e turística.

A concessão do Projeto 5 encontrasse na porção central da intrusão alcalina de Poços de Caldas, que é bem conhecida, pela primeira mina de urânio no Brasil que foi construída e esgotada, e também por um número de minas de bauxita e argilas especiais ativas na região.

O minério de ETRs do Projeto 5 é um material argiloso Sapolito derivado de rochas alcalinas profundamente brechadas e hidrotermalmente alteradas. A Bastnaesite é o principal mineral de ETRs. Localmente o corpo de minério está relacionada com um (*stockwork*) magnetítico, sendo que o minério é um material argiloso passível de ser minerado por céu aberto usando escavação sem uso de explosivos.

**Tabela 27-Recursos Potencialmente mineráveis Projeto 5 (Poços de Caldas).**

Minério Mt	6,126
OTRs	3,015%
CutOff	0%
CeO2	1,582%
La2O3	0,714%
Nd2O3	0,405%
Pr6O11	0,142%
Sm2O3	0,044%
Eu2O3	0,011%
Gd2O3	0,027%
Tb4O7	0,04%
Dy2O3	0,018%
Ho2O3	0,003%
Er2O3	0,08%
Tm2o3	0%
Yb2O3	0%
Lu2O3	0%
Y2O3	0,061%
Nb2O5	1,5%
Cutoff TREO	0%

Fonte: ( PRIME STAR BRASIL MINERAÇÃO LTDA , 2013)

- Lavra Céu Aberto
- Alimentação 600.000 t/a ROM
- Produção – 116.999 t OTR vida útil da mina 12 anos
- Custo tratamento de minérios - US\$ 240/ t ROM OPEX
- Custo de Mina: US\$ 10/t OPEX
- Recuperação de OTR: 70%

Não foi apresentado projeção de Capex pela empresa detentora dos direitos minerais na apresentação de referência, logo a partir do capital estimado para o projeto Bear Lodge (usados para estimar Projeto 3) e usando a regra de Mular conhecida como dos seis décimos ajustaremos o capital estimado conhecido a alimentação da planta declarada pela **Empresa E**.

$$\frac{Custo\ 1}{Custo\ 2} = \left( \frac{Capacidade\ 1}{Capacidade\ 2} \right)^{0,6}$$

Onde:

Custo 1= Custo do projeto para 600 000 t/a =?

Custo 2 = Custo da Estimado para Projeto 3 = US\$ 367 000 000

Capacidade 1 = Capacidade Sugerida pela **EMPRESA E** = 600 000 t/a

Capacidade 2 = Capacidade do projeto 3 de 196 000 t/a

Logo temos:

$$\text{Custo 1} = \left( \frac{600\,000}{196\,000} \right)^{0,6} \times \text{US\$ } 367\,000\,000 = \text{US\$ } 718\,130\,000$$

**Tabela 28-Projeto 5 - Sumário de Opex**

<b>Custo OTR</b>	<b>Custo US\$/t ROM</b>	<b>Custo US\$/ kg OTR</b>
<b>Custo de Processo</b>	240	11,37
<b>Custo de Mina</b>	10	0,47
<b>Total Custo OTRs</b>	250	<b>11,85</b>
<b>teor médio OTRs</b>	3,02%	
<b>Recuperação de OTRs</b>	70%	

**Tabela 29-Morro do Ferro - Sumario de Capex**

<b>Capital Inicial</b>	<b>718,13</b>	<b>MUS\$</b>
<b>Capital de Trabalho</b>	21,54	MUS\$/ano

Fonte: Petter, R (2015)

### 3.6 Cadeia de valores dos elementos terras raras e projeção para crescimento em 30 anos - Matriz insumo produto

Foi desenvolvida uma matriz de Insumo/Produto para os ETRs considerando o crescimento industrial brasileiro dos próximos 30 anos, não temos a pretensão de acertar está complexa projeção, mas sim compreender se as escalas de produção dos projetos são suficientes, ou se temos que acelerar os trabalhos de prospecção e exploração. Abaixo vemos uma projeção do consumo de produtos que tem como insumos os ETR.

**Tabela 30-Matriz consumo x insumo ETR**

Aplicação		Market	Produção Anual	Consumo específico	Unidade	Elemento	Consumo Interno anual de ETR Projetado	Preços	Faturamento Anual
		Share					30 anos (t)	ETR (kg)	US\$
Veiculos	Imãs	100%	4000000	0,5	kg/veiculo	Nd+Pd	2000	87	174 000 000
	Celula Combustivel	20%	800000	1,3	kg/veiculo	Y	1040	15	15 600 000
	Bateria V. Elétrico (La)	23%	920000	2,3	kg/veiculo	La	2116	4,8	10 156 800
Bicicleta	Bicicleta Elétrica	25%	4000000	0,062	kg/bici.	Nd	248	87	21 576 000
	Bicicleta Elétrica	25%	4000000	0,008	kg/bici.	Dy	32	470	15 040 000
Lâmpadas	Fluorecente Compacta	100%	80000000	1,5	g/bulbo	Eu,Tb,Y	120	680	81 600 000
	LED	100%	20000000	1,2	g/bulbo	Eu,Tb,Y	24	680	16 320 000
Turbinas Eólicas	Turbinas Eólicas	50%	2000	180	kg/MW	Nd	360	87	31 320 000
	Turbinas Eólicas	50%	2000	30	kg/MW	Dy	60	470	28 200 000
Catalizador Petróleo	FCC	100%	2500000	2,11	g/barril	La	1925	4,8	9 241 800
	FCC	100%	2500000	0,53	g/barril	Ce	481	4,4	2 117 913
Ferro gusa	Ferro Nodular	20%	28000000	0,6	kg/t	Ce	3360	10	33 600 000
Cabos de Aluminio		50%	140000	100	100 g/t	Y	7	77	539 000
<b>Total</b>									<b>439 311 513</b>
<b>Total</b>	Oxidos						2551		
	Metal						9223		

Fonte:Petter,R (2015)



Os projetos de minas combinados propõem produzir aproximadamente 38 000 t de OTRs. De acordo com a matriz de insumo consumo acima teríamos um superávit de 27000 t. Este superávit é confortável para cobrir crescimento acima do esperado, atender mudanças tecnológicas, e também conduziria a uma exportação responsável, ou seja, exportar sem afetar o mercado mundial por superoferta (com 5% de crescimento em 30 anos o nível de consumo mundial de OTRs estaria acima das 400 000 toneladas por ano).

### **3.7 Modelos econômicos determinísticos dos projetos de terras raras**

Modelos econômicos serão reais em dólares base junho 2015, ou seja, não se aplicará inflação e não se vão ser escalonados os preços dos produtos.

Foram desenvolvidos modelos econômicos individualizados para os seguintes projetos:

- Projeto 1;
- Projeto 2;
- Projeto 3;
- Projeto 4;
- Projeto 5.

#### **Parâmetros econômicos financeiros usados nos modelos**

Seguintes parâmetros econômicos financeiros foram usados nos modelos:

#### **Preço de venda da cesta de terras raras e imã permanentes**

Preço da cesta de terras raras: Somatório de preços dos óxidos (dados na tabela 9) multiplicado por seu correspondente teor por elemento.

$$\sum_{i=1}^{i=n} \text{Preço}_i \times \text{teor}_i$$

#### **Preço do imã considerado**

Houve uma variação significativa dos preços dos imãs entre 2010 e 2013. Preço atual para imãs NdFeB conservador estava em torno de 142 US\$/kg no final de 2013 (Schneider, 2013). Não houveram muitas variações de preço do final de 2014 até 2015. Durante simulação de Monte Carlo variaremos de 120 a 230, pois dependendo das quantidades de dysprosium contidos no imã os preços podem aumentar significativamente, mas em compensação suas características e sua energia são proporcionalmente incrementadas.

### Taxa de Desconto para capitais (CMPC)

Para cálculo do CMPC temos da equação 3

$$CMPC = \frac{\text{Capital Próprio}}{\text{Capital Total}} \times K_S + \frac{\text{Capital de Terceiros}}{\text{Capital Total}} \times K_D \quad (3)$$

Aonde:

Capital Próprio = será de 50% (usual que os bancos exijam que os acionistas apliquem pelo menos 50% do valor investido). Como não são esperados dividendos altos, a remuneração seria pelo menos de 5% a.a. (Pagamento de dividendos normal na mineração).

Capital de Terceiros = aplicando o modelo de precificação de capitais:  $50\% * 13,37\% = 6,68\%$

$$TMA=KI \quad (4)$$

$$KI=RF+\beta*(ERM-RF) \quad (5)$$

$$KI= 3\% + 3,3 \times ((13,75\% - 9\%)*-3\%) = 13,37\%$$

KI=taxa adequada para o Risco do ativo (também chamada TMA ou taxa de mínima atratividade).

$\beta$  = Beta = usando a média dos betas das empresas abaixo (Google.finance, 2015) = 3,3

- Molycorp Inc (OTCMKTS) = 5.10
- Rare Element Resources Ltd = 6.30
- FRONTIER RARE EARTHS(OTCMKTS:FREFF)= 3.19
- Avalon Rare Metals Inc (US listing) (NYSEMKT:AVL = 3.73
- CANADA RARE EARTH (OTCMKTS:RAREF) = 1,68
- UCORE RARE METALS (OTCMKTS:UURAF) = 0,74
- QUEST RARE MINERAL (OTCMKTS:QRMLF) = 4,60
- NIOCORP DEVELOPMENTS (OTCMKTS:NIOBF) = 1,06

ERM= Retorno esperado do portfólio de mercado = SELIC=13,75% (Banco Central do Brasil, 2015), \*Descontar inflação Brasileira (para usar taxa real de juros), No que se refere a projeções de inflação, de acordo com os procedimentos tradicionalmente adotados e levando-se em conta o conjunto de informações disponíveis até 12 de junho de 2015 (data de corte), o cenário de referência, que pressupõe manutenção da taxa de câmbio constante no horizonte de previsão em R\$3,10/US\$, e a meta para a taxa Junho

2015 | Banco Central do Brasil | Relatório de Inflação | 9 Selic em 13,75% ao ano (a.a.), projeta inflação de 9,0% em 2015, 4,8% em 2016 e de 4,5% no segundo trimestre de 2017 (Banco Central do Brasil, 2015).

RF = taxa livre de risco = 3%

### **Taxa de Desconto para o fluxo de Investimentos (CMPC)**

CMPC =  $50\% * 5\% + 13,37\% * 50\% = 9,18\%$  arredondaremos para  $\cong 10\%$

### **Taxa de Desconto para o fluxo de caixa (TMA)**

Para descontar o fluxo de caixa usaremos a TMA calculada pela equação (5) que é 13,37%

### **Imposto de Renda sobre Pessoa Jurídica (IRPJ)**

#### **Alíquota e Adicional**

A pessoa jurídica, seja comercial ou civil o seu objeto, pagará o imposto à alíquota de 15% (quinze por cento) sobre o lucro real, apurado de conformidade com o Regulamento. O disposto neste item aplica-se, inclusive, à pessoa jurídica que explore atividade rural.

#### **Adicional**

A parcela do lucro real que exceder ao valor resultante da multiplicação de R\$ 20.000,00 (vinte mil reais) pelo número de meses do respectivo período de apuração, sujeita-se à incidência de adicional de imposto à alíquota de 10% (dez por cento). O adicional aplica-se, inclusive, nos casos de incorporação, fusão ou cisão e de extinção da pessoa jurídica pelo encerramento da liquidação. (Portal Tributário, 2015)

### **Contribuição Social sobre Lucro Líquido (CSSL)**

A partir de 01.02.2000 a alíquota é de 9% (nove por cento). Para as entidades financeiras e equiparadas a alíquota é de 15% (Portal Tributário, 2015).

### **Royalties para proprietários de terras e CFEM**

A Lei no 7.990, de 28/12/1989, definiu que a compensação financeira pela exploração dos recursos minerais (CFEM), para fins de aproveitamento econômico, seria de até 3% (três por cento) sobre o valor do faturamento líquido resultante da venda do produto mineral, obtido após a última etapa do processo de beneficiamento adotado e antes de sua transformação industrial.

Dessa forma, a CFEM tem a natureza de um royalty ad valorem, com suas vantagens e desvantagens.

As alíquotas definidas para a CFEM agrupam as substâncias minerais em quatro grupos:

- Minério de alumínio, manganês, sal-gema e potássio: 3%;
- Ferro, fertilizante, carvão e demais substâncias; 2%;
- Pedras preciosas, pedras coradas lapidáveis, carbonados e metais nobres: 0,2%;
- Ouro: 1% quando extraído por empresas mineradoras, isentos os garimpeiros.

A receita obtida é distribuída da seguinte forma:

- 12% para órgãos da União (DNPM, IBAMA, MCT);
- 23% para o Estado onde for extraída a substância mineral;
- 65% para o município produtor.

Além da CFEM, é garantida ao superficiais (proprietário do solo), nos regimes de concessão e licenciamento, participação no resultado da lavra, caso ele não seja o próprio minerador. Essa participação é de 50% do valor apurado para a CFEM, conforme estabelecido pela legislação (Lei nº 8.901/94) (J.Mendo, 2009).

### **ICMS (Vendas Internas de Metais, Imãs e Óxidos)**

Como é produtor, receberá crédito gerado pelo ICMS, não sendo custo ou despesa, o mesmo será desconsiderado.

### **PIS e COFINS não cumulativo.**

A base de cálculo da Contribuição para o PIS/Pasep e COFINS, com a incidência não-cumulativa, é o valor do faturamento mensal, assim entendido o total das receitas auferidas pela pessoa jurídica, independentemente de sua denominação ou classificação contábil (Lei nº 10.637, de 2002, art. 1º, §§ 1º e 2º e Lei nº 10.833, de 2003, art. 1º, §§ 1º e 2º). As alíquotas da Contribuição para o PIS/Pasep e da COFINS, com a incidência não-cumulativa, são, respectivamente, de um inteiro e sessenta e cinco centésimos por cento (1,65%) e de sete inteiros e seis décimos por cento (7,6%).

### **IPI (aplicado sobre imãs)**

Alíquota para metais como trata-se a liga magnética considera-se 5%. (Receita Federal do Brasil, 2015)

### **Despesas de Depreciação**

Será aplicado 3% do Capital ao ano para manutenção dos ativos permanentes e imobilizados (Prédios, maquinas e equipamentos). Em inglês seria o “Stay in business”.

### **Créditos de PIS & COFINS**

Serão aplicadas alíquotas da Contribuição para o PIS/Pasep e da COFINS, com a incidência não-cumulativa, são, respectivamente, de um inteiro e sessenta e cinco centésimos por cento (1,65%) e de sete inteiros e seis décimos por cento (7,6%). (Portal Tributário, 2015) para os créditos admissíveis abaixo:

- a. Bens adquiridos para revenda, exceto em relação às mercadorias e aos produtos adquiridos com substituição tributária ou submetidos a incidência monofásica da COFINS.
  - b. Bens e serviços utilizados como insumo na fabricação de produtos destinados à venda ou na prestação de serviços, inclusive combustíveis e lubrificantes, com as vedações previstas.
  - c. Energia elétrica consumida nos estabelecimentos da pessoa jurídica.
  - d. Aluguéis de prédios, máquinas e equipamentos, pagos a pessoa jurídica, utilizados nas atividades da empresa.
  - e. Despesas financeiras (\*) decorrentes de empréstimos e financiamentos e o valor das contraprestações de operações de arrendamento mercantil de pessoa jurídica, exceto de optante pelo Sistema Integrado de Pagamento de Impostos e Contribuições das Microempresas e das Empresas de Pequeno Porte – SIMPLES.
- (\*) por força do art. 21 da Lei 10.865/2004, que alterou a redação do inciso V do art. 3 da Lei 10833/2003, as despesas financeiras não gerarão mais créditos, a partir de 01.05.2004.
- f. Máquinas, equipamentos e outros bens incorporados ao ativo imobilizado adquiridos para utilização na produção de bens destinados à venda, ou na prestação de serviços.
  - g. Edificações e benfeitorias em imóveis próprios ou de terceiros, utilizados nas atividades da empresa.
  - h. Bens recebidos em devolução, cuja receita de venda tenha integrado faturamento do mês ou de mês anterior, e tributada pela COFINS não cumulativa.



gerando um fluxo de caixa negativo, recomenda-se não considerar a taxa interna de retorno como fator de decisão, pois o algoritmo de cálculo da TIR não funciona bem nestas condições.

### 3.7.2 Modelo Econômico Projeto 2

Foram usados na confecção do modelo as reservas intemperizadas de 106 Mt com 7,01% de teor de OTR vida útil para análise foi limitada em 20 anos de vida útil. Alimentação de Planta será de 67,7 kt por ano de forma a possibilitar a produção anual de 1350 t de imãs permanentes de NdFeB. Aplicou-se teor médio durante a vida útil do projeto. Considerou-se recuperação metalúrgica de 80%, produto final serão óxidos de com 99,99% de pureza e imãs permanentes de NdFeB (inclui-se Tb para aplicações em Geradores eólicos e veículos híbridos). (Hart, 2014). A jazida pode suprir grande parte do mercado mundial sozinha, mas optamos em considerar o tamanho de fábrica de imãs que tem sido estudado pelo consórcio tecnológico Projeto ETR. (Schneider, 2013) . Excedentes dos óxidos foram considerados como vendidos a preços de mercado.

**Tabela 32-Modelo Econômico determinístico Projeto 2**

			-5	-4	-3	-2	-1	1	2	20	Total
Produção (ROM)	000 x tonnes							67,7	67,7	67,7	1355
Recuperação Metalúrgica LDREO	%	80%						80%	80%	80%	
Recuperação Metalúrgica HDREO	%	80%						80%	80%	80%	
Perda de metais na fabricação dos imãs	%	30%						30%	30%	30%	
teor de LDREO	%	6,74%						6,74%	6,74%	6,74%	
teor de HDREO	%	0,26%						0,26%	0,26%	0,26%	
Produção of LDREO	kg x 000							3654	3654	3654	
Produção de HDREO	kg x 000							144	144	144	
Produção de TREO	kg x 000							3798	3798	3798	75957
Produção de imãs	kg x 1000	28,47						1350	1350	1350	
Valor da Cesta LDREO	US\$/t ROM	1209,5						1209	1209	1209	
Valor da Cesta HDREO	US\$/t ROM	427,7						427,7	427,7	427,7	
Valor da Cesta de imã	US\$/t ROM	4042						4042	4042	4042	
Custo unitário REO	US\$/kg	12						12	12	12	
Custo unitário imã	US\$/kg	24,95						24,95	24,95	24,95	
CFEM+ Royalties	%	3,00%						3,0%	3,0%	3,0%	
Receita Bruta REO	US\$ 000							88730	88730	88730	
Custo Operacional REO	US\$ 000							45574	45574	45574	
Receita Bruta imãs	US\$ 000							273857	273857	273857	
Custo operacional imãs	US\$ 000							48118	48118	48118	
Total Receita Bruta	US\$ 000							362588	362588	362588	
CFEM+ Royalties	US\$ 000							10878	10878	10878	
PIS & COFINS - Creditos Cofins		9,25%						27531	27531	28961	
Capital Planta+Ref+imã	US\$ 000	88330	2650	4417	7066	37099	37099				88330
Lucro Bruto	US\$ 000							230487	230487	229057	
Despesas com Depreciação	US\$ 000	3%						2650	2650	2650	
Lucro Antes dos Impostos	US\$ 000							227837	227837	226407	
Amortização	US\$ 000							4417	4417	4417	
Base Impositiva								223421	223421	221991	
Imposto de Renda + CSLL (9%+25%)	US\$ 000							75963	75963	75477	
Lucros depois dos Impostos	US\$ 000							179405	179405	179891	
Non Cash Expenses	US\$ 000										
Fluxo de Caixa Livre	US\$ 000							179405	179405	179891	3595883
<b>Fluxo de Caixa</b>			<b>-2650</b>	<b>-4417</b>	<b>-7066</b>	<b>-37099</b>	<b>-37099</b>	<b>179405</b>	<b>179405</b>	<b>179891</b>	<b>3507553</b>
<b>Resultados</b>											
VPL do Fluxo do Caixa Livre	US\$ 000	659.268									
VPL do Fluxo do Capital Investido	US\$ 000	-63.067									
VPL do Projeto		596.202									
TIR		90%									
Capital (Capex)		88330									
<b>Parâmetros Financeiros e Técnicos</b>											
Taxa de desconto para o Fluxo de Caixa	%	13%									
Taxa de Desconto para Capital	%	10%									
Imposto de Renda + CSLL (9%+25%)	%	34%									
Produção (ROM) - fase 1	t 000	68									
Vida Útil	years	20									

Fonte: Petter, R (2015)

**Tabela 33-Produção de ímãs permanentes – parâmetros técnicos da avaliação**

Consumo Nd/Dy/Tb	Produção de ímãs	Capacidade da jazida t/a	% Consumida
Produção Anual de ímãs t/a	1350		
Perdas na fabricação	30%		
Consumo Nd t/a	526,5	48912	1%
Consumo Fe t/a	1114		
Consumo B t/a	18		
Consumo Dy t/a	70	1365	5%
Consumo Tb t/a	26	196	13%

Fonte: Petter, R (2015)

Aplicada uma taxa de desconto de 13% ao fluxo de caixa livre depois dos impostos, e uma taxa de desconto de 10% sobre o capital, considerando 50% de capital próprio e 50% de capital de terceiros. Modelo determinístico acima resultou um valor presente líquido de 596 milhões de dólares, e uma taxa de retorno de 90% ao ano com 20 anos de vida útil.

### 3.7.3 Modelo Econômico Projeto 3

Foram usados na confecção do modelo as reservas intemperizadas de 32,8 Mt com 8,46% de teor de OTR vida útil para análise foi limitada em 20 anos de vida útil. Alimentação de Planta será de 196 kt por ano. Aplicou-se teor médio durante a vida útil do projeto. Considerou-se recuperação metalúrgica de 79%, produto final serão óxidos de com 99,99% de pureza.



Tabela 34-Modelo econômico determinístico projeto Projeto 3

				-5	-4	-3	-2	-1	1	20	Total
Produção (ROM)		000 x tonnes							196,0	196,0	3920
Recuperação Metalúrgica LDREO	1	%	79%						79%	79%	
Recuperação Metalúrgica HDREO	1	%	79%						79%	79%	
teor de LDREO		%	8,20%						8,20%	8,20%	
teor de HDREO		%	0,22%						0,22%	0,22%	
Production of LDREO	1	kg x 000							12697	12697	
Produção de HDREO	1	kg x 000							341	341	
Produção de TREO		kg x 000							13038	13038	260750,56
Produção de imãs		kg							0	0	
Valor da Cesta LDREO	1	US\$/ t ROM	1654,1						1654,1	1654,1	
Valor da Cesta HDREO	1	US\$/ t ROM	832,4						832,4	832,4	
Valor da Cesta de imã		US\$/ t ROM							0	0	
Custo unitario REO	1	US\$/kg	15,351						15,351	15,351	
Custo unitário imã		US\$/kg							0	0	
CFEM+ Royalties		%	3,00%						3,0%	3,0%	
Receita Bruta REO		US\$ 000							385005	385005	7700100,3
Custo Operacional REO		US\$ 000							200139	200139	4002781,8
Receita Bruta imãs		US\$ 000							0	0	
Custo operacional imãs		US\$ 000							0	0	
CFEM+ Royalties		US\$ 000							11550	11550	231003
PIS & COFINS - Creditos Cofins			9,25%						19397	25338	482999
Capital REO	1	US\$ 000	367000	18350	18350	55050	146800	128450	0	0	367000
Capital imãs		US\$ 000									0
Lucro Bruto		US\$ 000							153918	147978	2983317
Despesas Operacionais		US\$ 000									0
Despesas com Depreciação		US\$ 000	3%						11010	11010	220200
Lucro Antes dos Impostos		US\$ 000							142908	136968	2763117
Amortização		US\$ 000							18350	18350	367000
Base Impositiva									124558	118618	2396117
Imposto de Renda + CSLL (9%+25%)		US\$ 000							42350	40330	814680
Lucros depois dos Impostos		US\$ 000							100559	121976	2412039
Non Cash Expenses		US\$ 000									0
Fluxo de Caixa Livre		US\$ 000		0	0	0	0	0	100559	121976	2412039
<b>Fluxo de Caixa</b>				<b>-18350</b>	<b>-18350</b>	<b>-55050</b>	<b>-146800</b>	<b>-128450</b>	<b>100559</b>	<b>121976</b>	<b>2045039</b>
<b>Resultados</b>											
VPL do Fluxo do Caixa Livre		US\$ 000	435.218								
VPL do Fluxo do Capital Investido		US\$ 000	-253.231								
VPL do Projeto			181.988								
TIR			24,30%								
Capital (Capex)			367000								
<b>Parâmetros Financeiros e Técnicos</b>											
Taxa de desconto para o Fluxo de Caixa	1	%	13%								
Taxa de Desconto para Capital	1	%	10%								
Imposto de Renda + CSLL (9%+25%)		%	34%								
Produção (ROM) - fase 1		ktpy	6250								
Produção (ROM) - fase 2		ktpy	12500								

Fonte: Petter, R (2015)

Aplicada taxa de desconto de 13% ao fluxo de caixa livre depois dos impostos, e uma taxa de desconto de 10% sobre o capital, considerando 50% de capital próprio e 50% de capital de terceiros. Modelo determinístico acima resultou um valor presente líquido de 181 milhões de dólares, e uma taxa de retorno de 24,30% em 20 anos de vida útil.

### 3.7.4 Modelo Projeto 4

Foram usados na confecção do modelo as reservas intemperizadas de 1,25 Mt com 7,91% de teor de OTR vida útil de 11 anos de vida útil.

Alimentação de Planta será de 120 kt por ano. Aplicou-se teor médio durante a vida útil do projeto. Considerou-se recuperação metalúrgica de 92%, produto final serão óxidos de com 99,99% de pureza.

Tabela 35-Modelo econômico determinístico Projeto 4

				-5	-4	-3	-2	-1	1	10	11	Total
Produção (ROM)		000 x tonnes							120,0	120,0	50,0	1250
Recuperação Metalúrgica LDREO	1	%	92%						92%	92%	92%	
Recuperação Metalúrgica HDREO	1	%	92%						92%	92%	92%	
Recuperação Metalúrgica Nb2O5		%	41,4%						41%	41%	41%	
teor de LDREO		%	7,75%						7,75%	7,75%	7,75%	
teor de HDREO		%	0,16%						0,16%	0,16%	0,16%	
teor Nb2O5		%	1,46%						1,46%	1,46%	1,46%	
Production of LDREO	1	kg x 000							8551	8551	3563	
Produção de HDREO	1	kg x 000							179	179	74	
Produção de TREO		kg x 000							8730	8730	3638	90939
Produção de Nb2O5		kg x 000							0,7	0,7	0,3	
Produção de imãs		kg							0	0	0	
Valor da Cesta LDREO	1	US\$/ t ROM	1147,9						1147,9	1147,9	1147,9	
Valor da Cesta HDREO	1	US\$/ t ROM	304,2						304,2	304,2	304,2	
Valor da Cesta de imã		US\$/ t ROM							0	0	0	
Valor do Nb2O5		US\$/ t ROM	487						487	487	487	
Custo unitário REO	1	US\$/kg	9,80						9,8	9,8	9,8	
Custo unitário imã		US\$/kg							0	0	0	
Custo unitário Nb2O5		US\$/kg	10						10	10	10	
CFEM+ Royalties		%	3,00%						3,0%	3,0%	3,0%	
Receita Bruta REO		US\$ 000							160312	160312	66797	2E+06
Custo Operacional REO		US\$ 000							85555	85555	35648	891198
Receita Bruta imãs		US\$ 000							0	0	0	
Custo operacional imãs		US\$ 000							0	0	0	
Receita Bruta Nb2O5		US\$ 000							24219	24219	10091	
Custo Nb2O5		US\$ 000							7,3	7,3	3,0	
CFEM+ Royalties		US\$ 000							5536	5536	2307	57666
PIS & COFINS - Creditos Cofins			9,25%						5885	12465	4817	103147
Capital REO	1	US\$ 000	406500	20325	20325	60975	162600	142275	0			406500
Capital imãs		US\$ 000										0
Lucro Bruto		US\$ 000							63336	56756	24026	617909
Despesas Operacionais		US\$ 000							12000	12000	12000	132000
Despesas com Depreciação		US\$ 000	2%						6992	6992	6992	76910
Lucro Antes dos Impostos		US\$ 000							68556	61976	15122	661202
Amortização		US\$ 000							36955	36955	36955	406500
Base Impositiva									31602	25021	-21833	254702
Imposto de Renda + CSLL (9%+25%)		US\$ 000							10745	8507	0	94022
Lucros depois dos Impostos		US\$ 000							57812	53469	15122	567180
Fluxo de Caixa Livre		US\$ 000		0	0	0	0	0	57812	53469	15122	567180
<b>Fluxo de Caixa</b>				<b>-20325</b>	<b>-20325</b>	<b>-60975</b>	<b>-162600</b>	<b>-142275</b>	<b>57812</b>	<b>53469</b>	<b>15122</b>	<b>160680</b>
<b>Resultados</b>												
VPL do Fluxo do Caixa Livre		US\$ 000	161.532									
VPL do Fluxo do Capital Investido		US\$ 000	-280.486									
VPL do Projeto			-118.954									
TIR			5,34%									
Capital (Capex)			406500									
<b>Parâmetros Financeiros e Técnicos</b>												
Taxa de desconto para o Fluxo de Caixa	1	%	13%									
Taxa de Desconto para Capital	1	%	10%									
Imposto de Renda + CSLL (9%+25%)		%	34%									
Produção (ROM) - fase 1		ktpy	6250									
Produção (ROM) - fase 2		ktpy	12500									

Fonte: Petter, R (2015)

Aplicada taxa de desconto de 13% ao fluxo de caixa livre depois dos impostos, e uma taxa de desconto de 10% sobre o capital, considerando 50% de capital próprio e 50% de capital de terceiros. Modelo determinístico acima resultou um valor presente líquido de -118,9 milhões de dólares, e uma taxa de retorno de 5,34 % em 11 anos de vida útil.

### 3.7.5 Modelo Econômico Projeto 5

Foram usados na confecção do modelo os recursos de 6,1 Mt com 3,03 % de teor de OTR vida útil de 12 anos de vida útil.

Alimentação de Planta será de 600 kt por ano. Aplicou-se teor médio durante a vida útil do projeto. Considerou-se recuperação metalúrgica de 70%, produto final serão óxidos de com 99,99% de pureza.

**Tabela 36-Modelo econômico determinístico projeto Projeto 5**

			-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	9	10	11	12	Total
Produção (ROM)	000 x tonnes							300,0	400,0	500,0	600,0	600,0	500,0	500,0	300,0	6100
Recuperação Metalúrgica LDREO	%	70%						70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	
Recuperação Metalúrgica HDREO	%	70%						70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	
teor de LDREO	%	2,89%						2,89%	2,89%	2,89%	2,89%	2,89%	2,89%	2,89%	2,89%	
teor de HDREO	%	0,13%						0,13%	0,13%	0,13%	0,13%	0,13%	0,13%	0,13%	0,13%	
Production of LDREO	kg x 000							6070,3	8093,7	10117	12141	12141	10117	10117	6070,3	
Produção de HDREO	kg x 000							274	365	456	547	547	456	456	274	
Produção de TREO	kg x 000							<b>6344</b>	<b>8459</b>	<b>10573</b>	<b>12688</b>	<b>12688</b>	<b>10573</b>	<b>10573</b>	<b>6344</b>	<b>128992,9</b>
Produção de imãs	kg							0	0	0	0	0	0	0	0	
Valor da Cesta LDREO	US\$/ t ROM	493,8						493,8	493,8	493,8	493,8	493,8	493,8	493,8	493,8	
Valor da Cesta HDREO	US\$/ t ROM	226,7						226,7	226,7	226,7	226,7	226,7	226,7	226,7	226,7	
Valor da Cesta de imã	US\$/ t ROM							0	0	0	0	0	0	0	0	
Custo unitário REO	US\$/kg	11,85						11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	
Custo unitário imã	US\$/kg							0	0	0	0	0	0	0	0	
CFEM+ Royalties	%	3,00%						3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	
Receita Bruta REO	US\$ 000							151305	201739	252174	302609	302609	252174	252174	151305	3076525
Custo Operacional REO	US\$ 000							75175	100234	125292	150351	150351	125292	125292	75175	1528565
Receita Bruta imãs	US\$ 000							0	0	0	0	0	0	0	0	
Custo operacional imãs	US\$ 000							0	0	0	0	0	0	0	0	
CFEM+ Royalties	US\$ 000							4539	6052	7565	9078	9078	7565	7565	4539	92296
PIS & COFINS - Creditos Cofins		9,25%						0	408	3914	7420	19045	15539	15539	8526	146568
Capital REO	US\$ 000	718130	35907	35907	107720	287252	251345,5	0	0	0	0	0	0	0	0	718130
Capital imãs	US\$ 000															0
Lucro Bruto	US\$ 000							71590	95046	115403	135760	124135	103778	103778	63064	1309095
Despesas Operacionais	US\$ 000															0
Despesas com Depreciação	US\$ 000	3%						21544	21544	21544	21544	21544	21544	21544	21544	258527
Lucro Antes dos Impostos	US\$ 000							50046	73502	93859	114216	102591	82234	82234	41520	1050569
Amortização	US\$ 000							59844	59844	59844	59844	59844	59844	59844	59844	718130
Base Impositiva								-9798	13658	34015	54372	42747	22390	22390	-18324	332439
Imposto de Renda + CSLL (9%+25%)	US\$ 000							0	4644	11565	18486	14534	7613	7613	0	122591
Lucros depois dos Impostos	US\$ 000							50046	69266	86208	103150	107102	90160	90160	50046	1074546
Non Cash Expenses	US\$ 000															0
Fluxo de Caixa Livre	US\$ 000		0	0	0	0	0	50046	69266	86208	103150	107102	90160	90160	50046	1074546
<b>Fluxo de Caixa</b>			<b>-35907</b>	<b>-35907</b>	<b>-107720</b>	<b>-287252</b>	<b>-251346</b>	<b>50046</b>	<b>69266</b>	<b>86208</b>	<b>103150</b>	<b>107102</b>	<b>90160</b>	<b>90160</b>	<b>50046</b>	<b>356416</b>
<b>Resultados</b>																
VPL do Fluxo do Caixa Livre	US\$ 000	269.713														
VPL do Fluxo do Capital Investido	US\$ 000	-495.511														
VPL do Projeto		-225.799														
TIR		5,57%														
Capital (Capex)		718130														
<b>Parâmetros Financeiros e Técnicos</b>																
Taxa de desconto para o Fluxo de Caixa	%	13%														
Taxa de Desconto para Capital	%	10%														
Imposto de Renda + CSLL (9%+25%)	%	34%														
Produção (ROM) - fase 1	ktpy	6250														
Produção (ROM) - fase 2	ktpy	12500														

Fonte: Petter, R (2015)

Considerada uma taxa de desconto de 13% ao fluxo de caixa livre depois dos impostos, e taxa de desconto de 10% sobre o capital, com estrutura de capital de 50% de capital próprio e 50% de capital de terceiros. Modelo determinístico acima resultou um valor presente líquido de -225,79 milhões de dólares, e uma taxa de retorno de 5,57 % em 12 anos de vida útil.

### 3.8 Análise de Cenários e Sensibilidade dos projetos de terras raras

Cenários a serem testados:

- Pior caso: Preços -30%, Custo + 30%, Capital +30%, teores -30%, Recuperações metalúrgicas -10%. Alimentação a planta -30%
- Caso base: Caso do modelo Econômico Determinístico

- Melhor caso: Preços +30%, Custo - 30%, Capital -30%, teores +30%, Recuperações +10%. Alimentação a planta -30%

Análise de Sensibilidade:

Variáveis a serem testadas usando intervalos de 15 % (+30%, +15%, 0%, -15%, -30%)

- Preços (OTR, imãs) \*
- Custo Operacional
- Capital
- Perdas de ETR na fabricação dos imãs. (Caso Projeto 2)

\*Sensibilidade de teores e preços são similares pois ambos multiplicam Receita. Teores também tem correlação com custos devido a quantidade óxidos ser um direcionador de custos, pois os altos custos de reagentes são diretamente proporcionais aos teores dos OTRs.

### 3.8.1 Análise de Sensibilidade e Cenários e Sensibilidade do projeto 1

Tabela 37-Projeto 1 – Análise de Cenários

Item	Resultados			Variáveis						
	VPL	TIR	Pay Back	Preço Cesta (LREO+HREO) US\$/t ROM	Custo REO	Capital	LREO%	HREO%	Recuperação Metalurgica	Alimentação da Planta
Pior Caso	-409.000	-	-	42,77	22,75	650000	0,084%	0,028%	45%	5625-11250
Caso Base	-46.097	12,95%	10	61,1	17,5	500000	0,12%	0,04%	50%	6250 a 12500
Melhor Caso	375.367	41,03%	1	79,43	12,25	350000	0,16%	0,05%	55%	6875-13750

**Pior caso:** Preços -30%, Custo + 30%, Capital +30%, teores -30%,

Recuperações metalúrgicas -10%. Alimentação a planta -10%

**Melhor Caso :** Preços +30%, Custo - 30%, Capital -30%, teores +30%,

Recuperações +10%. Alimentação a planta -10%

taxa de desconto Fluxo de caixa = 13% e Capital = 10%

Fonte: Petter, R (2015)

#### Análise de Sensibilidade

A seguinte figura representa a análise de sensibilidade para preços dos OTR (valor da cesta de OTR), em escala de cores aonde vemos os VPL em milhares de dólares que variam em custo segundo porcentagens de variações mostradas na linha superior e variam sua taxa de desconto segundo variações de porcentagens mostradas na primeira coluna.

Observa-se que a elevação das taxas de desconto, causadas por riscos econômicos e financeiros, impactam fortemente nos resultados, confirma-se que o preço da cesta de ETR é a uma variável muito sensível.

**Tabela 38-Análise de sensibilidade Projeto 1 variando Preços de OTR**

		Variação de Preços de OTR				
		-30%	-15%	0%	15%	30%
Variação da taxa de desconto	-30%	-305475	-110906	30190	169878	309567
	-15%	-275031	-124908	-15710	92463	200635
	0%	-249410	-131857	-46097	38910	123917
	15%	-227650	-134321	-66041	1680	69402
	30%	-209006	-133956	-78902	-24265	30372

Fonte: Petter, R (2015)

Seguinte figura representa a análise de sensibilidade para custos dos OTR. Claramente não tão significativa quanto a variação de preços, mas igualmente importante.

**Tabela 39-Análise de sensibilidade Projeto 1 variando custos operacionais**

		Variação de Custos				
		-30%	-15%	0%	15%	30%
Variação da taxa de desconto	-30%	215190	122690	30190	-62327	-174887
	-15%	127676	55983	-15710	-87416	-173982
	0%	66687	10295	-46097	-102498	-170065
	15%	23894	-21074	-66041	-111017	-164491
	30%	-6273	-42587	-78902	-115223	-158094

Fonte: Petter, R (2015)

Projeto mostra-se menos sensível as variações de capital que as variáveis anteriores de preço de OTRs e custos operacionais.

**Tabela 40- Análise de sensibilidade Projeto 1 variando Capital**

		Variação de Capital				
		-30%	-15%	0%	15%	30%
Variação da taxa de desconto	-30%	115510	72850	30190	-12471	-55131
	-15%	61962	23126	-15710	-54546	-93382
	0%	24963	-10567	-46097	-81626	-117156
	15%	-721	-33381	-66041	-98701	-131362
	30%	-18587	-48745	-78902	-109060	-139218

Fonte: Petter, R (2015)

### 3.8.2 Análise de Sensibilidade e Cenários e Sensibilidade do Projeto 2

**Tabela 41-Projeto 2 – Análise de Cenários**

Item	Resultados			Variáveis							
	VPL US\$ 000	TIR	Pay Back	Preço Cesta (LREO+HREO) US\$/t ROM	Preço cesta de imã US\$/ t ROM	Custo REO	Capital	LREO%	HREO%	Recuperação Metalúrgica	Alimentação da Planta
Pior Caso	241.728	50%	2	1146	2830	15,6	114829	4,72%	0,19%	72%	61,0
Caso Base	596.202	90,36%	1	1637	4042	12	88330	6,74%	0,26%	80%	67,7
Melhor Caso	1.047.000	138,00%	1	2128	2830	8,4	61831	8,76%	0,34%	88%	74,5

**Pior caso:** Preços -30%, Custo + 30%, Capital +30%, teores -30%, Recuperações metalúrgicas -10%. Alimentação a planta -10%  
**Melhor Caso :** Preços +30%, Custo - 30%, Capital -30%, teores +30%, Recuperações +10%. Alimentação a planta -10%  
 taxa de desconto Fluxo de caixa = 13% e Capital = 10%

Fonte: Petter, R (2015)

#### Análise de Sensibilidade

Figura abaixo mostra análise de sensibilidade a preços dos OTR (valor da cesta de OTR) e imãs permanentes, na coluna podemos observar os impactos da variação da taxa de desconto, que está ligado a riscos econômicos e financeiros. Taxas de desconto de referência (0%) são as mesmas usadas na análise de fluxo de caixa descontado determinístico. (FC=13% e Capital=10%).

Tabela 42-Análise de sensibilidade Projeto 2 variando preços de OTR e imãs permanentes

		Variação de Preços de OTR				
		-30%	-15%	0%	15%	30%
Variação da taxa de desconto	-30%	543796	751647	959497	1167348	1375199
	-15%	421112	586970	752828	918685	1084543
	0%	328141	462171	596202	730232	864263
	15%	256667	366226	475786	585345	694904
	30%	200980	291471	381961	472452	562943

Fonte: Petter, R (2015)

Sensibilidade a custos de produção dos OTRs e fabricação dos imãs permanentes NdFeB (dopados com Dy e Tb). Impacto da variação de custos é menor comparativamente que o da variação de preços. Contudo, nenhuma das variações pode gerar valores negativos de VPL.

Tabela 43-Análise de Sensibilidade Projeto 2 variando custos de OTR e imãs permanentes

		-30%	-15%	0%	15%	30%
		Variação da taxa de desconto	-30%	1067565	1013531	959497
-15%	839062		795945	752828	709710	666593
0%	665888		631045	596202	561358	526515
15%	532749		504267	475786	447304	418823
30%	429010		405486	381961	358437	334913

Fonte: Petter, R (2015)

Reduzido capital deste projeto, principalmente devido a existência de toda infraestrutura da mina de nióbio, faz com que seja pouco sensível a variações de capital. Novamente é notável o impacto da variação da taxa de desconto.

Tabela 44-Análise de Sensibilidade Projeto 2 variando capital

		Variação de Capital				
		-30%	-15%	0%	15%	30%
Variação da taxa de desconto	-30%	979281	969389	959497	949605	939713
	-15%	772460	762644	752828	743012	733195
	0%	615715	605959	596202	586445	576688
	15%	495205	485496	475786	466076	456366
	30%	401305	391633	381961	372289	362618

Fonte: Petter, R (2015)

### 3.8.3 Análise de Sensibilidade e Cenários e Sensibilidade do Projeto 3

Tabela 45-Projeto 3 – Análise de Cenários

Item	Resultados			Variáveis						
	VPL	TIR	Pay Back	Preço Cesta (LREO+HREO)	Custo REO	Capital	LREO%	HREO%	Recuperação	Alimentação
	US\$ 000		anos	US\$/t ROM	US\$/kg	US\$ 000			Metalúrgica	da Planta kt/a
Pior Caso	-169.719	6%	10	1741	19,96	477100	5,74%	0,15%	71%	137,2
Caso Base	181.988	24,30%	3	2486	15,35	367000	8,20%	0,22%	79%	196,0
Melhor Caso	743.756	53,14%	1	3232	10,7	256900	10,66%	0,29%	87%	215,6
<b>Pior caso:</b> Preços -30%, Custo + 30%, Capital +30%, teores -30%, Recuperações metalúrgicas -10%. Alimentação a planta -10% <b>Melhor Caso :</b> Preços +30%, Custo - 30%, Capital -30%, teores +30%, Recuperações +10%. Alimentação a planta -10% taxa de desconto Fluxo de caixa = 13% e Capital = 10%										

Fonte: Petter, R (2015)

#### Análise de Sensibilidade

Figura abaixo mostra a sensibilidade do VPL do projeto a variações de preços dos OTRs (valor da cesta de OTR). A taxa de desconto de referência é a mesma do modelo de avaliação determinístico, ou seja, de 13% para fluxo de caixa livre e 10% para o capital. Nota-se que o projeto resiste a quedas de preços na ordem de 15%, o que na atual conjuntura não pode se considerar robustez.



Tabela 46- Análise de Sensibilidade do Projeto 3 variando preços de OTR

		Variação de Preços de OTR				
		-30%	-15%	0%	15%	30%
Variação da taxa de desconto	-30%	-38309	179270	396848	614426	832004
	-15%	-73562	99750	273062	446373	619685
	0%	-97614	42187	181988	321789	461590
	15%	-113777	292	114360	228428	342496
	30%	-124330	-30287	63757	157800	251843

Fonte: Petter, R (2015)

Abaixo a figura mostra a que a sensibilidade a custos operacionais, que é menor quando comparamos com sensibilidade a preços de OTR (valor da cesta de OTR), entretanto como as fases iniciais dos estudos incorrem em acuracidades na ordem de mais de 30% ou superior, ainda não se pode dizer que o projeto está em uma faixa de conforto.

Tabela 47- Análise de Sensibilidade do Projeto 3 variando custos operacionais de OTR

		Variação de Custos de OTR				
		-30%	-15%	0%	15%	30%
Variação da taxa de desconto	-30%	626073	511460	396848	282235	167623
	-15%	455815	364438	273062	181685	90308
	0%	329540	255764	181988	108211	34435
	15%	234864	174612	114360	54108	-6145
	30%	163198	113477	63757	14036	-35685

Fonte: Petter, R (2015)

A seguinte figura mostra a variação do VPL do projeto em relação a variação de capital para variações de taxa de retorno de +30% a -30%. Não sendo tão importante quanto as variações de preços (valor da cesta de OTR) e custo.

Tabela 48-Análise de Sensibilidade do Projeto 3 variando capital

		Variação de Capital				
		-30%	-15%	0%	15%	30%
Variação da taxa de desconto	-30%	483725	440286	396848	353409	309971
	-15%	355013	314037	273062	232086	191110
	0%	259441	220714	181988	143261	104535
	15%	187684	151022	114360	77698	41036
	30%	133274	98515	63757	28998	-5761

Fonte: Petter, R (2015)

### 3.8.4 Análise de Sensibilidade e Cenários e Sensibilidade do Projeto 4

Abaixo mostramos a análise de cenários para o Projeto 4. Distintos dos outros casos um teor de nióbio está sendo considerado, logo todas as variações de preços e custos relativos ao nióbio são as mesmas aplicadas aos OTR.

Tabela 49 - Análise de Cenários Projeto 4

Item	Resultados			Variáveis						
	VPL	TIR	Pay Back	Preço Cesta	Custo	Capital	LREO%	HREO%	Recuperação	Alimentação
	US\$ 000		anos	(LREO+HREO) US\$/t ROM	REO US\$/kg	US\$ 000			Metalurgica	da Planta kt/a
Pior Caso	135.180	-	-	1016	12,74	528450	5,42%	0,11%	83%	108,0
Caso Base	-113.805	6,14%	7	1452	9,80	406500	7,75%	0,16%	92%	120,0
Melhor Caso	135.180	27,22%	2	1888	6,9	284550	10,07%	0,21%	92%	132,0
<b>Pior caso:</b> Preços -30%, Custo + 30%, Capital +30%, teores -30%, Recuperações metalúrgicas -10%. Alimentação a planta -10% <b>Melhor Caso :</b> Preços +30%, Custo - 30%, Capital -30%, teores +30%, Recuperações +/-0%. Alimentação a planta +/-10% taxa de desconto Fluxo de caixa = 13% e Capital = 10%										

Fonte: Petter, R (2015)

#### Análise de Sensibilidade

Figura abaixo mostra a análise de sensibilidade a preços, o projeto mesmo com um aumento de valor da cesta de OTR de 30%, mostra um aumento de 84% no VPL do projeto.

Tabela 50 - Análise de sensibilidade Projeto 4 variando preços de OTR

		Variação de Preços de OTR					
		-30%	-15%	0%	15%	30%	
-113.805		0,7	0,85	1	1,15	1,3	
Variação da taxa de desconto	-30%	0,7	-241170	-142926	-74348	-5770	62808
	-15%	0,85	-236094	-154415	-97268	-40120	17028
	0%	1	-230063	-161726	-113805	-65884	-17962
	15%	1,15	-223419	-165901	-125479	-85056	-44633
	30%	1,3	-216412	-167726	-133438	-99149	-64861

Fonte: Petter, R (2015)

Sensibilidade ao custo é importante com um aumento de custos de 30% o VPL do projeto pode reduzir 42%.

Tabela 51-Análise de sensibilidade Projeto 4 variando custos de OTR

		Variação de Custos de OTR				
		-30%	-15%	0%	15%	30%
-113.805						
Variação da taxa de desconto	-30%	-5226	-39787	-74348	-108909	-143470
	-15%	-39667	-68467	-97268	-126068	-154868
	0%	-65504	-89654	-113805	-137955	-162106
	15%	-84736	-105107	-125479	-145850	-166222
	30%	-98877	-116158	-133438	-150718	-167998

Fonte: Petter, R (2015)

O aumento de 30% no capital resulta em uma redução de VPL de 65%, como mostra a figura.

Tabela 52-Análise de sensibilidade Projeto 4 variando capital

		Variação de Capital				
		-30%	-15%	0%	15%	30%
-113.805						
Variação da taxa de desconto	-30%	5826	-34261	-74348	-114435	-154523
	-15%	-19863	-58565	-97268	-135970	-174672
	0%	-39225	-76515	-113805	-151095	-188385
	15%	-53724	-89601	-125479	-161356	-197233
	30%	-64472	-98955	-133438	-167921	-202404

Fonte: Petter, R (2015)

### 3.8.5 Análise de Sensibilidade e Cenários e Sensibilidade do Projeto 5

Tabela 53- Análise de Cenários Projeto 5

Item	Resultados			Variáveis						
	VPL	TIR	Pay Back	Preço Cesta (LREO+HREO)	Custo REO	Capital	LREO%	HREO%	Recuperação	Alimentação da Planta
	US\$ 000		anos	US\$/t ROM	US\$/kg	US\$ 000			Metalurgica	kt/a
Pior Caso	-588.527	-16%	-	504	15,41	933569	2,02%	0,09%	63,00%	270-540
Caso Base	-225.799	5,57%	7	720	11,85	718130	2,89%	0,13%	70%	300-600
Melhor Caso	189.833	23,71%	3	937	8,3	502691	3,76%	0,17%	91%	330-660

**Pior caso:** Preços -30%, Custo + 30%, Capital +30%, teores -30%,  
Recuperações metalúrgicas -10%. Alimentação a planta -10%  
**Melhor Caso :** Preços +30%, Custo - 30%, Capital -30%, teores +30%,  
Recuperações +/- 10%. Alimentação a planta +/-10%  
taxa de desconto Fluxo de caixa = 13% e Capital = 10%

Fonte: Petter, R (2015)

#### Análise de Sensibilidade

Mesmo com crescimentos de 30% dos valores da cesta de OTR o projeto necessitaria de taxas de desconto muito baixas para viabilizar-se. Uma variação de 30% no valor da cesta de OTR gera um impacto de 69% no VPL do projeto. Trata-se de um projeto com teores mais baixos comparando-se com os do Projeto 2, logo os efeitos das variações de preços são menos contundentes.

Tabela 54 - Análise de Sensibilidade do Projeto 5 variando preços de OTR

		Variação de Preços de OTR					
		-30%	-15%	0%	15%	30%	
Variação da taxa de desconto	-225.799	0,7	0,85	1	1,15	1,3	
	-30%	-441267	-280130	-156127	-38853	74687	
	0,7	-432145	-299347	-196973	-100313	-6781	
	-15%	0,85	-421038	-310886	-225799	-145605	-68061
	0%	1	-408664	-316734	-245564	-178616	-113936
	15%	1,15	-395542	-318373	-258486	-202265	-148003
	30%	1,3					

Fonte: Petter, R (2015)

Sensibilidade aos custos indica que para uma variação de 30% nos custos corresponde a uma variação aproximada de 38% sobre o VPL do projeto. Como mostrada na seguinte figura abaixo.

Tabela 55-Análise de Sensibilidade do Projeto 5 variando a custos dos OTR

		Variação de Custos de OTR					
		-30%	-15%	0%	15%	30%	
Variação da taxa de desconto	-30%	-225.799	0,7	0,85	1	1,15	1,3
	-15%	-38675	-96309	-156127	-216364	-281836	
	0%	-100151	-147602	-196973	-246716	-300766	
	15%	-145458	-184779	-225799	-267151	-312076	
	30%	-178482	-211269	-245564	-280157	-317740	
		-202142	-229642	-258486	-287597	-319229	

Fonte: Petter, R (2015)

Devido tratar-se de uma planta considerada de grande porte para tratamento de OTR, os capitais tornam-se um fator importante na rentabilidade do negócio. Análise de Sensibilidade a capitais mostra que uma variação de 30% no capital do projeto corresponde a variação de 66% de variação do VPL do projeto.

Tabela 56- Análise de Sensibilidade do Projeto 5 variando capital

		Variação de Capital					
		-30%	-15%	0%	15%	30%	
Variação da taxa de desconto	-30%	-225.799	0,7	0,85	1	1,15	1,3
	-15%	6433	-73479	-156127	-238958	-323810	
	0%	-42549	-118567	-196973	-275546	-355870	
	15%	-79012	-151357	-225799	-300395	-376514	
	30%	-105945	-174828	-245564	-316443	-388651	
		-125595	-191218	-258486	-325886	-394452	

Fonte: Petter, R (2015)

### 3.9 Simulações de Monte Carlo – Projetos de terras raras

As análises de cenários e de sensibilidade tem deficiências importantes. No caso da análise de cenários temos cenário pessimista, mais provável e otimista, mas quando há correlações entre variáveis, pode haver comportamento divergente entre as variáveis. Por exemplo: Um mercado sobre efeito de uma bolha especulativa de preços de matérias primas pode gerar uma demanda elevada por mão de obra, insumos e equipamentos, que terão seus preços pressionados para cima. O que é contraditório no caso otimista, aonde preços altos e custos baixos ocorrem simultaneamente.

Quanto a análise de sensibilidade, temos limitações técnicas interpretar gráficos de com mais de duas dimensões, por exemplo nos exercícios anteriores usamos taxa de retorno x variação de custos, mas seria difícil analisar um gráfico 3D de taxa de retorno versus custo operacional versus preços das commodities, contudo não dissemos que é impossível.

A simulação de Monte Carlo nos possibilita uma análise dinâmica das variáveis que foram identificadas como fatores de risco críticos do projeto. No caso em estudo, através da análise de sensibilidade identificamos os principais fatores de risco críticos abaixo listados.

- Valor da cesta de OTR
- Valor do imã permanente (testaremos somente em um projeto).
- Custos operacionais
- Capital
- Taxa de produção
- Taxa de desconto (percepção da variação de riscos políticos, sociais, econômicos e financeiros durante a construção do projeto e operação). Situação corrente do Brasil que está no limiar da classificação de grau de investimento e grau especulativo. Mercado de commodities caótico etc.

Tabela de fatores de risco e distribuições que mais representem o comportamento da variável.

**Tabela 57- Parâmetros para simulação de Monte Carlo – Projeto 1**

<b>Fatores de Risco Críticos</b>	<b>Distribuição</b>	<b>und.</b>	<b>Min</b>	<b>Mais provável</b>	<b>Max</b>
<b>Valor da cesta de OTR (LREO)</b>	Triangular	US\$/t ROM	14	20,1	26,15
<b>Valor da cesta de OTR (HREO)</b>	Triangular	US\$/t ROM	28,7	41,0	53,30
<b>Valor da cesta imã permanente</b>	Triangular	US\$/t ROM	NA	NA	NA
<b>Recuperação de OTR</b>	Triangular	%	45%	50%	55%
<b>Custos operacionais OTR</b>	Triangular	US\$/kg OTR	17,5	25	32,5
<b>Custos operacionais Imã</b>	Triangular	US\$/kg imã	NA	NA	NA
<b>Custos operacionais Nióbio</b>	Triangular	US\$/kg Nb2O5	NA	NA	NA
<b>Capital</b>	Triangular	US\$ 000	350000	500000	650000
<b>Taxa de produção</b>	Triangular	kt/ano	5625	6250	6875
<b>Taxa de desconto FC</b>	Triangular	%	9,4%	13,37%	17%
<b>Taxa de desconto Capital</b>	Triangular	%	7%	10%	13%

Fonte: Petter, R (2015)

Tabela 58- Parâmetros para simulação de Monte Carlo – Projeto 2

Fatores de Risco Críticos	Distribuição	und.	Min	Mais provável	Max
Valor da cesta de OTR (LREO)	Triangular	US\$/t ROM	847	1209	1572
Valor da cesta de OTR (HREO)	Triangular	US\$/t ROM	299,4	428	556
Valor do imã permanente	Triangular	US\$/t ROM	2830	4042	5255
Recuperação de OTR	Triangular	%	72%	80%	88%
Perdas na Fabricação do Imã TR	Trapezoidal	%	30%	-	60%
Custos operacionais OTR	Triangular	US\$/kg OTR	8,4	12	15,6
Custos operacionais Imã	Triangular	US\$/kg imã	17,47	24,95	32,4
Custos operacionais Nióbio	Triangular	US\$/kg Nb2O5	NA	NA	NA
Capital	Triangular	US\$ 000	61831	88330	114829
Taxa de produção	Trapezoidal	kt/ano	60,97	67,7	74,52
Taxa de desconto FC	Triangular	%	9,4%	13,37%	17%
Taxa de desconto Capital	Triangular	%	7%	10%	13%

Fonte: Petter, R (2015)

Tabela 59- Parâmetros para simulação de Monte Carlo – Projeto 3

Fatores de Risco Críticos	Distribuição	und.	Min	Mais provável	Max
Valor da cesta de OTR (LREO)	Triangular	US\$/t ROM	1158	1654	2150
Valor da cesta de OTR (HREO)	Triangular	US\$/t ROM	582,7	832,4	1082,12
Valor do imã permanente	Triangular	US\$/t ROM	NA	NA	NA
Recuperação de OTR		%	71%	79%	87%
Custos operacionais OTR	Triangular	US\$/kg OTR	10,75	15,4	19,96
Custos operacionais Imã	Triangular	US\$/kg imã	NA	NA	NA
Custos operacionais Nióbio	Triangular	US\$/kg Nb2O5	NA	NA	NA
Capital	Triangular	US\$ 000	256900	367000	477100
Taxa de produção	Retangular	kt/ano	176	196	215,6
Taxa de desconto FC	Triangular	%	9,4%	13,37%	17%
Taxa de desconto Capital	Triangular	%	7%	10%	13%

Fonte: Petter, R (2015)

Tabela 60-Parâmetros para simulação de Monte Carlo – Projeto 4

Fatores de Risco Críticos	Distribuição	und.	Min	Mais provável	Max
Valor da cesta de OTR (LREO)	Triangular	US\$/t ROM	804	1148	1492,3
Valor da cesta de OTR (HREO)	Triangular	US\$/t ROM	212,9	304,17	395,4
Valor do imã permanente	Triangular	US\$/t ROM	NA	NA	NA
Recuperação de OTR	Triangular	%	83%	92%	92%
Custos operacionais OTR	Triangular	US\$/kg OTR	6,86	9,80	12,74
Custos operacionais Imã	Triangular	US\$/kg imã	NA	NA	NA
Custos operacionais Nióbio	Triangular	US\$/kg Nb2O5	7	10	13
Capital	Triangular	US\$ 000	284550	406500	528450
Taxa de produção	Retangular	kt/ano	108	120	132
Taxa de desconto FC	Triangular	%	9,4%	13,37%	17%
Taxa de desconto Capital	Triangular	%	7%	10%	13%

Fonte: Petter, R (2015)

Tabela 61- Parâmetros para simulação de Monte Carlo Projeto 5

Fatores de Risco Críticos	Distribuição	und.	Min	Mais provável	Max
Valor da cesta de OTR (LREO)	Triangular	US\$/t ROM	345,7	493,8	641,9
Valor da cesta de OTR (HREO)	Triangular	US\$/t ROM	158,7	227	294,7
Valor do imã permanente	Triangular	US\$/t ROM	NA	NA	NA
Recuperação de OTR	Triangular	%	49%	70%	77%
Custos operacionais OTR	Triangular	US\$/kg OTR	8,295	11,85	15,405
Custos operacionais Imã	Triangular	US\$/kg imã	NA	NA	NA
Custos operacionais Nióbio	Triangular	US\$/kg Nb2O5	NA	NA	NA
Capital	Triangular	US\$ 000	502691	718130	933569
Taxa de produção	Retangular	kt/ano	420	600	660
Taxa de desconto FC	Triangular	%	9,4%	13,37%	17%
Taxa de desconto Capital	Triangular	%	7%	10%	13%

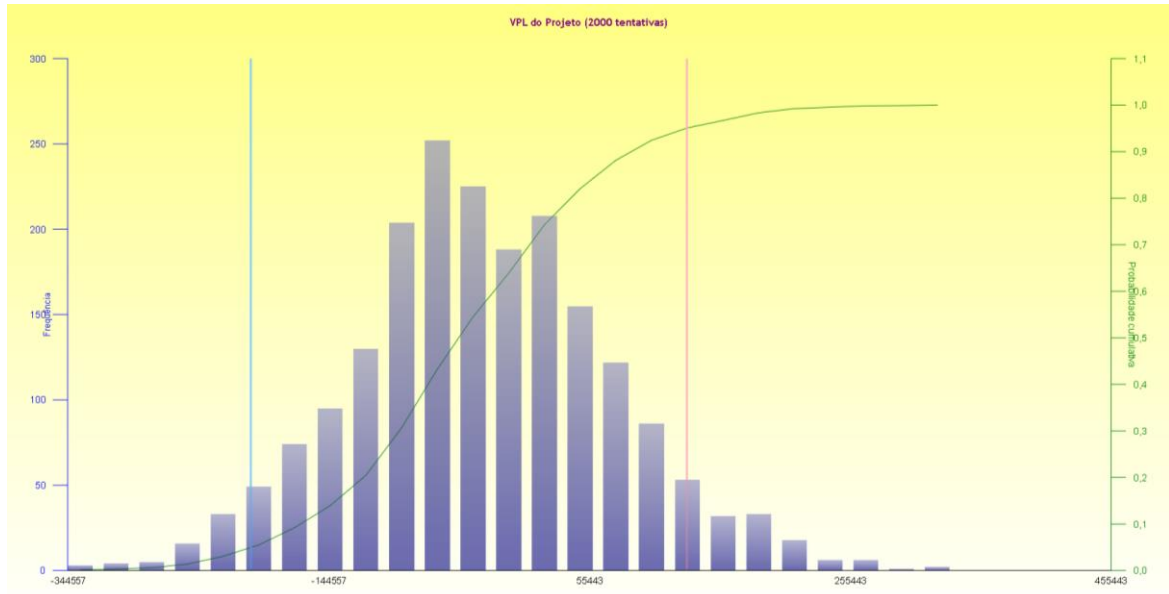
Fonte: Petter, R (2015)

### 3.9.1 Simulação de Monte Carlo do Projeto 1

Probabilidade do Projeto de ter perdas é de 66,40%. Confiança de 90% que Valor Presente Líquido (VPL) estará entre -204 e 130 milhões de dólares.



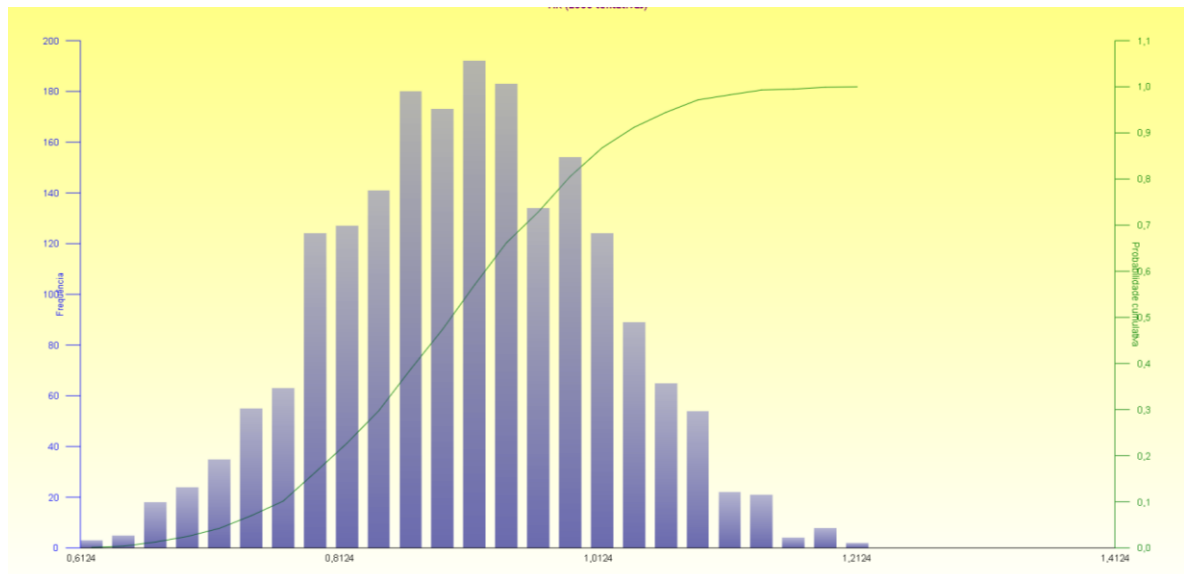
**Figura 14-Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos VPL do Projeto 1**



Fonte: Petter, R (2015)

Probabilidade de ter uma TMA de 13,37% foi calculada em 49,43%

**Figura 15 - Histograma e Função de Probabilidade acumulada das TIR do Projeto 1**

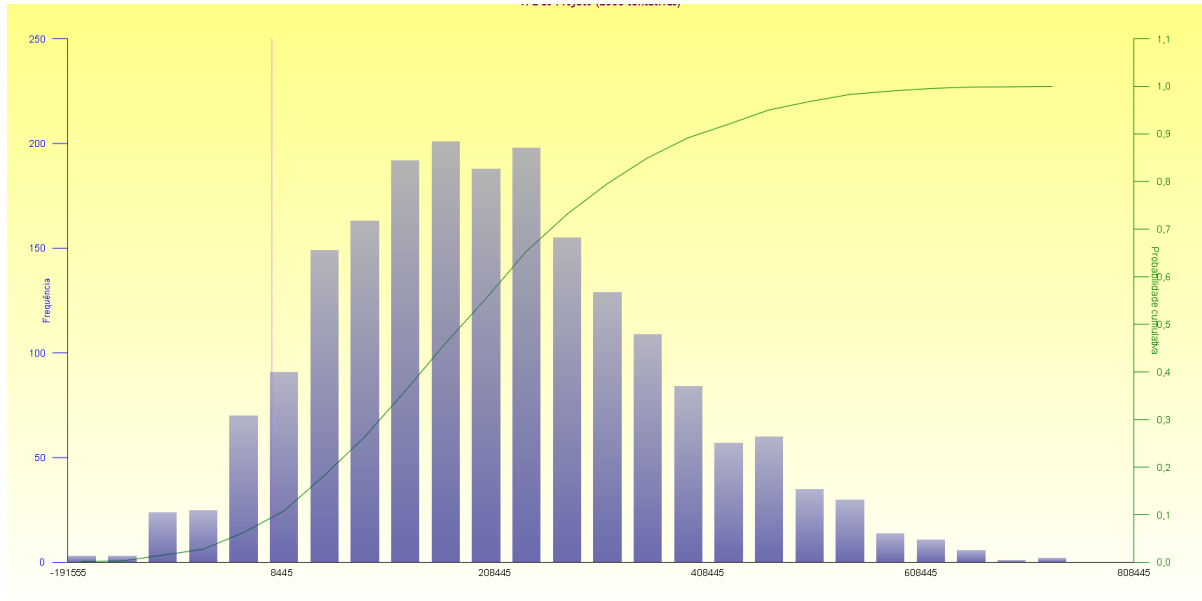


Fonte: Petter, R (2015)

### 3.9.2 Simulação de Monte Carlo do Projeto 2

Probabilidade de perdas é 0%, Confiança de 90% que o VPL está entre 363 e 901 milhões de dólares.

**Figura 16- Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos VPL do Projeto 2**

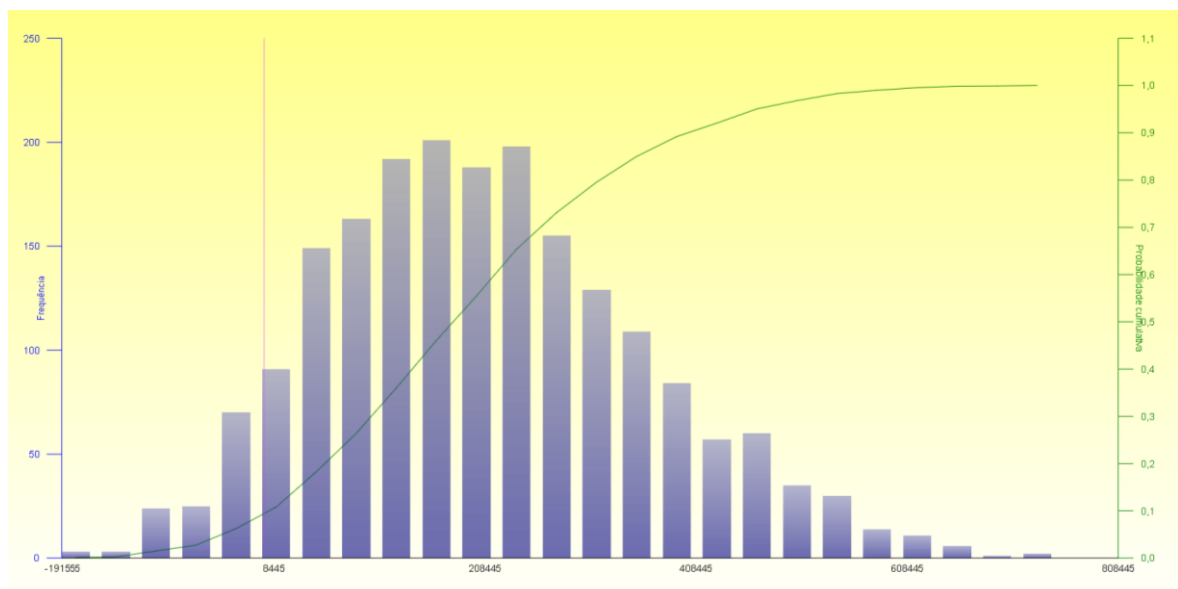


Fonte: Petter, R (2015)

### 3.9.3 Simulação de Monte Carlo do Projeto 3

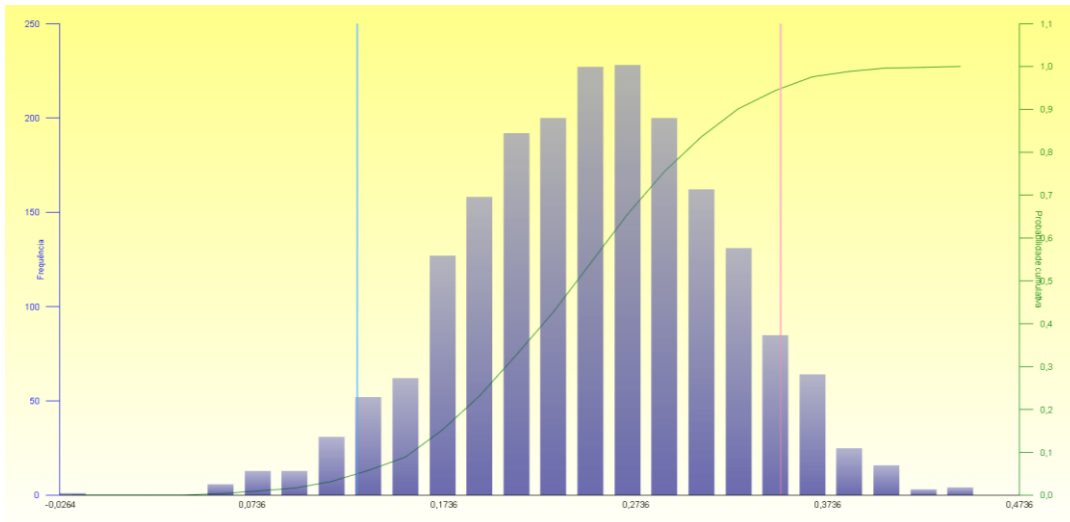
Probabilidade de Perdas é de 9,65%. Com 90% de confiança de ter um VPL entre 148 e 208 milhões de dólares e um TIR entre 13% e 38%

**Figura 17- Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos VPL do Projeto 3**



Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 18 - Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos TIR do Projeto 3**

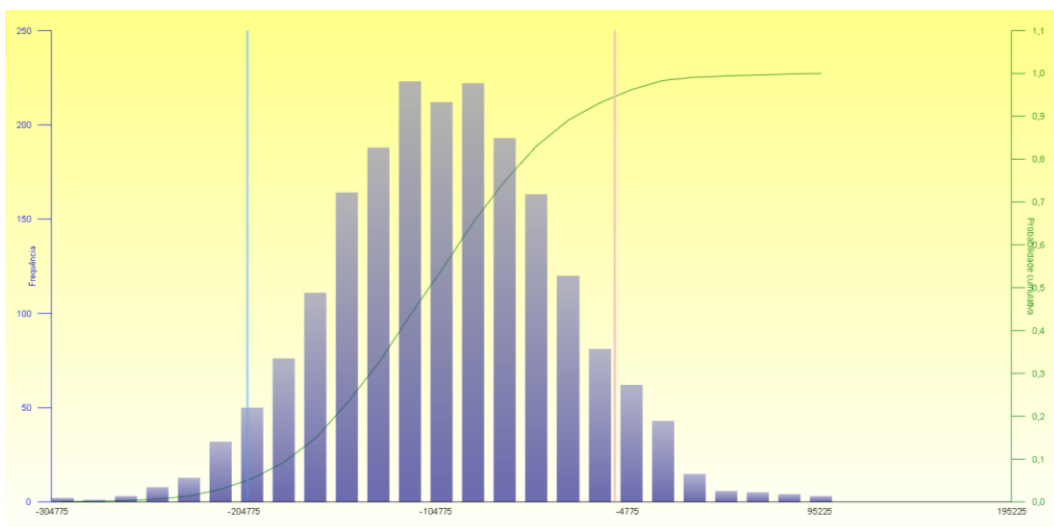


Fonte: Petter, R (2015)

### 3.9.4 Simulação de Monte Carlo do Projeto 4

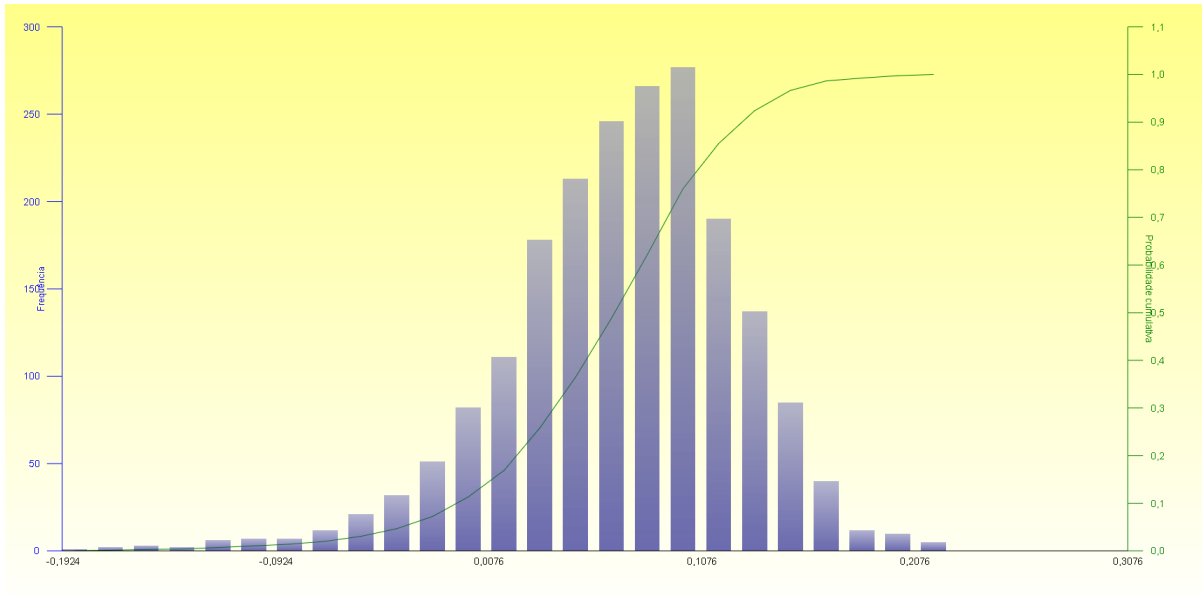
Probabilidade de 96,7% de incorrer em perdas, 90% de confiança que o VPL vai estar entre -202 e -113 milhões de dólares.

Figura 19- Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos VPL do Projeto 4



Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 20-Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos TIR do Projeto 4**

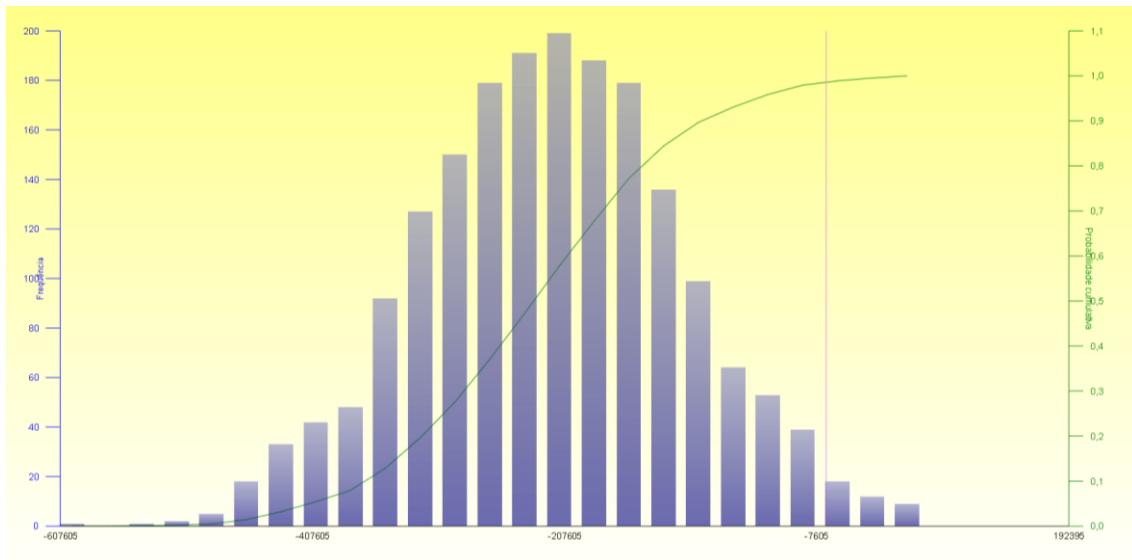


Fonte: Petter, R (2015)

### 3.9.5 Simulação de Monte Carlo do Projeto 5

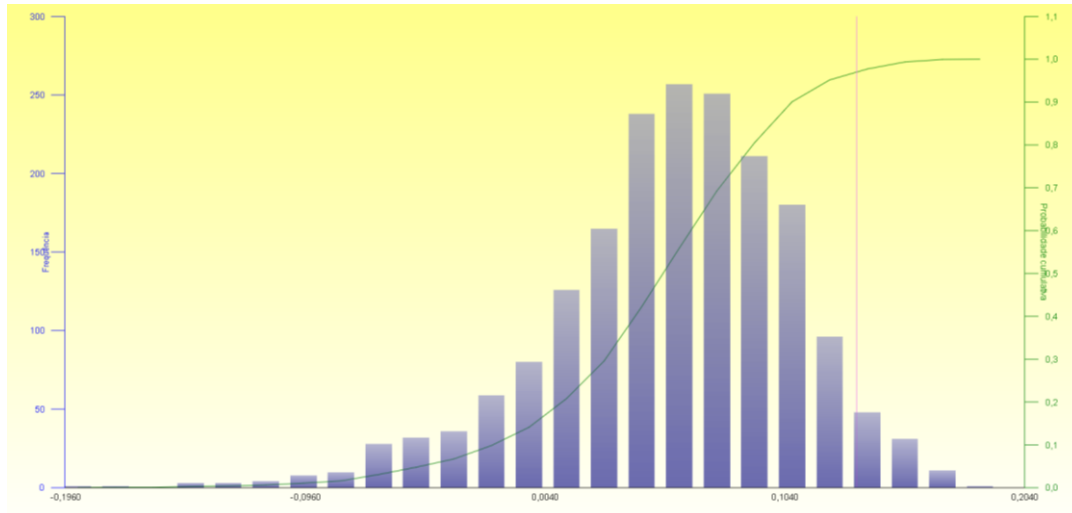
Probabilidade de perdas de 98,72%, 90% de confiança do VPL estar entre -412 e -511 milhões de dólares.

**Figura 21-Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos VPL do Projeto 5**



Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 22- Histograma e Função de Probabilidade acumulada dos TIR do Projeto 5**



Fonte: Petter, R (2015)

### 3.10 Resultados Terras Raras

### 3.11 Resumo das análises econômicas e risco dos elementos terras raras.

#### 3.11.1 Resumo da análise econômica determinística dos projetos terras raras

Resumo das análises determinísticas obtidas a partir de um fluxo de caixa descontado com taxas de desconto diferenciadas para calcular o valor presente do fluxo de caixa livre, e para calcular o valor presente do capital investido. Taxa de desconto usada para descontar o fluxo de caixa livre foi de 13,4 % e a taxa para descontar o capital foi de 10%.

**Tabela 62 - Resultado das análises econômicas determinísticas usando fluxo de caixa descontado para de projetos terras raras**

Depósitos	OTR	Imãs	Óxido de Nióbio	VPL	TIR	Vida da Mina	Capex	Alimentação da Planta	Opex	Opex	Opex
	t/y	t/y	t/y	US\$ 000		(anos)	US\$ 000	kt	US\$ / kg	US\$ / kg	US\$ / kg
								OTR	Nb2O5	magnet	
Projeto 1	5000-10000			-46.097	12,9%	20	500 000	6250	25		
Projeto2	3798	1350		596.202	90%	20	88 330	68	12		24,95
Projeto 3	13038			181.988	24%	20	367 000	196	15		
Projeto 4	8730		725	-113.805	6%	11	406 500	120	9,80	10	
Projeto 5	12688			-225.799	6%	12	718 130	600	12		
	38253	1350									

Fonte: Petter, R (2015)

#### 3.11.2 Resumo da análise de cenários econômicos dos projetos terras raras

Análise de cenários de projetos terras raras

Tabela 63- Tabela resumo da análise de cenários dos projetos de terras raras

Depósitos	Otimista			Mais Provável			Pessimista		
	VPL (kUS\$)	TIR (%)	Payback (anos)	VPL (kUS\$)	TIR (%)	Payback (anos)	VPL (kUS\$)	TIR (%)	Payback (anos)
Projeto 1	375.367	41,03%	1	-46.097	12,95%	10	-409.000	-	-
Projeto 2	1.047.000	138,00%	1	596.202	90,36%	1	241.728	50%	2
Projeto 3	743.756	24,30%	1	181.988	24,30%	3	-169.719	6%	10
Projeto 4	135.180	23,71%	2	-113.805	6,14%	7	-390.096	-	-
Projeto 5	189.833	23,71%	3	-225.799	5,57%	7	-588.527	-	-
*Payback não descontado									

Fonte: Petter, R (2015)

### 3.11.1 Resumo dos resultados das Simulações dos projetos de terras raras

Tabela 64- Tabela resumo dos resultados das simulações dos projetos terras raras

Projeto / Depósitos	VPL*		Probabilidade de Perdas
	Max	Min	
	MUS\$	MUS\$	%
Projeto 1	130	-204	66,40%
Projeto 2	901	363	0%
Projeto 3	456	-45	10,60%
Projeto 4	3.5	-198	94,30%
Projeto 5	-412	-511	98,72%

Fonte: Petter, R (2015)

\*Taxa de desconto foi simulada dentro de um intervalo de +30% e -30% das taxas de desconto do fluxo de caixa livre de 13,4% aa e taxa de desconto do capital de 10% aa.

#### **4. A TÉCNICA DE ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO APLICADA. RECICLAGEM DE REJEITOS DE MATERIAL DE DEMOLIÇÃO E CONSTRUÇÃO CIVIL**

##### **4.1 Revisão bibliográfica em reciclagem de resíduos de construção e demolição (RC&D).**

###### Estratégia

Busca de um desenvolvimento sustentável requer a adoção de métodos adequados para proteger o meio ambiente em todas as indústrias, principalmente no que se refere a indústria da construção civil. Construção por natureza, não é uma atividade amiga do ambiente. A hierarquia das opções de mitigação ou eliminação impactos ambientais, nos leva a seis níveis de tomadas de ação principais: reduzir, reutilizar, reciclar, compostagem, aterro e incineração. Três estratégias para tratar os impactos causados pela construção civil e demolição formam os “3Rs”, que são a reutilização, reciclagem e redução. A coordenação entre todos os envolvidos no processo de concepção e construção é essencial. (Vivian W. Y. Tam, 2005)

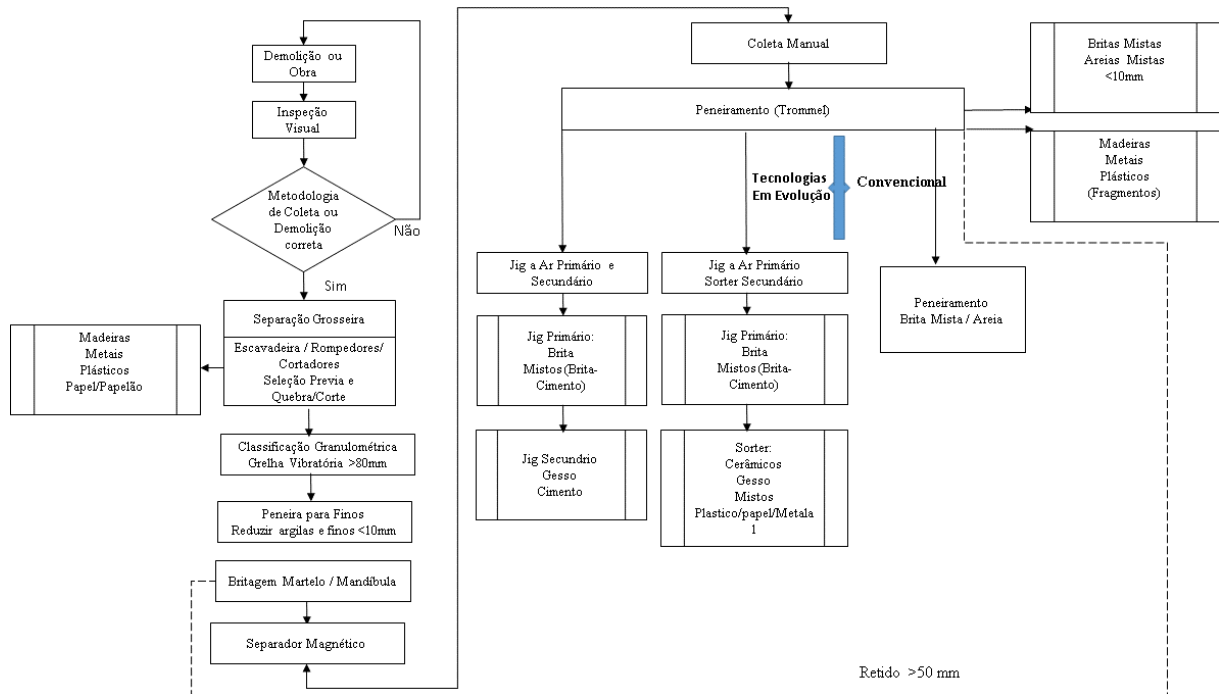
###### **Mercado para materiais reciclados**

Muitos países não reciclam consideravelmente seus rejeitos de construção civil e demolição, como, por exemplo: Em Portugal mais cerca de 76% de todo o CDW são depositados em aterros, 11% é reutilizada, 4% é incinerado, cerca de 9% reciclado. No entanto países como Reino Unido a reciclagem é de 52%, Países Baixos de 92%, Bélgica de 89%, na Áustria de 48%, Dinamarca Ed 81%. (André Coelho, 2012)

###### **Tratamento de entulhos**

Típica planta de tratamento de entulhos (RC&D) inicia-se com inspeções para classificar que tipo de material e distribuição granulométrica estaria sendo tratada, seguido de pesagem (quando possível). Muitas vezes esta inspeção é mais produtiva quando feita antes da demolição, permitindo uma pré-seleção na origem, ou mesmo alteração da metodologia de demolição com objetivo de não perder valor por demolição pouco cuidadosa. Figura abaixo mostra várias opções para Fluxogramas (André Coelho, 2012). Pode-se optar pelo fluxograma convencional: Demolição, Alimentação a Grelha vibratória, escalpe de finos, britagem, separação magnética, coleta manual, peneiramento com (*trommel*), peneiramento primário e secundário. Ou após (*trommel*) optar por jig a ar combinando-se com (*sorter*) automático ou não. (Bogdan Cazacliu, 2013).

Figura 23-Opções de Fluxograma RC&D



Fonte: Petter, R (2015)

Sobre a escolha do método de análise de risco quantitativo:

A técnica de análise de risco econômico por meio de simulação de Monte Carlo é uma ferramenta fundamental nos estudos econômicos de alternativas de investimento. O tomador de decisão terá como parâmetro a probabilidade de sucesso (e, conseqüentemente, o risco de fracasso) na recuperação do capital investido. A técnica proposta neste trabalho vai trabalhar contra a análise econômica mais comumente usada que é determinística, em que as variáveis de entrada que alimentam o fluxo de caixa descontado são números únicos, não há espaço para a incerteza no resultados, os números obtidos em resposta, tal como a taxa de retorno (TIR) e valor presente líquido (VPL) são tomados como verdades com acuracidade e precisão inconstestáveis, logo são usados nas decisões de investir ou não, para avançar em um estudo preliminar ou abandonar o estudo, dê preferência aos equipamentos de A ao longo de B, e assim por diante.

Quanto à questão da reutilização de resíduos de construção e demolição (RC&D), a análise de risco é muito oportuna, pois além da incerteza devido ao conhecimento imperfeito dos limites de contaminação da matéria-prima reciclável, os parâmetros envolvidos na confecção



do fluxo de caixa são bastante variáveis. Estas condições de contorno melhorar a utilidade da análise econômica probabilística. O tomador de decisão não terá um único resultado, mas uma distribuição de probabilística de valores para estes resultados, conseqüentemente devemos acostumar os tomadores de decisão que pode existir probabilidades de sucesso ou insucesso, o mundo não é determinístico. O gerente terá também uma indicação clara de quais variáveis merecem mais atenção através de análises de sensibilidade (que não devem ser deixadas de lado).

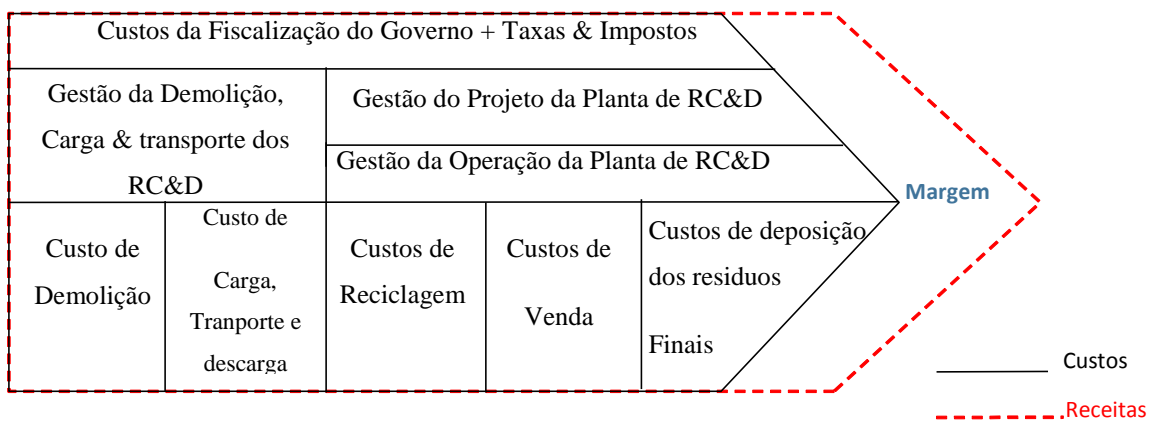
**4.2 Cadeia de valores dos RC&D**

Compreender a cadeia de valor (M.E.Porter, 1985) aonde a planta de RC & D está inserido é chave para criar um modelo econômico.

O negócio deve ser sustentável em sua totalidade, ou seja, todos (*stakeholders*) devem ganhar. O governo deverá receber pela gestão e supervisão (Custos de Fiscalização a obras e aterros). Construtores precisam de recursos para pagar a equipes de demolição, limpeza, manuseio e transporte dos resíduos. Lucro do construtor, é claro, vem do aumento no valor da propriedade devido à demolição, renovação ou construção nova.

Para fazer cadeia de valor ser sustentável, a legislação local deve exigir a reciclagem de resíduos, parcial ou total, e controlando a quantidades máximas que podem ser levadas diretamente a aterros. Figura abaixo resume está cadeia de valor.

**Figura 24- Cadeia de valores dos RC&D**



Fonte: Petter, R (2015)

Margem é a diferença de receitas de todas as partes interessadas (construtores, governo, prestadores de serviços, proprietários de reciclagem de plantas) menos do que todos os custos envolvidos - os inspetores, projeto, gestão, demolição, carregamento e descarregamento e transporte, reciclagem, eliminação de resíduos. Dando uma

abrangência mais ampla para valor agregado pela reciclagem podemos demonstrar ilustrar a seguinte fórmula:

$$\text{Margem} = \sum (\text{Quantidades} \times \text{Preços dos Produtos Reciclados}) + \text{Lucro Imobiliário} \\ + \text{Diferença do Custo de Deposição} - \text{Custo de Reciclagem}$$

### 4.3 Preços dos Produtos Finais

Preços de produtos primários são um parâmetro importante como “benchmark” dos preços dos produtos de reciclagem similares. Em visita técnica de um professor da UFRGS a planta da empresa Zanker na Califórnia USA foram obtidos preços para produtos reciclados mostrados na foto seguinte figura.

Figura 25 - Preços de Produtos de reciclagem – Zanker Califórnia U.S.A.

	TON		YARD
Class II Base Rock - Recycled	\$8	Z-Best Organic Compost	\$24
3/4" Drain Rock	\$18	Landscape Compost	\$20
3/8" Pea Gravel	\$18	Colored Mulches	\$36
Fill Sand	\$27	Mini Mulches	\$36
Utility Sand - Recycled	\$18	Natural Mulch	\$20
3/8" Crushed Brick Chips	\$18	Arber Mulch	\$20
Brick Fines	\$18	Soil Amendments	\$20
Screened Soil	\$5	Natural Fines	\$20
		Planter Mix	\$30

Fonte: Visita técnica Prof. Carlos Petter a Zanker USA.

Observa-se na tabela (65) que os produtos de reciclagem muitas vezes não têm preços competitivos, quando comparados com a média nacional de matérias primas de fontes primárias (no caso pedreiras), mas muitos outros fatores permitem que tenham valor comercial, como já mencionado, as distância das pedreiras mais próximas são fatores crítico na competitividade dos produtos da reciclagem. Usando por exemplo o custo médio de transporte de pedreiras próximas a Porto Alegre de 0,15 US\$/t/km e os dados americanos de preços de brita, podemos

dizer que para a brita passar a ser competitiva a distância de transporte da pedreira aos centros consumidores deveria ser superior a 53 km.

**Tabela 65- Tabela Comparativa Material Primário contra Agregados Reciclados**

<b>Material</b>	<b>Agregados Primários (Média USA 2014) US\$/t</b>	<b>Agregados Reciclados 2015 US\$/t</b>	<b>Fonte</b>
<b>Brita</b>	10	18	<a href="http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/stone_crushed/mcs-2015-stonc.pdf">http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/stone_crushed/mcs-2015-stonc.pdf</a>
<b>Areia e cascalho</b>	7,7	20	<a href="http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/sand_&amp;_gravel_construction/mcs-2015-sandc.pdf">http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/sand_&amp;_gravel_construction/mcs-2015-sandc.pdf</a>

Fonte: Petter, R (2015)

#### 4.4 Mix de materiais

Muito importante é definir composição aproximada de resíduos RC&D, os mesmos dependem da cultura, localização geográfica, clima, zona de atividade sísmica, nível tecnológico, condições sociais e económicas dos países. A tabela abaixo apresenta uma composição de detritos brasileira estimada (Santos, 2009).

**Tabela 66- Mix de Materiais típicos por origem**

<b>Componentes</b>	<b>Estradas</b>	<b>Excavação</b>	<b>Demolição</b>	<b>Outros</b>	<b>Limpeza</b>	<b>Média</b>
<b>Concreto</b>	48%	6,10%	54,30%	17,50%	18,40%	31%
<b>Tijolos</b>		0,30%	6,30%	12%	5%	5%
<b>Areia</b>	4,60%	9,60%	1,40%	3,30%	1,70%	4%
<b>Solo, Poeira, Barro</b>	16,80%	48,90%	11,90%	16,10%	30,50%	26%
<b>Rocha</b>	7,00%	32,50%	11,40%	23,10%	23,90%	21%
<b>Asfalto</b>	23,60%		1,60%	1%	0,10%	6%
<b>Metais</b>		0,50%	3,40%	6,10%	4,40%	3%
<b>Madeira</b>	0,10%	1,10%	1,60%	2,70%	3,50%	2%
<b>Papel/material orgânico</b>		1,00%	1,60%	2,70%	3,50%	2%
<b>Outros</b>			0,90%	0,90%	2,00%	1%

Fonte: Petter, R (2015)

#### 4.5 Metodologia

As empresas públicas e de capital aberto precisam apresentar uma avaliação económicas para cada novo projeto. Um relatório técnico compatível com as normas das autoridades regulatórias para do mercado da qual faz parte. Segundo a maioria dos reguladores de bolsas de valores como SEC, autoridades canadenses, autoridades australianas, o relatório técnico deve

incluir: fluxo de caixa descontado, análise de sensibilidade, que normalmente são feitas para as variáveis de preço, custos, capital, e qualidade, para demonstrar a robustez do novo projeto.

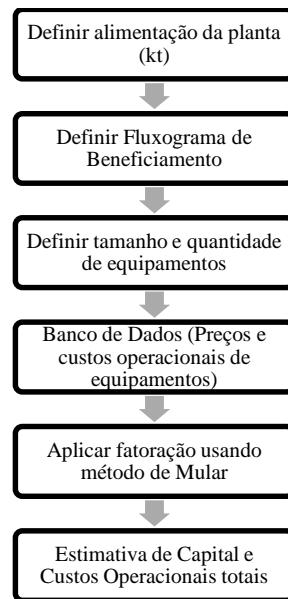
O que está faltando neste tipo de análise? Fluxo de caixa descontado mostra uma imagem congelada de uma estratégia descrita no relatório técnico. Este procedimento esquece que os cenários podem variar, que podem ser cíclicos, e muitas vezes afetam as variáveis simultaneamente, o que não é capturada pela análise de sensibilidade.

O primeiro passo é selecionar uma lista de opções de negócio, por exemplo diferentes tecnologias, diferentes escalas de produção, diferentes produtos finais etc. O segundo passo é desenvolver previsões de séries temporais para a demanda e os preços. Terceiro passo é preparar modelos econômicos que contenham, programação de produção, custos operacionais, investimentos, capital de sustentação, impostos, para cada opção. Quarta etapa é executar a simulação de Monte Carlo utilizando estrutura do modelo econômico, mediante variação dos dados de entrada segundo uma função probabilística que mais se adpte a variável tratada. O último passo é analisar os resultados da simulação Monte Carlo para entender as probabilidades de sucesso ou fracasso para as diferentes opções.

Opções de Estudo de casos:

- Planta Convencional (britagem, separação a ar, triagem (*sorting*) manual, peneiramento para obtenção de produtos finais). Opções de escalas de alimentação da planta de 100 kt / 300 kt / 600 kt por ano de tratamento de resíduos RC&D;
- Opção tecnológica Jig Seco a Ar: Planta Convencional com Jigagem (britagem, separação de ar, triagem manual, Jigagem, peneiramento de produtos finais). Opções de escalas de alimentação da planta de 100 kt / 300 kt / 600 kt por ano de tratamento de resíduos RC&D;
- Jig Seco a Ar combinado com (*sorting*) automático: Planta Convencional com Jigagem combinada com (*Sorter*) automático (britagem, separação de ar, triagem (*sorting*) manual, Jig Seco a Ar e (*Sorter*) automático, peneiramento de produtos finais). Planta com alimentação de 100 kt / 300 kt / 600 kt por ano de tratamento de resíduos.

Capital total foi estimado por fatoração a partir do investimento na compra de equipamentos. Na figura (26) detalhamos passo a passo o procedimento a ser usado.

**Figura 26- Processo de Cálculo de Custos Planta RC&D**

Fonte: Petter, R (2015)

Na seguinte tabela é detalhada a aplicação da fatoração a partir dos preços dos equipamentos, com a qual obteremos todos os complementos de investimento, tais como tubulações, civil, montagem mecânica, instalação elétrica, Engenharia, compra e Gerenciamento (EPCM) obtidas usando o método de Mular.

**Tabela 67 - Planilha de Fatoração pelo Método de Mular**

Numero	Item	Preço de Equipamento	Min	Max			
1	Preço de compra total do equipamento*	kUS\$	1000	1000	1	1	\$A
2	Instalação do Equipamento	kUS\$	0,17	0,25	0,17	0,25	\$B
3	Tubulações		0,07	0,25	0,07	0,25	\$C
4	Instalação Elétrica		0,13	0,25	0,13	0,25	\$D
5	Instrumentação		0,03	0,12	0,03	0,12	\$E
6	Prédio da Planta de Beneficiamento		0,15	0,35	0,15	0,35	\$F
7	Prédios Auxiliares		0,07	0,15	0,07	0,15	\$G
8	Serviços da Planta		0,07	0,15	0,07	0,15	\$H
9	Terraplanagem		0,03	0,18	0,03	0,18	\$I
10	Subtotal Planta Engenharia, Compra,				1,72	2,7	
11	Gerenciamento e Construção	$\Sigma (A \text{ to } I)$	0,12	0,3	1,93	3,51	\$J
12	Custo Total de instalação						
13	Contingência	$\Sigma (A \text{ to } I)$	0	0,15	1,93	4,04	k\$

Fonte: (AUSIMM, 1993)

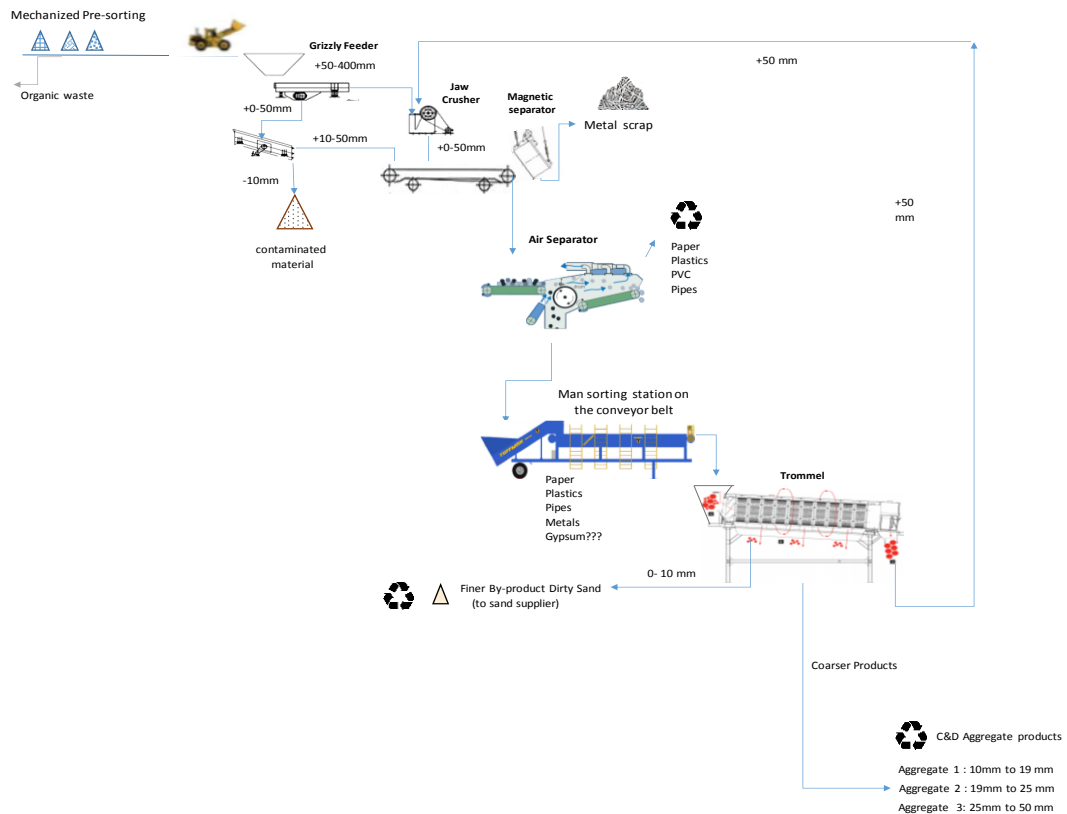
==> Min==>Fator multiplicação = (Capex equipamento + 0,93\*Capex Equipamento)

==> Max==>Fator multiplicação= (Capex equipamento + 3,04\*Capex Equipamento)

#### 4.6 Opção de Planta Convencional

Fluxograma padrão sugerido, inclui os processos necessários para separar os produtos a partir da alimentação dos (*mix*) de materiais médio de materiais mostrado na tabela (66).

Figura 27 - Fluxograma para a primeira opção: planta convencional 100 kt/a, 300 kt/a, 600kt/a



Fonte: Petter, R (2015)

Para os diferentes tamanhos de plantas são necessários cálculos de balanço de massas, dimensionamento de equipamentos, cálculos de capital e custos operacionais

Figura (27) que encontra-se acima mostra o fluxograma para a primeira opção: planta convencional (britagem, separação de ar, triagem (*sorting*) manual, peneiramento de produtos finais.

Mão de Obra de triagem manual tem grande influência sobre o custo operacional. Planilha abaixo, propõe uma metodologia de cálculo de mão de obra para a triagem manual. Abaixo, na Tabela (68) , sugere a quantidade de coletores de manuais diferentes produções . Produtividade de colheita do homem com a mão é de aproximadamente 2,69-8 t / homem / dia (P.R. White, 1995).

Tabela 68 - Produtividade de Triagem Manual

Planta tpa	Dias Trabalhados	tpd	t /homem/ dia	Triagem manual mão de obra /dia	Comprimento de Plataforma de trabalho metros
100 000	260	31	6	5	10
300 000	260	92	6	15	31
600 000	260	185	6	31	62

Fonte: P.R White 1995 - Modificado

### Custos de Capital e custos de Operação de Planta Convencional

Fluxograma e balanço de massa permitem definir tamanho do equipamento e como o auxílio do banco de dados da InfoMine pode-se obter preços dos equipamentos, custo horário, produtividades, consumos, custos de manutenção etc. Na tabela (69) está resumido valor máximo e mínimo de CAPEX e OPEX. Os salários para calcular o custo de mão de obra foram extraídos do banco de dados da BLS - NAICS 562.100 – Coleta de Resíduos.

Tabela 69 - Capex e Opex para opção de planta convencional

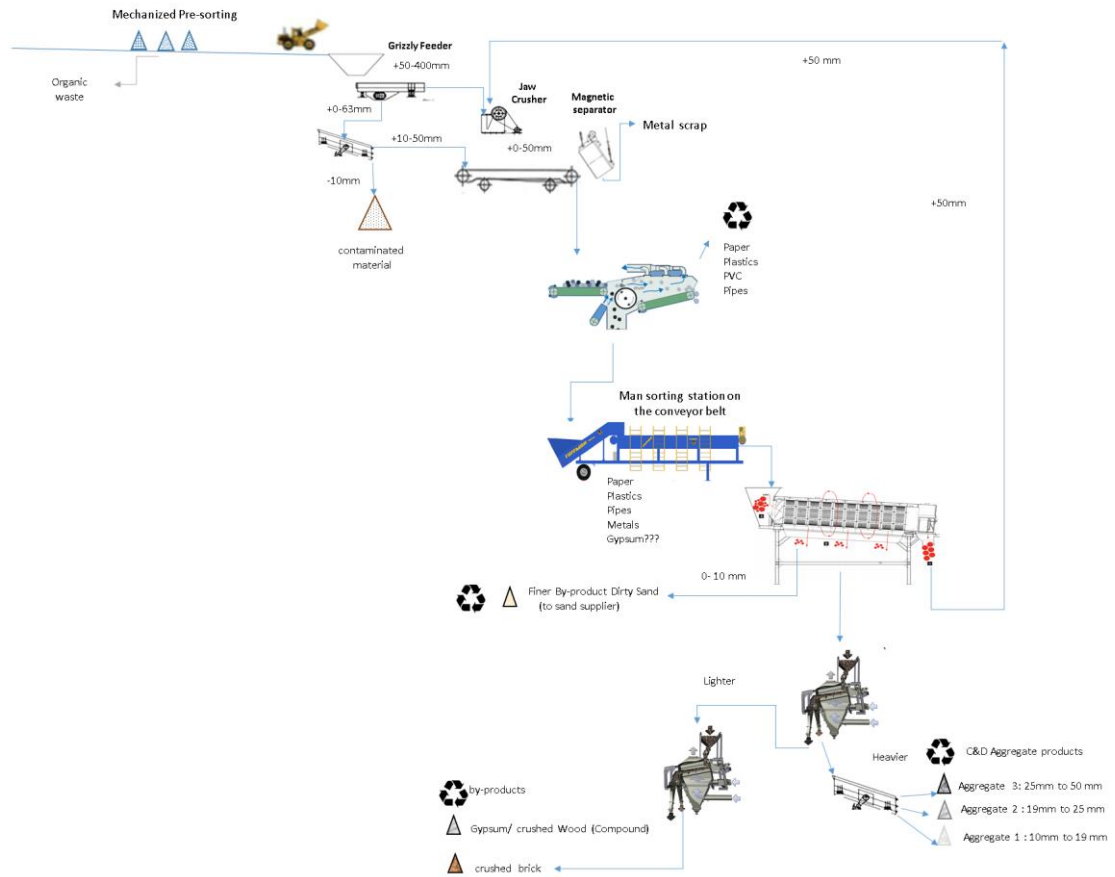
Planta Convencional – Sumário de Custos (Capex e Opex)												
	100 ktpy				300 ktpy				600 ktpy			
	Capex kUS\$	Custo Var. US\$/t	Custo Fixo kUS\$	Custo Total US\$/t	Capex kUS\$	Custo Var. US\$/t	Custo Fixo kUS\$	Custo Total US\$/t	Capex kUS\$	Custo Var. US\$/t	Custo Fixo kUS\$	Custo Total US\$/t
Max	10436	18,06	1301	31,06	14145	8,51	1680	14,11	19792	5,89	2021	9,26
Min	5923				8550				12702			

Fontes: Banco de dados de custos Infomine, Banco de Dados BLS - NAICS 562.100

#### 4.7 Opção de Planta Convencional + Jig Seco a Ar

Parte Frontal da planta de beneficiamento de RC&D é semelhante a opção de planta convencional, após o (*trommel*) são adicionados Jigs primários e secundários para reduzir impurezas nos produtos finais, permitindo competir com brita natural.

Figura 28 - Fluxograma para a planta de Jigagem a Ar



Fonte: Petter, R (2015)

### Capital e custos operacionais de Planta com Jig seco a Ar

Capital e custos operacional de planta com Jig seco ar (*Jigging*) foram obtidos através de consulta a fornecedores combinados com banco de dados InfoMine usado para estimar capex e opex.

Tabela 70- Capex e Opex Jig Seco a Ar

Planta Convencional + Jig Seco a Ar – Sumario de Custos (Capex e Opex)												
	100 ktpy				300 ktpy				600 ktpy			
	Capex kUS\$	Custo Var. US\$/t	Custo Fixo kUS\$	Custo Total US\$/t	Capex kUS\$	Custo Var. US\$/t	Custo Fixo kUS\$	Custo Total US\$/t	Capex kUS\$	Custo Var. US\$/t	Custo Fixo kUS\$	Custo Total US\$/t
Max	22556	19,99	1287	32,86	26265	9,41	1659	14,94	37972	6,52	1987	9,83
Min	11713				14340				21387			

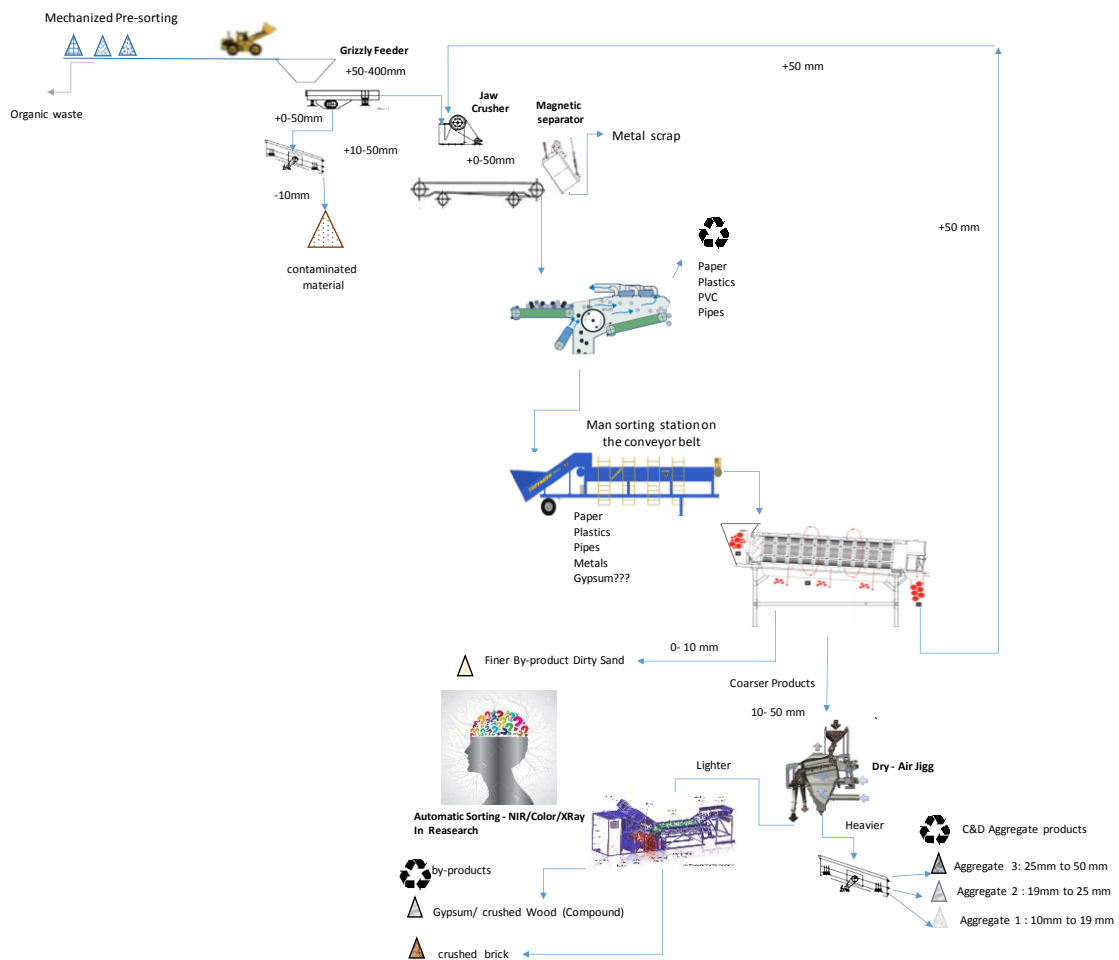
Fonte: Petter, R (2015)



#### 4.8 Opção de Planta Convencional + Jig Seco a Ar + Sorter Automático

Como Jigs seco a ar, têm baixa eficiência para tratar materiais com densidades semelhantes, uma combinação de ar seco Jig e (*sorting*) com sensores para classificação automática está sendo proposto para melhorar a qualidade dos produtos finais. A triagem óptica irá tratar o pré-concentrado mais leve do Jig seco a ar, a fim de separar o gesso, lascas de madeira, entulho de tijolos, fragmentos mistos de concreto (cimento de rocha) usando sensores NIR (infravermelho), cor ou raios-X.

Figura 29- Fluxograma de planta convencional+Jig Seco a Ar+Sorter Automático



Fonte: Petter, R (2015)

(*Sorter*) automático com base sensores para cálculo de capital e custos operacionais considera os dados bibliográficos (Iñigo Vegas, 2014).

O custo de investimento de um sistema NIR incluindo um transportador de alta velocidade e câmara de separação para triagem varia dependendo da largura da correia do sistema entre cerca de 95.000

€ e para sistema com correia de 0,6 m de largura e cerca de 230.000 € para sistema com correia de 2,8 m. Considerando-se os custos de outros equipamentos que são necessários para operar o sistema de triagem NIR (compressor, cabos, equipamentos elétricos, instalação) no total os investimentos alcançam a soma de 140.000 € (0,6 m do sistema de largura) e 320.000 € (2,8 m de largura sistema). Para o cálculos de opex, supondo que uma operação de dois turnos (3.400 h / ano), com custos de manutenção de 2,5% sobre o capital ao ano, custos de seguro de 1,0% por ano e os custos de energia anuais de 4000 € (correia de 0,6 m de largura) ou 14.000 € (correia de 2.8 m de largura), logo os custos operacionais totais são estimados em 34.000 € / ano para um sistema de largura 0,6 m ou 80.000 € / ano para um sistema de 2,8 m de largura. Assumindo uma capacidade de tratamento de 11 t / h / m como testado dentro IRCOW [14], o que resulta em custos de tratamento de 1,5 € / t de material processado para um sistema amplo de 0,6 m e 0,8 € / t para um sistema amplo de 2,8 m.

**Tabela 71 - Planta Convencional + Jigagem Seca +Sorter Automático – Sumario de Custos (Capex /Opex)100 kt /300 kt/ 600 kt para tratamento de RC&D**

Planta Convencional + Jigagem Seca +Sorter Automático – Sumario de Custos (Capex /Opex)												
100 ktpy				300 ktpy				600 ktpy				
	Capex kUS\$	Custo Var. US\$/t	Custo Fixo kUS\$	Custo Total US\$/t	Capex kUS\$	Custo Var. US\$/t	Custo Fixo kUS\$	Custo Total US\$/t	Capex kUS\$	Custo Var. US\$/t	Custo Fixo kUS\$	Custo Total US\$/t
Max	18033	21,25	1287	34,12	21467	9,54	1659	15,07	28377	6,62	1987	9,93
Min	9552				12048				16803			

Fonte: Petter, R (2015)

#### 4.9 Modelos Econômicos determinísticos para Plantas de RC&D

Foram elaborados modelos econômicos de avaliação para 20 anos de vida da planta. Taxa de desconto utilizada não se baseou em nenhum país ou negócio em particular, aplicou-se a mesma taxa de 10%. Para o modelo econômico determinístico usamos a composição média dos entulhos brasileiros, em outros países pode haver variações. Estipulou-se um preço para serviços de reciclagem (pagos pelos responsáveis pela construção ou demolição) similar aos praticados na Califórnia de US\$ 30 por tonelada de entulho. Aplicou-se impostos sobre o produto produzido e sobre serviços de forma similar aos impostos brasileiros ICMS e ISSQN.

Imposto de Renda usado foi de 25% (valor em uma faixa intermediária em termos internacionais). Preço da Sucata de Ferro é o preço médio internacional praticado em 2014.

Serão modelados os três tipos de Plantas (Convencional, Jig seco a ar e Jig Seco a Ar combinado com (*Sorting*) para as escalas de produção de 100 kt/ano, 300 kt/ano e 600 kt/ano.

**Tabela 72 - Modelo determinístico para Planta Convencional com escala de 100 kt/ano**

Fluxo de Caixa -Planta Convencional - 100 kt/ano							
Componentes / Produtos	Preços	Proporção	Proporção		unid.		
			Normalizada	Recuperação			
Produtos de RC&D							100 100
Solo Peneirado	3,3	26%	31%	90%	t		27,9 27,9
Brita	5,33	37%	44%	50%	t		22,0 22,0
Areia Reciclada	6	13%	15%	90%	t		13,9 13,9
Fragmentos de tijolo	5,33	5%	6%	90%	t		5,4 5,4
Sucata de Ferro	133	3,00%	4%	70%	t		2,5 2,5
Estéril					t	28%	28,33 28,3
						RC&D	
Receita Produtos Reciclados					kUS\$		654 654
Receita de Serviço de Reciclagem	30				kUS\$		3000 3000
Custo Fixo da Planta	1301				kUS\$		1301 1301
Custo Variavel da Planta	18,06				kUS\$		1806 1806
Capital					kUS\$	8180	
Amortização					kUS\$		409 409
Imposto sobre Produto	7%				kUS\$		46 46
Imposto sobre Serviços	5%				kUS\$		150 150
Base Impositiva					kUS\$		-57 -57
Imposto de Renda	25%				kUS\$		0,0 0,0
Fluxo de Caixa depois dos impostos					kUS\$	-8180	352 352
<b>Resultados</b>							
<b>VPL</b>	10%	<b>-\$4.712,42</b>					
<b>TIR</b>	-1%						

Fonte: Petter, R (2015)

**Tabela 73- Modelo para Planta Convencional com escala de 300 kt/ano**

Fluxo de Caixa -Planta Convencional - 100 kt							
Componentes / Produtos	Preços	Proporção	Proporção		unid.		
			Normalizada	Recuperaçã			
Produtos de RC&D							300 300
Solo Peneirado	3,3	26%	31%	90%	t		83,6 83,6
Brita	5,33	37%	44%	50%	t		66,1 66,1
Areia Reciclada	6	13%	15%	90%	t		41,8 41,8
Fragmentos de tijolo	5,33	5%	6%	90%	t		16,1 16,1
Sucata de Ferro	133	3,00%	4%	70%	t		7,5 7,5
Estéril	0				t	28%	85 85
						RC&D	
Receita Produtos Reciclados					kUS\$		1962 1962
Receita de Serviço de Reciclagem	30				kUS\$		9000 9000
Custo Fixo da Planta	1680				kUS\$		1680 1680
Custo Variavel da Planta	8,51				kUS\$		2553 2553
Capital					kUS\$	11347	
Amortização					kUS\$		567 567
Imposto sobre Produto	7%				kUS\$		137 137
Imposto sobre Serviços	5%				kUS\$		450 450
Base Impositiva					kUS\$		5574 5574
Imposto de Renda	25%				kUS\$		1393 1393
Fluxo de Caixa depois dos impostos					kUS\$	-11347	4748 4748
<b>Resultados</b>							
<b>VPL</b>	10%	<b>\$26.430,85</b>					
<b>TIR</b>	42%						

Fonte: Petter, R (2015)

Tabela 74- Modelo para planta Convencional com Escala de 600 kt/ano

Componentes / Produtos	Preços	Proporção			unid.	-1	1	20	
		US\$/t	Proporção %	Normalizada %					Recuperação %
Produtos de RC&D							600	600	
Solo Peneirado	3,3	26%	31%	90%	t		167,1	167,1	
Brita	5,33	37%	44%	50%	t		132,1	132,1	
Areia Reciclada	6	13%	15%	90%	t		83,6	83,6	
Fragmentos de tijolo	5,33	5%	6%	90%	t		32,1	32,1	
Sucata de Ferro	133	3,00%	4%	70%	t		15	15	
Estéril	0		0%		t	28%	170	170	
						w/c&DW			
Receita Produtos Reciclados					kUS\$		3924	3924	
Receita de Serviço de Reciclagem	30				kUS\$		18000	18000	
Custo Fixo da Planta	2021				kUS\$		2021	2021	
Custo Variavel da Planta	5,89				kUS\$		3534	3534	
Capital					kUS\$		16247		
Amortização					kUS\$		812	812	
Imposto sobre Produto	7%				kUS\$		275	275	
Imposto sobre Serviços	5%				kUS\$		900	900	
Base Impositiva					kUS\$		14381	14381	
Imposto de Renda	25%				kUS\$		3595	3595	
Fluxo de Caixa depois dos impostos					kUS\$		-16247	11598	11598
<b>Resultados</b>									
<b>VPL</b>	10%		\$74.997						
<b>TIR</b>	71%								

Fonte: Petter, R (2015)

Tabela 75 - Modelo para Planta com Jig Seco a Ar escala 100kt/ano

Fluxo de Caixa - Jig Seco a Ar - 100 kt/ano										
Componentes	Preços	Proporção			unid.	-1	1	19	20	
		US\$/t	Proporção %	Normaliza %						Recuperação %
Produtos de RC&D							100	100	100	
Solo Peneirado	3,3	26%	31%	90%	t		27,9	27,9	27,9	
Brita	8,40	37%	44%	95%	t		41,8	41,8	41,8	
Areia Reciclada	6	13%	15%	90%	t		13,9	13,9	13,9	
Fragmentos de tijolo	5,33	5%	6%	90%	t		5,4	5,4	5,4	
Sucata de Ferro	133	3,00%	4%	70%	t		2,5	2,5	2,5	
Estéril	0		0%		t	9%	8,5	8,5	8,5	
						RC&D				
Receita Produtos Reciclados					kUS\$		888	888	888	
Receita de Serviço de Reciclagem	30				kUS\$		3000	3000	3000	
Custo Fixo da Planta	1287				kUS\$		1287	1287	1287	
Custo Variavel da Planta	19,99				kUS\$		1999	1999	1999	
Capital					kUS\$		17135			
Amortização					kUS\$		857	857	857	
Imposto sobre Produto	7%				kUS\$		62	62	62	
Imposto sobre Serviços	5%				kUS\$		150	150	150	
Base Impositiva					kUS\$		-467	-467	-467	
Imposto de Renda	25%				kUS\$		0	0	0	
Fluxo de Caixa depois dos impostos					kUS\$		-17135	390	390	390
<b>Resultados</b>										
<b>VPL</b>	10%		-\$12.558,94							
<b>TIR</b>	-7%									

Fonte: Petter, R (2015)

Tabela 76-Modelo para Planta com Jig Seco a Ar escala 300kt/ano

Componentes	Fluxo de Caixa - Jig Seco a Ar - 100 kt/ano					-1	1	20
	Preços	Proporção	Proporção Normalizada		Recuperaçã			
Produtos de RC&D							300	300
Solo Peneirado	3,3	26%	31%	90%	t		83,6	83,6
Brita	8,40	37%	44%	95%	t		125,5	125,5
Areia Reciclada	6	13%	15%	90%	t		41,8	41,8
Fragmentos de tijolo	5,33	5%	6%	90%	t		16,1	16,1
Sucata de Ferro	133	3,00%	4%	70%	t		7,5	7,5
Estéril	0		0%		t	9%	25,5	25,5
w/C&DW								
Receita Produtos Reciclados						kUS\$	2664	2664
Receita de Serviço de Reciclagem	30					kUS\$	9000	9000
Custo Fixo da Planta	1987					kUS\$	1987	1987
Custo Variável da Planta	6,52					kUS\$	1956	1956
Capital						kUS\$	20302	
Amortização						kUS\$	1015	1015
Imposto sobre Produto	7%					kUS\$	186	186
Imposto sobre Serviços	5%					kUS\$	450	450
Base Impositiva						kUS\$	6070	6070
Imposto de Renda	25%					kUS\$	1517	1517
Fluxo de Caixa depois dos impostos						kUS\$	-20302	5567
<b>Resultados</b>								
VPL	10%	\$24.632,27						
TIR	27%							

Fonte: Petter, R (2015)

Tabela 77 - Modelo para Planta com Jig Seco a Ar escala 600kt/ano

Componentes	Preços	Proporção	Proporção		Recuperação	unid.	-1	1	20
			Normalizada	%					
Produtos de RC&D								600	600
Solo Peneirado	3,3	26%	31%	90%	t		167,1	167,1	
Brita	8,40	37%	44%	95%	t		251,1	251,1	
Areia Reciclada	6	13%	15%	90%	t		83,6	83,6	
Fragmentos de tijolo	5,33	5%	4%	90%	t		23,0	23,0	
Sucata de Ferro	133	3,00%	4%	70%	t		15,0	15,0	
Estéril	0		0%		t	10%	60,3	60,3	
RC&D									
Receita Produtos Reciclados						kUS\$	5279	5279	
Receita de Serviço de Reciclagem	30					kUS\$	18000	18000	
Custo Fixo da Planta	1987					kUS\$	1987	1987	
Custo Variável da Planta	6,52					kUS\$	3912	3912	
Capital						kUS\$	29679		
Amortização						kUS\$	1484	1484	
Imposto sobre Produto	7%					kUS\$	370	370	
Imposto sobre Serviços	5%					kUS\$	900	900	
Base Impositiva						kUS\$	14627	14627	
Imposto de Renda	25%					kUS\$	3657	3657	
Fluxo de Caixa depois dos impostos						kUS\$	-29679	12454	
<b>Resultados</b>									
VPL	10%	\$69.407,74							
TIR	42%								

Fonte: Petter, R (2015)

**Tabela 78- Modelo Planta com Jig Seco a Ar e Sorter escala 100kt/ano (Combinada)**

Componentes	Preços US\$/t	Proporção %	Proporção		unid.	-1	1	20
			Normalizada %	Recuperação %				
Produtos de RC&D							100	100
Solo Peneirado	3,3	26%	26%	90%	t		23,4	23,4
Brita	7,9	37%	37%	85%	t		31,45	31,45
Areia Reciclada	6	13%	13%	90%	t		11,7	11,7
Fragmentos de tijolo	5,33	5%	5%	90%	t		4,5	4,5
Sucata de Ferro	133	3,00%	3%	70%	t		2,1	2,1
Estéril	0	16%	16%		t	27%	26,85	26,85
w/C&DW								
Receita Produtos Reciclados					kUS\$		698	698
Receita de Serviço de Reciclagem	30				kUS\$		3000	3000
Custo Fixo da Planta	1287				kUS\$		1287	1287
Custo Variavel da Planta	21,25				kUS\$		2125	2125
Capital					kUS\$		13793	
Amortização					kUS\$		690	690
Imposto sobre Produto	7%				kUS\$		49	49
Imposto sobre Serviços	5%				kUS\$		150	150
Base Impositiva					kUS\$		-602	-602
Imposto de Renda	25%				kUS\$		0	0
Fluxo de Caixa depois dos impostos					kUS\$		-13793	88
<b>Resultados</b>								
<b>VPL</b>	10%							<b>-\$11.860,85</b>
<b>TIR</b>	-15%							

Fonte: Petter, R (2015)

**Tabela 79 - Modelo Planta com Jig Seco a Ar e Sorter escala 300kt/ano (Combinada)**

Componentes	Preços US\$/t	Proporção %	Proporção		unid.	-1	1	20
			Normalizada %	Recuperação %				
Produtos de RC&D							300	300
Solo Peneirado	3,3	26%	26%	90%	t		70,2	70,2
Brita	7,9	37%	37%	85%	t		94,35	94,35
Areia Reciclada	6	13%	13%	90%	t		35,1	35,1
Fragmentos de tijolo	12	5%	5%	90%	t		13,5	13,5
Sucata de Ferro	133	3,00%	3%	70%	t		6,3	6,3
Estéril	0	16%	16%		t	27%	80,55	80,55
w/C&DW								
Receita Produtos Reciclados					kUS\$		2184	2184
Receita de Serviço de Reciclagem	30				kUS\$		9000	9000
Custo Fixo da Planta	1659				kUS\$		1659	1659
Custo Variavel da Planta	9,54				kUS\$		2861	2861
Capital					kUS\$		16758	
Amortização					kUS\$		838	838
Imposto sobre Produto	7%				kUS\$		153	153
Imposto sobre Serviços	5%				kUS\$		450	450
Base Impositiva					kUS\$		5223	5223
Imposto de Renda	25%				kUS\$		1306	1306
Fluxo de Caixa depois dos impostos					kUS\$		-16758	4755
<b>Resultados</b>								
<b>VPL</b>	10%							<b>\$21.565,90</b>
<b>TIR</b>	28%							

Fonte: Petter, R (2015)

**Tabela 80-Modelo Planta com Jig Seco a Ar e Sorter escala 600kt/ano (Combinada)**

Componentes	Preços US\$/t	Proporção %	Proporção		unid.	-1	1	20
			Normalizada %	Recuperação %				
Produtos de RC&D							600	600
Solo Peneirado	3,3	26%	26%	90%	t		140,4	140,4
Brita	7,9	37%	37%	85%	t		188,7	188,7
Areia Reciclada	6	13%	13%	90%	t		70,2	70,2
Fragmentos de tijolo	12	5%	5%	90%	t		27	27
Sucata de Ferro	133	3,00%	3%	70%	t		12,6	12,6
Estéril	0	16%	16%		t	27%	161,1	161,1
w/C&DW								
Receita Produtos Reciclados					kUS\$		4369	4369
Receita de Serviço de Reciclagem	30				kUS\$		18000	18000
Custo Fixo da Planta	1987				kUS\$		1987	1987
Custo Variável da Planta	6,62				kUS\$		3970	3970
Capital					kUS\$	22590		
Amortização					kUS\$		1130	1130
Imposto sobre Produto	7%				kUS\$		306	306
Imposto sobre Serviços	5%				kUS\$		900	900
Base Impositiva					kUS\$		14076	14076
Imposto de Renda	25%				kUS\$		3519	3519
Fluxo de Caixa depois dos impostos					kUS\$	-22590	11687	11687
<b>Resultados</b>								
VPL	10%	\$69.913,09						
TIR	52%							

Fonte: Petter, R (2015)

#### 4.10 Simulações de Monte Carlo das plantas de beneficiamento de RC&D

A técnica de análise de risco econômico por meio de simulação de Monte Carlo foi aplicada para avaliar as três opções de planta para três escalas diferentes de escalas de alimentação 100 kt/a, 300 kt/a, 600 kt/a. Com a simulação de Monte Carlo teremos como resposta um histograma de probabilidades na qual os valores das ordenadas ( $x$ ) serão VPL e TIR, mas poderíamos ter usado outros resultados como (*payback*), fluxos de caixa médios etc. Abaixo mostramos as variáveis que foram simuladas e seus intervalos de erros estimados.

##### Planta Convencional de 100 kt/a

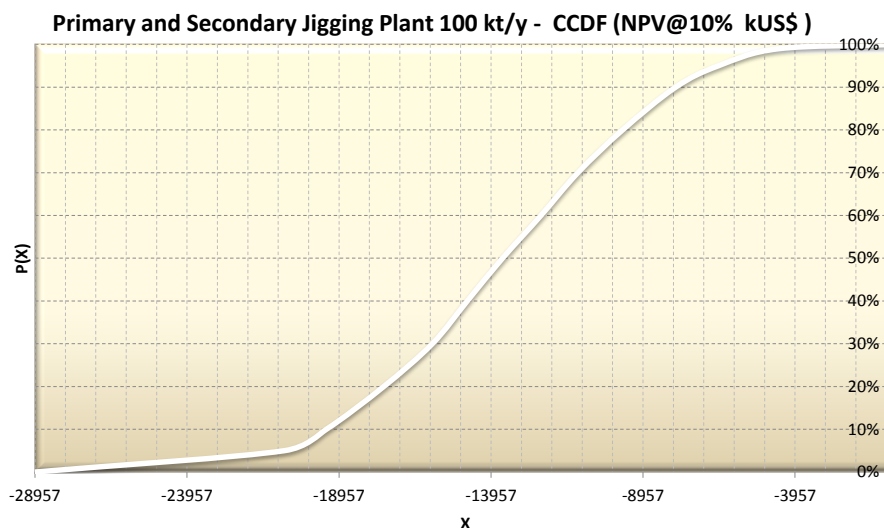
**Tabela 81 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional 100 kt/a**

Variáveis Simuladas	Intervalos de Variação p/ Simulação		
	Distribuição	Min.	Max.
Alimentação da Planta	triangular	70%	110%
Preços	triangular	70%	130%
Custos	triangular	85%	115%
Capital	uniforme	5922	10436
Preço Serviço de Reciclagem	triangular	20	40
<b>Composição do Entulho</b>			
Solo Peneirado	uniforme	11,90%	48,90%

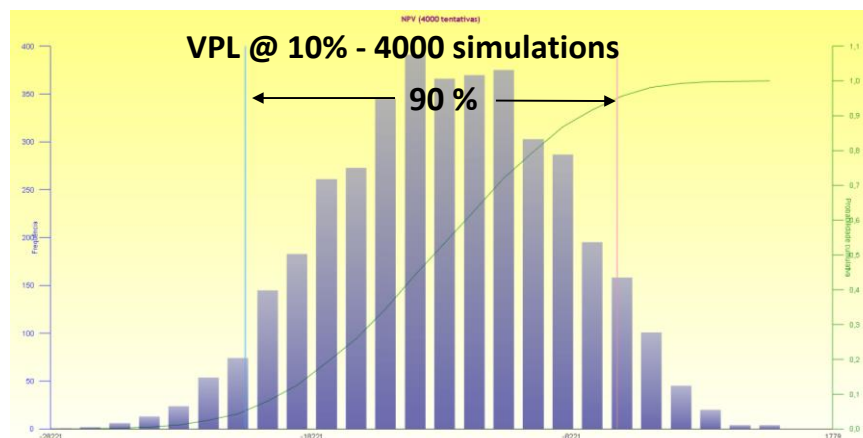
Agregado	uniforme	9,9%	61,6%
Areia	uniforme	3,2%	25,9%
Tijolos	uniforme	0,3%	12,0%
Sucata de Ferro	uniforme	0,5%	6,1%

Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 30 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional de 100 kt/a**



**Figura 31 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional 100 kt/a**



90% Confiança para NPV 10% estar entre -12 MUS\$ e 0,475 MUS\$ e 90% de Confiança que a TIR % estará entre -12% e 12%, e 93 % de probabilidade de perda.



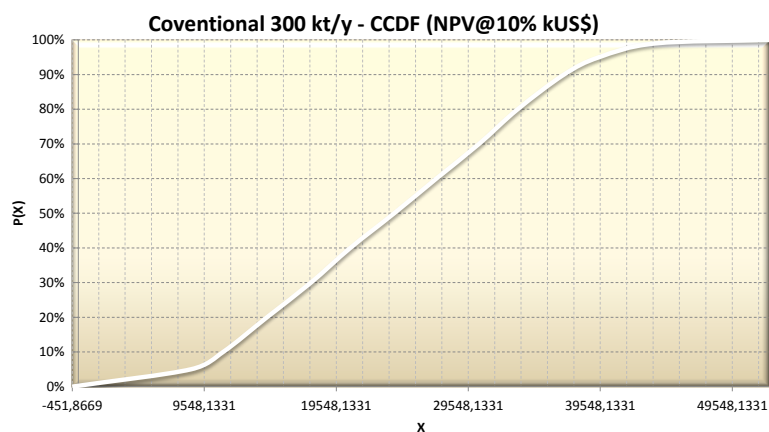
## Planta Convencional de 300 kt/a

**Tabela 82- Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional 300 kt/a**

Variáveis Simuladas	Intervalos de Variação p/ Simulação		
	Distribuição	min	max
Alimentação da Planta	triangular	70%	110%
Preços	triangular	70%	130%
Custos	triangular	85%	115%
Capital	uniforme	8549	14145
Preço Serviço de Reciclagem	triangular	20	40
Composição do Entulho			
Solo Peneirado	uniforme	11,90%	48,90%
Agregado	uniforme	9,9%	61,6%
Areia	uniforme	3,2%	25,9%
Tijolos	uniforme	0,3%	12,0%
Sucata de Ferro	uniforme	0,5%	6,1%

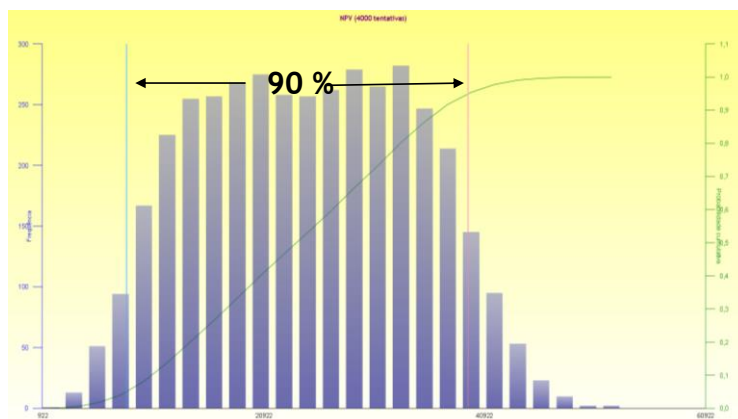
Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 32 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional de 300 kt/a**



Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 33 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional 300 kt/a**



Fonte: Petter, R (2015)

Como resultado tivemos com 90% de confiança para um VPL 10% entre 8,5 MUS\$ e 39 MUS\$ e 90% de confiança para um TIR entre 20% e 61%, com 3 % de Probabilidade de perdas.

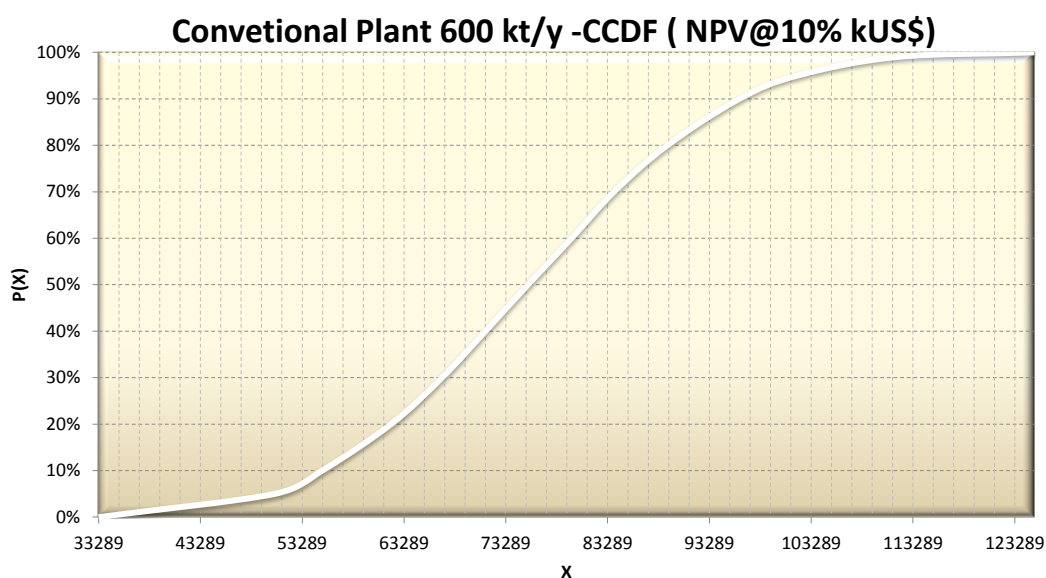
### Planta Convencional de 600 kt/a

Tabela 83 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional 600 kt/a

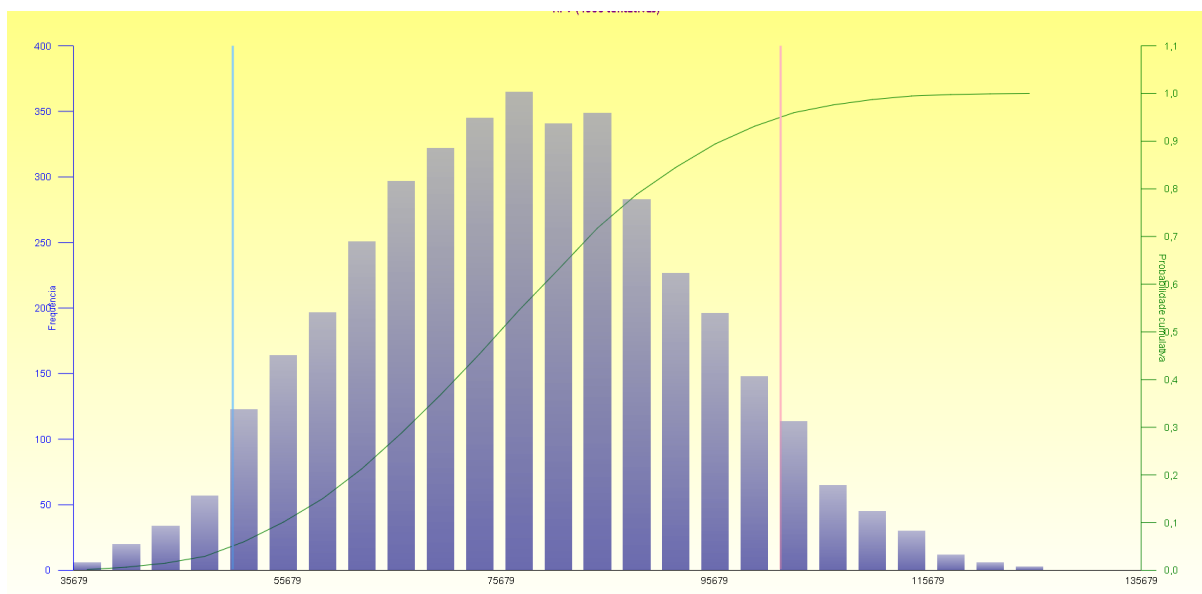
Variáveis Simuladas	Distribuição	Intervalo de Variação	
		min	max
Alimentação da Planta	triangular	70%	110%
Preços	triangular	70%	130%
Custos	triangular	85%	115%
Capital	uniforme	12702	19792
Preço Serviço de Reciclagem	triangular	20	40
Composição do Entulho			
Solo Peneirado	uniforme	11,90%	48,90%
Agregado	uniforme	9,9%	61,6%
Areia	uniforme	3,2%	25,9%
Tijolos	uniforme	0,3%	12,0%
Sucata de Ferro	uniforme	0,5%	6,1%

Fonte: Petter, R (2015)

Figura 34- Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional de 600 kt/a



Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 35 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional 300 kt/a**

Fonte: Petter, R (2015)

Como resultado tivemos 90% de confiança para um VPL 10% entre 50 MUS\$ e 101 MUS\$ e para um TIR entre 49% e 101%, com 0 % probabilidade de prejuízos.

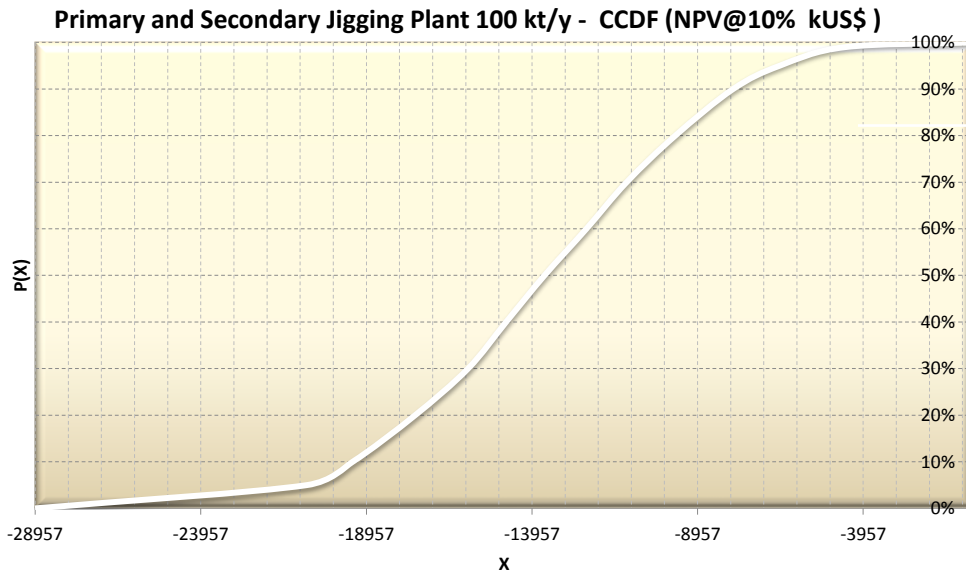
### Planta Convencional + Jig Seco a Ar de 100 kt/a

**Tabela 84- Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco a Ar 100 kt/a**

Variáveis Simuladas	Distribuição	Intervalo de Variação	
		min	max
Alimentação da Planta	triangular	70%	110%
Preços	triangular	70%	130%
Custos	triangular	85%	115%
Capital	uniforme	11713	22556
Preço Serviço de Reciclagem	triangular	20	40
Composição do Entulho			
Solo Peneirado	uniforme	11,90%	48,90%
Agregado	uniforme	9,9%	61,6%
Areia	uniforme	3,2%	25,9%
Tijolos	uniforme	0,3%	12,0%
Sucata de Ferro	uniforme	0,5%	6,1%

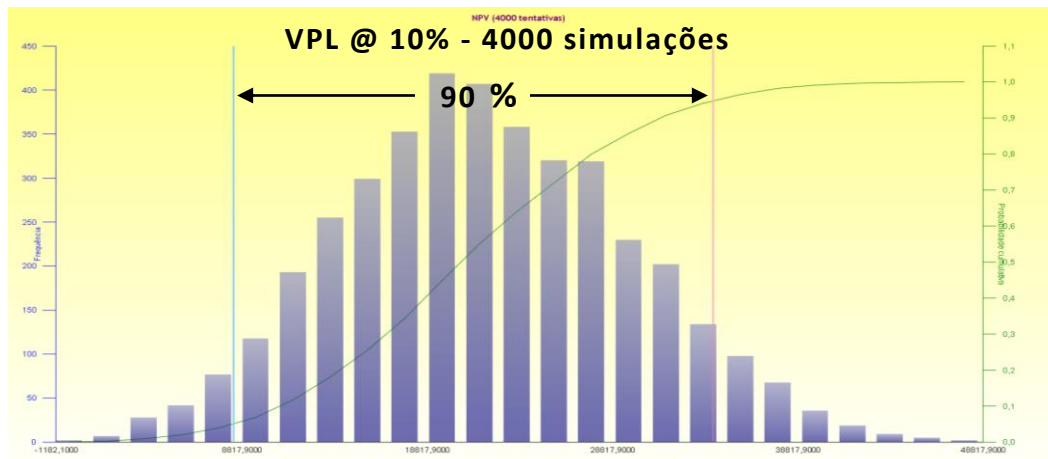
Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 36- Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig a Seco a ar de 100 kt/a**



Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 37- Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig a Seco a ar 100 kt/a**



Fonte: Petter, R (2015)

Como resultado tivemos que com 90% de confiança que VPL 10% estará entre -20 MUS\$ e - 6 MUS\$ e TIR entre -16 % e 2%, com 100 % de probabilidade de prejuízo.

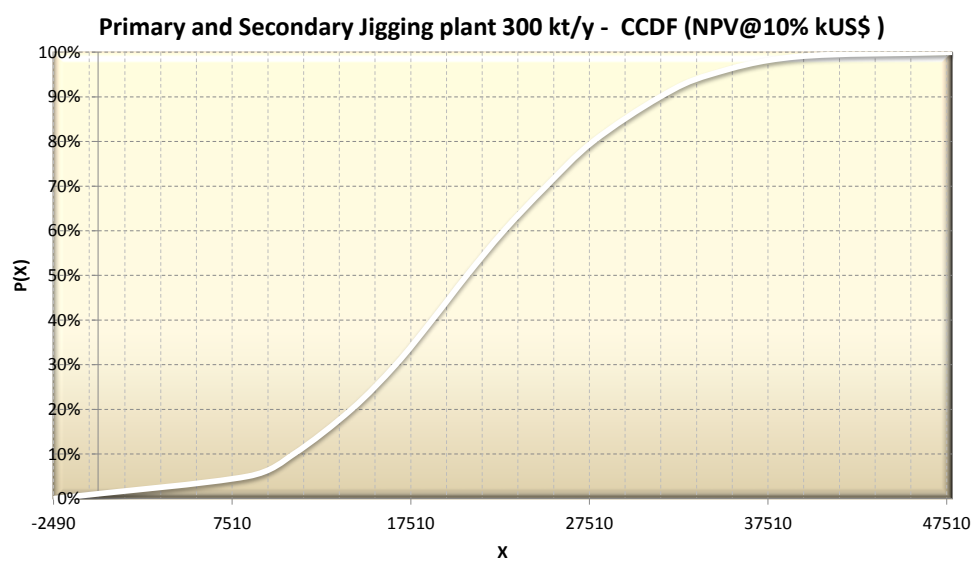
## Planta Convencional + Jig Seco a Ar de 300 kt/a

Tabela 85 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco a Ar 300 kt/a

Variáveis Simuladas	Distribuição	Intervalo de Variação	
		min	max
Alimentação da Planta	triangular	70%	110%
Preços	triangular	70%	130%
Custos	triangular	85%	115%
Capital	uniforme	14340	26264
Preço Serviço de Reciclagem	triangular	20	40
Composição do Entulho			
Solo Peneirado	uniforme	11,90%	48,90%
Agregado	uniforme	9,9%	61,6%
Areia	uniforme	3,2%	25,9%
Tijolos	uniforme	0,3%	12,0%
Sucata de Ferro	uniforme	0,5%	6,1%

Fonte: Petter, R (2015)

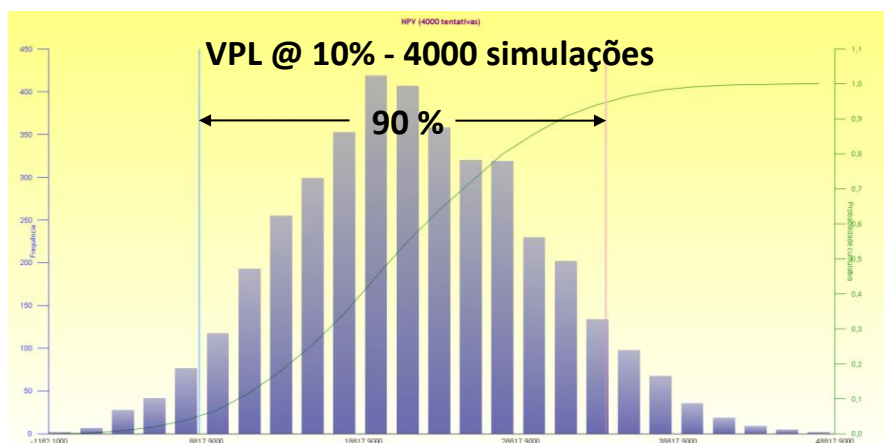
Figura 38- Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig a Seco a ar de 300 kt/a



Fonte:

Petter, R (2015)

**Figura 39- Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig a Seco a ar 300 kt/a**



Fonte: Petter, R (2015)

Como Resultado tivemos que com 90% de confiança o VPL 10% estará entre 8,4 MUS\$ e 34 MUS\$ a TIR% estará entre 16 % e 38%, com 0,08 % de probabilidade de prejuízo.

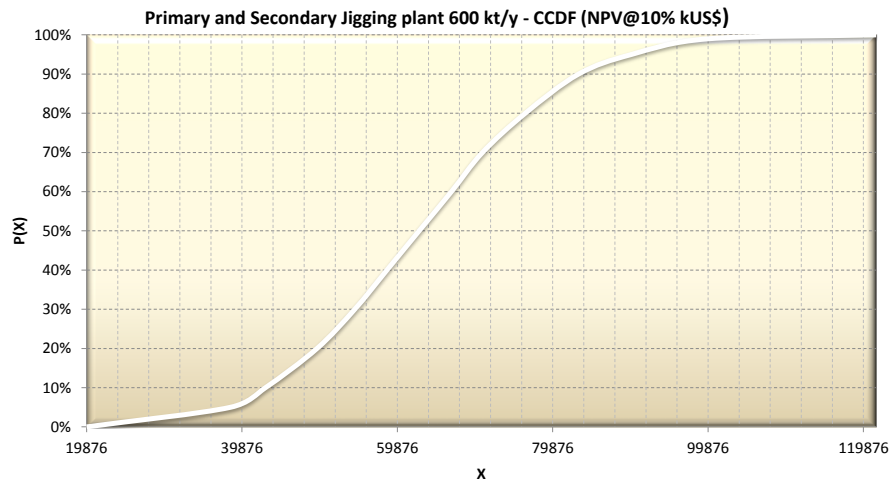
### Planta Convencional + Jig Seco a Ar de 600 kt/a

**Tabela 86- Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco a Ar 600 kt/a**

Variáveis Simuladas	Interval of Variation		
	Distribution	min	max
Alimentação da Planta	triangular	70%	110%
Preços	triangular	70%	130%
Custos	triangular	85%	115%
Capital	uniforme	Min	Max.
Preço Serviço de Reciclagem	triangular	20	40
Composição do Entulho		21387	37972
Solo Peneirado	uniforme	11,90%	48,90%
Agregado	uniforme	9,9%	61,6%
Areia	uniforme	3,2%	25,9%
Tijolos	uniforme	0,3%	12,0%
Sucata de Ferro	uniforme	0,5%	6,1%

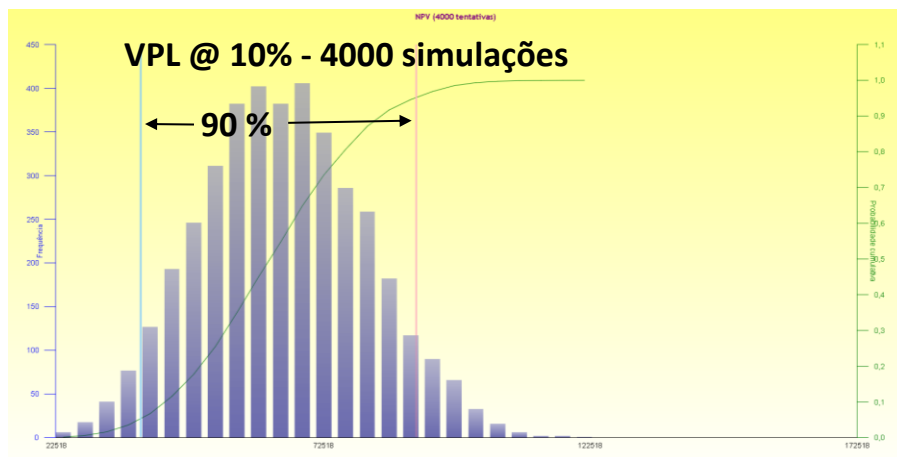
Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 40 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig Seco a ar de 600 kt/a**



Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 41 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig Seco a ar 600 kt/a**



Fonte: Petter, R (2015)

Como resultado tivemos que com 90% de confiança que o VPL 10% estará entre 38 MUS\$ e 90 MUS\$, e que a TIR% estará entre 26 % e 58%, com 0 % de probabilidade de prejuízos.

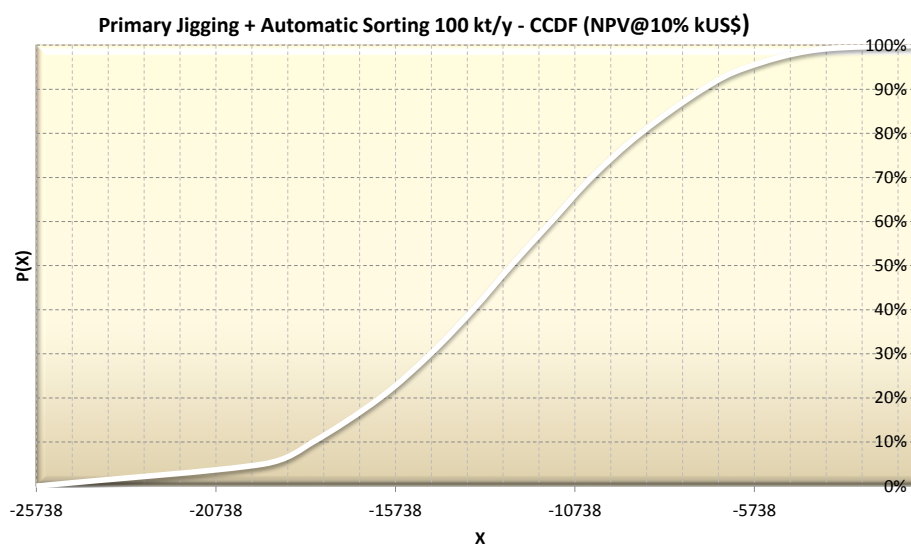
## Planta Convencional + Jig Seco a Ar + Sorter Automático de 100 kt/a

**Tabela 87 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco + Sorting a Ar 100 kt/a**

Variáveis Simuladas	Distribuição	Intervalo de Variação	
		min	max
Alimentação da Planta	triangular	70%	110%
Preços	triangular	70%	130%
Custos	triangular	85%	115%
Capital	uniforme	9552	18033
Preço Serviço de Reciclagem	triangular	20	40
Composição do Entulho			
Solo Peneirado	uniforme	11,90%	48,90%
Agregado	uniforme	9,9%	61,6%
Areia	uniforme	3,2%	25,9%
Tijolos	uniforme	0,3%	12,0%
Sucata de Ferro	uniforme	0,5%	6,1%

Fonte: Petter, R (2015)

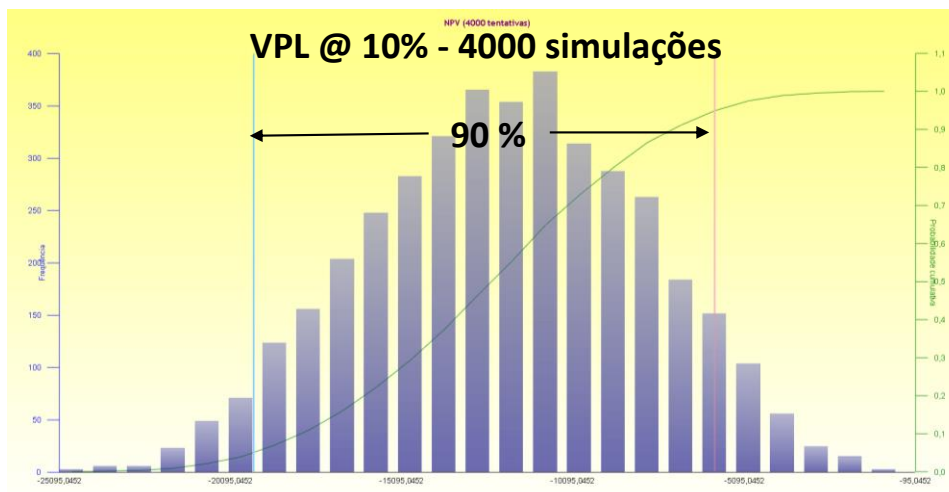
**Figura 42 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automático de 100 kt/a**



Fonte: Petter, R (2015)



**Figura 43- Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automatico 100 kt/a**



Fonte: Petter, R (2015)

Como resultado temos que com 90% de confiança que o VPL 10% estar entre -19 MUS\$ e -6 MUS\$, e que a TIR% estará entre -17 % e 2%, com 100 % Probabilidade de prejuízos.

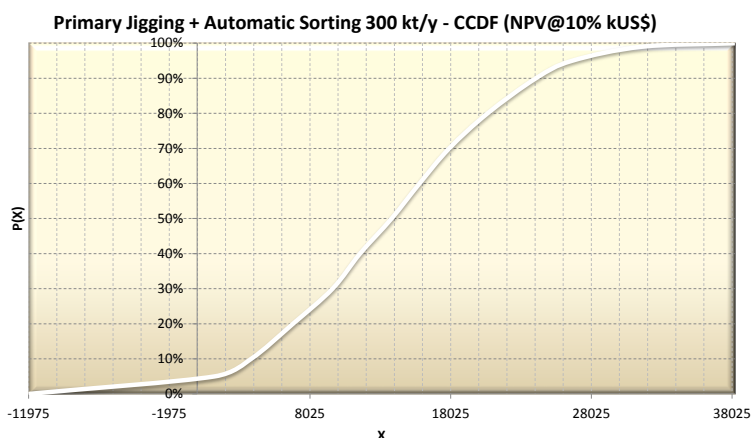
#### **Planta Convencional + Jig Seco a Ar + Sorter Automático de 300 kt/a**

**Tabela 88 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco + Sorting a Ar 300 kt/a**

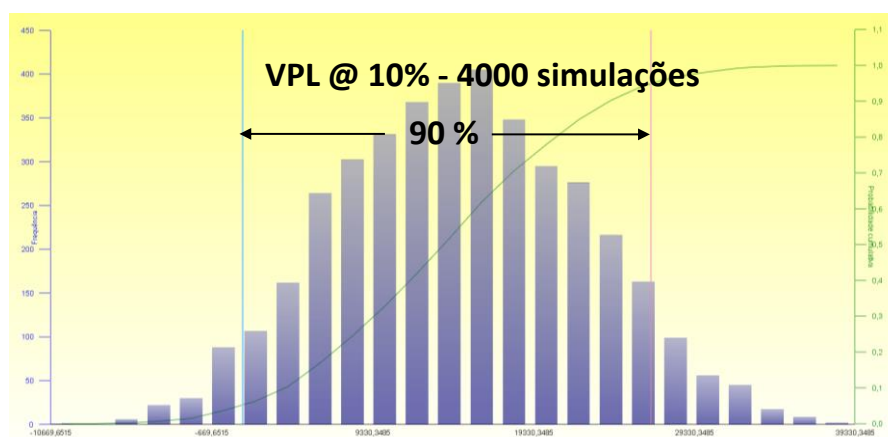
Variáveis Simuladas	Intervalos de Variação		
	Distribuição	min	max
Alimentação da Planta	triangular	70%	110%
Preços	triangular	70%	130%
Custos	triangular	85%	115%
Capital	uniform	16803	28377
Preço Serviço de Reciclagem	triangular	20	40
Composição do Entulho			
Solo Peneirado	uniforme	11,90%	48,90%
Agregado	uniforme	9,9%	61,6%
Areia	uniforme	3,2%	25,9%
Tijolos	uniforme	0,3%	12,0%
Sucata de Ferro	uniforme	0,5%	6,1%

Fonte: Petter, R (2015)

**Figura 44 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automático de 300 kt/a**



**Figura 45 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automático 300 kt/a**



Como resultado temos que com 90% de confiança o VPL 10% estará entre 1,2 MUS\$ e 26 MUS\$, e a TIR% estará entre 10 % e 29%, com 3.5 % de probabilidade de prejuízos.

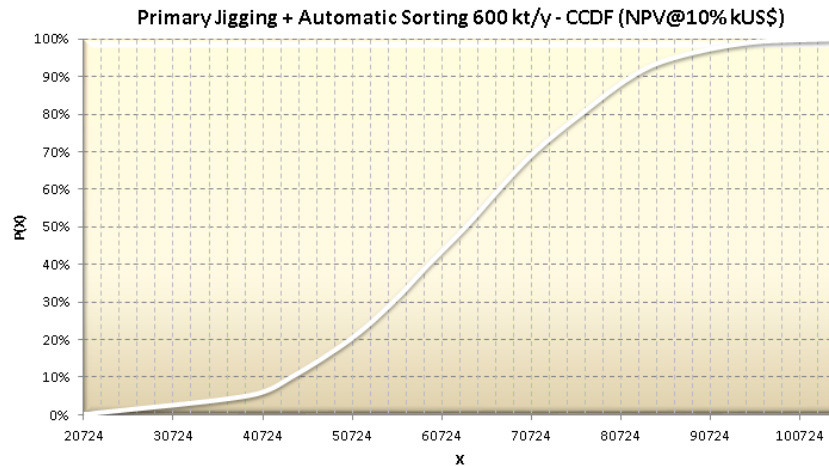
### **Planta Convencional + Jig Seco a Ar + Sorter Automático de 600 kt/a**

**Tabela 89 - Variáveis simuladas no modelo da opção planta convencional + Jig seco + Sorting a Ar 600 kt/a**

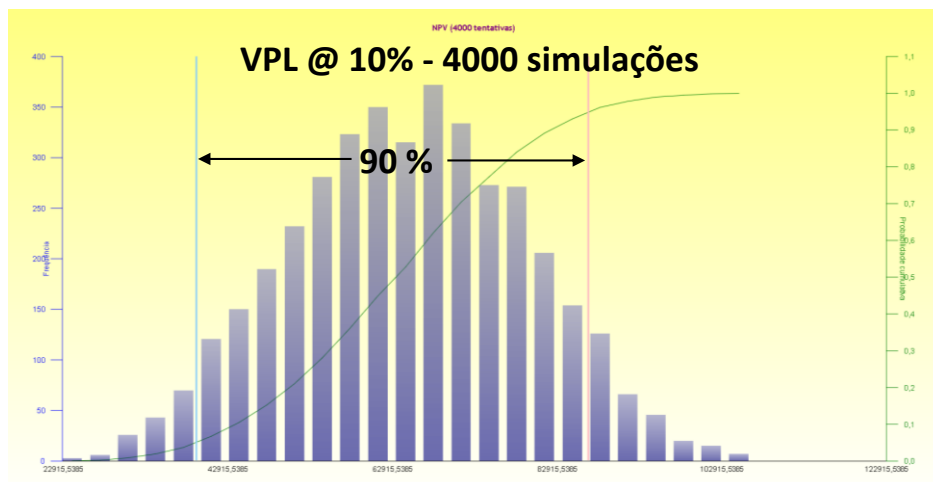
Variáveis Simuladas	Intervalos de Variação		
	Distribuição	min	max
Alimentação da Planta	triangular	70%	110%
Preços	triangular	70%	130%
Custos	triangular	85%	115%
Capital	uniforme	16803	28377
Preço Serviço de Reciclagem	triangular	20	40
Composição do Entulho			
Solo Peneirado	uniforme	11,90%	48,90%
Agregado	uniforme	9,9%	61,6%

Areia	uniforme	3,2%	25,9%
Tijolos	uniforme	0,3%	12,0%
Sucata de Ferro	uniforme	0,5%	6,1%

**Figura 46 - Função de distribuição acumulada VPL@10% planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automático de 600 kt/a**



**Figura 47 - Histograma de Probabilidades VPL@10% para opção planta convencional + Jig Seco a ar + Sorter Automático 600 kt/a**



Como resultado tivemos que com 90% de confiança do VPL10% estar entre 39 MUS\$ e 87 MUS\$, e 90% a TIR% estar entre 32 % e 69%, com 0 % de probabilidade de prejuízos.

#### 4.11 Resumo das análises econômicas e de Risco de opções de planta de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RC&D).

##### 4.11.1 Resumo da análise determinística de planta de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RC&D).

Tabela 90 - Sumario dos resultados das análises econômicas determinísticas de opções de planta RC&D para diferentes escalas de produção anual

VPL 10% [US\$ 000]				TIR %			
Planta	100 kt	300 kt	600 kt	Planta	100 kt	300 kt	600 kt
Conventional	-4712	26431	74997	Conventional	-1%	42%	71%
Jig Seco a Ar	-12559	24632	69408	Jig Seco a Ar	-7%	27%	42%
Jig Seco a Ar + Sorter	-11861	21566	69913	Jig Seco a Ar + Sorter	-15%	28%	52%

Fonte: Petter, R (2015)

##### 4.11.2 Resumo da análise de sensibilidade de opções de planta de RC&D

Selecionadas as 3 melhores opções segundo resultados econômicos dos modelos determinísticos para serem testadas com análises de sensibilidade.

- Planta convencional 300 kt/a
- Planta Jig a Seco 600 kt/a
- Planta Jig a Seco + Sorter 600kt/a

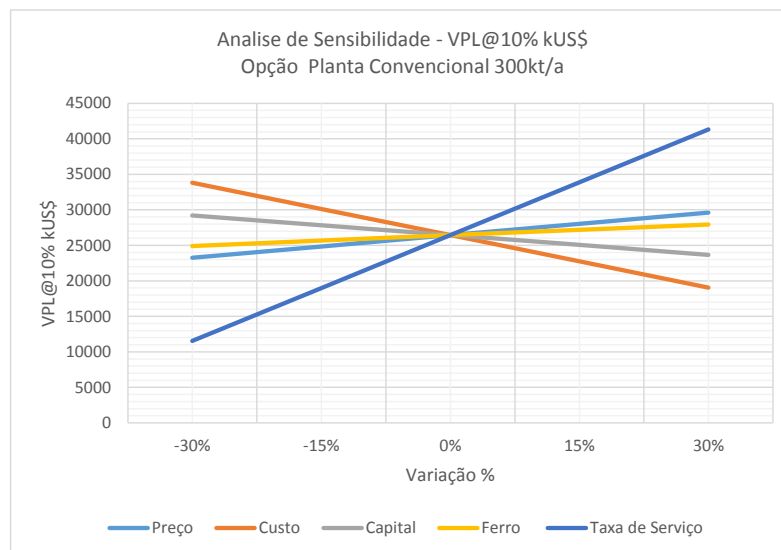
A variáveis que foram tratadas são as seguintes

- Preços de produtos reciclados
- Custo de reciclagem
- Capital de implantação da planta de reciclagem
- Taxa de Serviço de reciclagem
- Proporção de sucata de ferro no entulho.

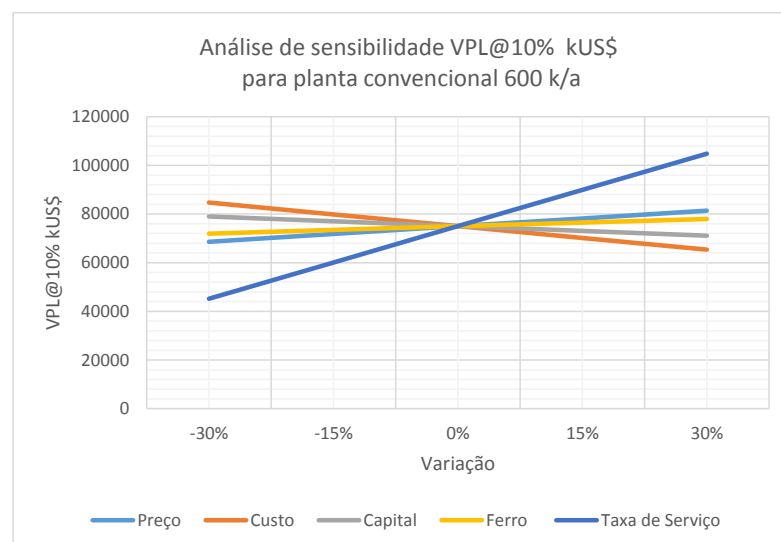
##### Planta convencional 300 kt/a

No caso da planta convencional 300kt/a as variáveis que mais impactam no valor do projeto são taxa de serviços, custo e capital. Preço, quantidade de sucata influenciam menos.

**Figura 48- Gráfico Aranha – Análise de sensibilidade da opção de planta convencional 300 kt/a**



**Figura 49 - Gráfico Aranha – Análise de sensibilidade da opção de planta convencional 300 kt/a**



Observa-se que quanto maior o porte da planta menos sensível a taxa de serviços de reciclagem e custos. Os outros casos são similares não justificando análises de sensibilidade mais aprofundadas.

### 4.11.3 Resumo dos resultados das simulações de Monte Carlo para opções de planta de RC&D

Tabela 91- Tabela resumo das simulações de Monte Carlo para as opções de planta de tratamento de RC&D

Resumo das simulações de planta de RC&D para 3 opções tecnológicas e 3 escalas de produção							
Opções		NPV@10%		TIR		Capex	Probabilidade de Prejuízo
		Max.	Min.	Max.	Min.	Max-Min	%
		MUS\$		%		MUS\$	
Convencional	100 kt/a	0,475	-12	12	-	10,4-5,9	93
	300kt/a	39	8,5	61	20	14,1-8,5	3
	600 kt/a	101	50	101	49	19,7 - 12,7	0
Jig a Ar	100 kt/a	-6	-20	2	-	22,5 - 11,7	100
	300kt/a	34	8,4	38	16	26,2 - 14,3	0,08
	600 kt/a	90	38	58	26	37,9-21,3	0
Jig a Ar + Sorting Combinados	100 kt/a	-6	-19	2	-	18-9,5	100
	300kt/a	26	1,2	29	10	21,4-12	3,5
	600 kt/a	87	39	69	32	28,3 -16,8	0

Fonte: Petter, R (2015)

## 5. CONCLUSÕES

### 5.1 A técnica de análise de risco econômico aplicada a diferentes cenários de investimentos em depósitos de minerais terras raras.

O objetivo principal do estudo do tema dos elementos terras raras foi compreender o problema de suprimento de terras raras a partir das jazidas brasileiras com apoio de técnicas de análise de risco.

Os modelos de negócios das minas que tinham como seus produtos finais óxidos de terras raras, mostraram probabilidades de perdas econômicas superiores a 50% com exceção do Projeto 3. O único depósito estudado considerando agregar valor às terras raras via fabricação de ímã permanente foi o Projeto 2, que teve probabilidade nula de ter prejuízos.

Esta constatação pode ser comprovada através da observação da evolução dos últimos projetos de terras implantados fora China, o projeto Mount Weld da Lynas e a reabertura da mina de Mountain Pass nos E.U.A.

A Molycorp proprietária de Mountain Pass teve seu valor de mercado reduzido de 6 bilhões de dólares em 2011 a 100 milhões de dólares em 2015. Devido principalmente a queda de preços e os altos custos de tratamento dos ETR. (McDonald, 2015). Lynas reduziu seu valor de ação de 2,29 dólares australianos em maio de 2011, para 0,04 dólares em julho de 2015, ou seja, uma redução de preço de ação de aproximadamente 98%.

Preços em queda são facilmente explicados pela abertura destas duas minas que ofertaram ao mercado adicionais 50 000 t ETR, em um mercado de 150 000 t ao ano, ou seja, um aumento de 30% de oferta em menos de dois anos.

Os resultados do Projeto 2, aonde testou-se o efeito da fabricação de ímãs permanentes como parte do modelo de negócios, nos permite concluir que agregar valor às terras raras via o avanço na cadeia de valores, parece ser a uma estratégia vencedora.

Quanto a garantia de fornecimento, a tabela (62) mostra que os projetos de minas que tiveram resultados positivos podem produzir em torno de 16 000 toneladas de OTR e 1350 t de ímãs permanentes por ano. Segundo a matriz insumo x produto serão necessárias uma média de 2600 t/a de óxidos e 9223 t/a de metais, que corresponde a aproximadamente 13500 t/a de OTR, logo o mercado interno estaria assegurado com a abertura de duas minas do porte do Projeto 2 e Projeto 3. Evidentemente os projetos das outras minas avaliadas podem ser

otimizados e entrar em cena, portanto viriam a participar da potencial fatia de mercado de metais, óxidos e ímãs permanentes do mercado mundial.

Para controlar-se a oferta dos elementos terras raras, e também o desenvolvimento do mercado interno, deveria se fomentar a produção de produtos finais com maior valor agregado, por isso será necessária uma política setorial forte através dos Ministérios envolvidos com tecnologia, indústria, comércio, mineração, educação e capacitação da mão de obra. Autoridades ambientais devem participar igualmente no esforço, pois os ETR terão uma função importante no suporte das tecnologias sustentáveis.

### **5.2 A técnica de análise de risco econômico aplicada a diferentes cenários de investimentos em reciclagem de rejeitos de material de demolição e construção civil.**

Escala de produção é um parâmetro forte (como de costume), em termos de economicidade das plantas. A partir de uma taxa de produção de 300 kt / ano, as três estratégias estudadas: planta convencional, planta convencional com jig a seco primário e secundário e a opção que combina jig primário com (*sorting*) são quase todas bem-sucedidas, apenas a opção jigagem ter probabilidade de 2% de ter um fluxo de caixa negativo.

Serviço a ser pago pelos demolidores e construtores que foi considerado entre US \$ 20 e US \$ 40 por tonelada entregue na usina de reciclagem é um ponto chave. A planta convencional, que tem o melhor resultado econômico na avaliação determinística (IRR de 71% e VPN @ 10% de 74 M US \$) torna-se negativo de US \$ 29,5M se não houver o pagamento da taxa de serviço de reciclagem.

Além da taxa de serviço de reciclagem, o processo de simulação mostra que o investimento em novas tecnologias é potencialmente positivo, mas a abordagem convencional ainda é a mais econômica. No entanto, os dados de simulação de recuperação utilizados para as duas estratégias tecnologicamente mais avançadas foram conservadores. Ainda há espaço para melhoras econômicas.

A receita obtida com reciclagem de sucata metálica foi de 51% na melhor opção (Convencional 600 kg / y), logo deve se garantir que esta sucata existente chegue a planta de processo, evitando desvios não planejados.



## 6. REFERÊNCIAS

### REFERÊNCIAS

- PRIME STAR BRASIL MINERAÇÃO LTDA . (Junho de 2013). Apresentação MME - Developing MORRO DO FERRO - a new Rare Earths deposit in Brazil. Belo Horizonte.
- A Associação Brasileira de Energia Eólica - ABEEólica. (junho de 2015). [www.portalabeeolica.org.br](http://www.portalabeeolica.org.br). Fonte: <http://www.portalabeeolica.org.br/>
- Abrão, A. (1994). Química e Tecnologia das Terras Raras. Em A. Abraão, *Química e Tecnologia das Terras Raras* (p. Nomenclatura sem numeração de página). RJ: CETEM/CNPq.
- Alonso, E. S. (2012). *Evaluating rare earth element availability: A case with revolutionary demand from clean technologies*. . Cambridge: Environmental science and technology - MIT.
- André Coelho, J. d. (2012). Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal e part I: location, materials, technology and economic analysis. *Cleaner Production*, 340-352.
- Anfavea. (11 de Junho de 2015). <http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>. Fonte: [www.anfavea.com.br: http://www.anfavea.com.br/tabelas.html](http://www.anfavea.com.br/tabelas.html)
- AUSIMM. (1993). *Cost Estimation Handbook for Australian Mining Industry*. Victoria: AUSIMM.
- Australian Ventures Pty Ltd. (2014). *Australian Strategic Minerals Industry - A Preliminary Assessment of the Viability of Western Australian Projects and Downstream Processing Opportunities in Rare Earths and Lithium*.
- Banco Central do Brasil. (2015). *Relatório de inflação Junho 2015*. Brasília: BCB.
- Banco Central do Brasil. (7 de 7 de 2015). [www.bcb.gov.br](http://www.bcb.gov.br). Fonte: Bacen: <http://www.bcb.gov.br>
- BNDES. (2010). *Terras Raras: situação atual e análise setorial*. RJ: BNDES.
- BNDES. (junho de 2015). *Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas*. Fonte: [web.bndes.gov.br](http://web.bndes.gov.br): [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/1/BS%2032%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20aspectos%20b%C3%A1sicos,%20perspectivas\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/1/BS%2032%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20aspectos%20b%C3%A1sicos,%20perspectivas_P.pdf)
- Bogdan Cazacliu, C. H. (2013). The potential of using air jigging to sort recycled aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 46-53.
- Carlos Alberto Corrêa Salles Jr, A. M. (2007). *Gerenciamento de Risco*. Rio de Janeiro: FGV Management.
- Carlos Alberto Corrêa Salles Jr., A. M. (2007). *Gerenciamento de riscos em Projetos*. Rio de Janeiro : FGV.
- CBMM. (28 de 11 de 2013). [pt.slideshare.net/museuminasmetal/projeto-de-terras-raras-cbmm](http://pt.slideshare.net/museuminasmetal/projeto-de-terras-raras-cbmm). Fonte: pt slide share: <http://pt.slideshare.net/museuminasmetal/projeto-de-terras-raras-cbmm>

- Cgee. (2013). *Usos e aplicações de Terras Raras no Brasil 2012-2030*. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora.
- Chaves, P. E. (2011). Apresentação FCC. *I Seminário Brasileiro de Terras Raras* (p. Slide 7). RJ: CETEM.
- Ciencia dos Materiais Multimidia. (3 de Julho de 2015). <http://www.cienciadosmateriais.org>.  
Fonte: Ciencia dos Materiais Multimidia:  
<http://www.cienciadosmateriais.org/index.php?acao=exibir&cap=13&top=241>
- Consórcio Tecnológico do Projeto ETR-BR. (29 de Novembro de 2013). Planejamento para implantação de uma cadeia produtiva com elementos terras raras - II Seminário Brasileiro de Terras Raras. Rio de Janeiro, RJ, Sudeste.
- Damodaran, A. (2007). *Avaliação de Empresas*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Devore. (2006). *Probabilidade e Estatística*. São Paulo: Thomson.
- Dinga, K. (1 de 12 de 2014). *The Rare Earth Magnet Industry and Rare Earth Price in China*.  
Fonte: [www.epj-conferences.org](http://www.epj-conferences.org): <http://www.epj-conferences.org> or  
<http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20147504005>
- DNPM. (2014). *Sumario Mineral*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.
- DNPM. (2014). Sumario Mineral. Em DNPM, *Sumario Mineral 2014* (p. 114). Brasília: DNPM.
- Globenewswire. (22 de 07 de 2015). *Molycorp, Inc. Secures Court Approval for Net \$130 Million in Final DIP Financing and Additional Time to Pursue Plan of Reorganization*. Fonte: Yahoo Finance: <http://finance.yahoo.com/news/molycorp-inc-secures-court-approval-222809658.html>
- Gomes, L. L. (janeiro de 2002). Apostila de Avaliação de Projetos - FGV. São Paulo, SP: FGV.
- Google.finance. (7 de 7 de 2015). [www.google.com/finance](http://www.google.com/finance). Fonte: Google finance:  
<https://www.google.com/finance>
- Gupta, C. . (2005). *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. Boca Raton: CRC Press.
- Hart, M. (2014). *EVALUATING UNITED STATES AND WORLD CONSUMPTION OF NEODYMIUM, DYSPROSIUM, TERBIUM, AND PRASEODYMIUM*. Golden: Colorado School of Mines.
- Iamgold. (1999). RARE EARTH ELEMENTS 101. Toronto, BC, Canada.
- Iñigo Vegas, K. B. (2014). Upgrading the quality of mixed recycled aggregates from construction an demolition by using near infrared sorting . *Construction and Building Materials* 75 (2015) , 121–128.
- J.Mendo. (2009). *DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DUODECENAL (2010 - 2030) DE GEOLOGIA*. Brasília: MME.
- K.A.Gsheneidner, L. R. (1999). Handbook on the physics and chemistry of rare earths. Elsevier.
- Karan Girotra, S. N. (2015). Gestão de Riscos nos modelos de negócios. Em S. N. Karan Girotra, *Gestão de Riscos nos modelos de negócios* (p. 2). Rio de Janeiro: Campus.

- Kean, A. (2 de 4 de 2014). <https://www2.snل.com e www.minineracaoserraverde.com.br>.  
Fonte: Mineração Serra Verde:  
<https://www2.snل.com/Interactivex/article.aspx?CdId=A-27617722-11823>
- Lapido-Loureiro, F. E. (2013). *O BRASIL E A REGLOBALIZAÇÃO*. RJ: CETEM / MCTI.
- Larry Bossidy, R. c. (2010). *Execução*. Rio de Janeiro: Campus.
- M.E.Porter. (1985). *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. NY: Free Press.
- McDonald, M. (4 de Julho de 2015). *Lessons From The Failed Rare Earth Investment Hype*.  
Fonte: Yahoo Finance: <http://finance.yahoo.com/news/lessons-failed-rare-earth-investment-000000144.html>
- McKinsey & Company Inc., T. C. (2012). *Avaliação de Empresas - Valuation - .* São Paulo: Pearson Education.
- mineralprices.com. (16 de Junho de 2015). [www.mineralprices.com](http://www.mineralprices.com). Fonte:  
[www.mineralprices.com](http://www.mineralprices.com): <http://www.mineralprices.com>
- Miningweekly, H. L. (3 de 11 de 2014). [www.miningweekly.com](http://www.miningweekly.com). Fonte:  
<http://www.miningweekly.com>: <http://www.miningweekly.com/article/msv-aims-to-lead-western-rare-earths-production-with-low-cost-project-2014-03-11>
- P.R. White, M. F. (1995). *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*. Em P. White, *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*. London: Blackwell Science.
- Portal Tributário. (13 de Julho de 2015). [www.portaltributario.com.br](http://www.portaltributario.com.br). Fonte: Portal Tributário: [http://www.portaltributario.com.br/guia/lucro\\_real.html](http://www.portaltributario.com.br/guia/lucro_real.html)
- Porter, M. (1990). *Vantagem Competitiva*. Rio de Janeiro: Campus.
- Rare Earth Resources INC. (2014). *Bear Lodge Project - PFS*. Lakewood Colorado: Sedar - NI43101.
- Receita Federal do Brasil. (14 de Julho de 2015). *Tabela TIP*. Fonte:  
[www.receita.fazenda.gov.br](http://www.receita.fazenda.gov.br):  
<http://www.receita.fazenda.gov.br/Alíquotas/TabIncidIPITiPI.htm>
- Schneider, C. A. (2013). Apresentação Brasil fornecedor mundial de Imãs e outros produtos de terras raras. *Seminário de Terras Raras – Câmara de Deputados* (pp. 23-34). Brasília: Congresso.
- Serra, O. A., \* Lima, J. F., & de Sousa Filho, P. C. (28 de outubro de 2014). *A Luz e as Terras Raras*. Fonte: [www.uff.br/rvq](http://www.uff.br/rvq): <http://www.uff.br/rvq>
- Takehara, L. (2015). *AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE TERRAS RARAS NO BRASIL*. Brasília: Ministério de Minas e energia.
- UNCTAD. (2014). *Commodities at a Glance - Special Issue Rare Earth*. Geneva: UNCTAD.
- US Department of energy (DOE). (2011). *Critical Materials Strategy*. Washington: US Government.
- USGS. (4 de junho de 2015). *Eearthquake.usgs.gov*. Fonte: USGS:  
<http://earthquake.usgs.gov/hazards/about/basics.php>

- USGS. (17 de Junho de 2015). *minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare\_earth*s.  
Fonte: USGS: [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare\\_earth/mcs-2015-raree.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/mcs-2015-raree.pdf)
- VENMYN RAND (PTY). (2013). *A PRELIMINARY ECONOMIC ASSESSMENT - 43101*.
- Vivian W. Y. Tam, C. T. (2005). A review on the viable technology for construction waste recycling. *Resources Conservation & construction waste recycling*, 211-221.
- Wikipédia. (19 de Maio de 2015). *pt.wikipedia.org*. Fonte: Wikipédia:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Risco\\_%28administra%C3%A7%C3%A3o%29](http://pt.wikipedia.org/wiki/Risco_%28administra%C3%A7%C3%A3o%29)
- Yahoo Finance. (11 de 8 de 2015). Fonte: Yahoo Finance:  
<http://finance.yahoo.com/q?s=LYC.AX>
- Yahoo Finance. (08 de Julho de 2015). *Chigago Board Option Exchange - Trasury yield 30 years* . Fonte: Yahoo Finance: [finance.yahoo.com](http://finance.yahoo.com)