

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**ALBERTO PAVLICK CAETANI**

**USO DE MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE ESTRATÉGIA DE  
RECONVERSÃO INDUSTRIAL EM UMA REFINARIA DE PETRÓLEO**

**Porto Alegre**

**2014**

**ALBERTO PAVLICK CAETANI**

**USO DE MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE ESTRATÉGIA DE  
RECONVERSÃO INDUSTRIAL EM UMA REFINARIA DE PETRÓLEO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração.

**Orientador: Prof. Dr. Denis Borenstein**

**Porto Alegre**

**2014**

### CIP - Catalogação na Publicação

Caetani, Alberto Pavlick

Uso de método multicritério para seleção de estratégia de reconversão industrial em uma refinaria de petróleo / Alberto Pavlick Caetani. -- 2014.

131 f.

Orientador: Denis Borenstein.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração, Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. Decisão multicritério. 2. Fuzzy TOPSIS. 3. Programação linear. 4. Sustentabilidade empresarial.  
I. Borenstein, Denis, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**ALBERTO PAVLICK CAETANI**

**USO DE MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE ESTRATÉGIA DE  
RECONVERSÃO INDUSTRIAL EM UMA REFINARIA DE PETRÓLEO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração.

**Orientador: Prof. Dr. Denis Borenstein**

Aprovada em: 16 de Junho de 2014

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. João Luiz Becker**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Denise Lindstrom Bandeira**

---

**Prof. Dr Michel Anzanello**

**Porto Alegre**

**2014**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao PPGA, funcionários e professores, pelo suporte indispensável.

Ao professor Denis Borenstein, pela orientação sempre objetiva e relevante.

Aos colegas Gabriel, Guilherme, Leonardo e Pablo, pela parceria.

A Refinaria de Petróleo Riograndense, principalmente na pessoa de seu diretor superintendente, Hamilton Romanato Ribeiro, pela disponibilidade e colaboração, sem as quais teria sido impossível o desenvolvimento deste trabalho.

E, em especial, à minha esposa e filhos, por seu carinho e compreensão.

## RESUMO

Este trabalho apresenta o processo de seleção de estratégia de reconversão industrial de uma pequena refinaria de petróleo no Sul do Brasil através da aplicação de uma modelagem integrada, utilizando um método multicritério e programação matemática. Neste estudo foram identificadas linhas de negócio potencialmente aplicáveis à realidade da companhia e definido um conjunto de critérios de análise abrangendo as três dimensões da sustentabilidade empresarial: econômica, social e ambiental. Com base na avaliação da importância relativa de cada critério, atribuída por um grupo de decisores, e no desempenho das linhas de negócio em cada um dos critérios, foi aplicado método *fuzzy* TOPSIS para análise e ordenação das linhas de negócio. As informações resultantes desta análise, juntamente com dados econômicos objetivos, foram utilizadas em um modelo de programação linear inteira para avaliar portfólios viáveis de linhas de negócio, identificando estratégias candidatas à implementação na refinaria. O desempenho global de cada estratégia candidata, obtido mediante agregação dos desempenhos individuais das linhas de negócio e calculado conforme método *fuzzy* TOPSIS, foi analisado através de ferramentas gráficas, de modo a gerar elementos para subsidiar a seleção da melhor estratégia de reconversão. Os resultados obtidos demonstraram a eficiência da abordagem proposta, no sentido de facilitar o entendimento e a exploração da situação problema e, assim, oferecer um adequado suporte à tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Decisão multicritério, Fuzzy TOPSIS, Programação linear, Sustentabilidade empresarial.

## ABSTRACT

This dissertation presents a selection process of industrial reconversion strategy in a small oil refinery in southern Brazil by applying an integrated modeling approach, using a multi-criteria and a mathematical programming method. Potentially performing business lines were identified, as well a set of criteria covering the three dimensions of corporate sustainability: economic, social and environmental. Based on the relative importance evaluation of each criteria given by a group of decision-makers, and on performance of the business lines in each of the criteria, *fuzzy* TOPSIS method was applied for analysis and sorting of business lines. The information resulting from this analysis, along with objective economic data, were used in integer linear programming model to evaluate effective portfolios of business lines, identifying candidate strategies to implement in the refinery. Fuzzy TOPSIS is used to generate overall performance scores of each candidate strategy, aggregating the individual performance of the business lines. The sustainability assessment was analyzed through graphical tools in order to generate information to support the selection of the best strategy for the industrial reconversion. The results demonstrated the efficiency of the proposed approach to facilitate the understanding and exploitation of the problem situation and thus offer adequate support to decision making.

**Keywords:** Multicriteria decision making, Fuzzy TOPSIS, Linear programming, Corporate Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Processo de MCDA .....	27
Figura 2 – Etapas do método .....	36
Figura 3 – Exemplo de variável linguística .....	42
Figura 4 – Número <i>fuzzy</i> .....	45
Figura 5 – Número <i>fuzzy</i> triangular .....	45
Figura 6 – Esquema de ajuste de valores agregados .....	53
Figura 7 - Identificação de elemento na matriz de geração de alternativas .....	56
Quadro 1 – Importância dos critérios .....	67
Figura 8 – Etapas da solução do modelo .....	68
Figura 9 – Tela do modelo em MS-Excel .....	78
Quadro 2 – Descrição das estratégias candidatas .....	81
Figura 10 – Etapas para a seleção de estratégia .....	82
Figura 11 - Gráfico Benefícios x Riscos ... ..	92
Figura 12 – Gráfico Benefício econômico x Benefício socioambiental .....	93
Figura 13 – Gráfico VPL x VPI .....	94
Figura 14 – Gráfico Benefícios x Quantidade de linhas de negócio .....	94
Figura 15 - Gráfico Preferências dos decisores .....	96



## LISTA DE TABELAS <sup>1</sup>

Tabela 1 – Variável desempenho (benefícios).....	43
Tabela 2 – Variável exposição ao risco .....	43
Tabela 3 – Variável importância.....	44
Tabela 4 – Variável desempenho (expandida).....	52
Tabela 5 – Coeficientes de correlação (critérios econômicos) .....	62
Tabela 6 – Coeficientes de correlação (critérios sociais) .....	63
Tabela 7 – Coeficientes de correlação (critérios ambientais) .....	63
Tabela 8 – Avaliação das linhas de negócio .....	69
Tabela 9 – Matriz de decisão <i>fuzzy</i> .....	69
Tabela 10 – Importância dos critérios: escores individuais e agregados .....	70
Tabela 11 – Matriz de decisão normalizada .....	71
Tabela 12 - Matriz de decisão normalizada e ponderada .....	72
Tabela 13 – Soluções ideais positiva e negativa .....	73
Tabela 14 – Distâncias em relação às soluções ideais (positiva e negativa) .....	75
Tabela 15 – Dados básicos das linhas de negócio .....	77
Tabela 16 – Cenários de análise .....	78
Tabela 17 – Escores agregados das estratégias (valor médio).....	85
Tabela 18 – Escores agregados das estratégias (valor ajustado) .....	85
Tabela 19 – Escores agregados (valor ajustado) normalizados .....	87
Tabela 20 – Escores agregados (valor ajustado) normalizados e ponderados .....	87
Tabela 21 – Soluções ideais (estratégias).....	88
Tabela 22 – Distâncias das estratégias candidatas para solução ideal .....	88
Tabela 23 – Ranking das estratégias .....	89
Tabela 24 – Dados básicos das estratégias .....	91
Tabela 25 – Ranking por decisor (linhas de negócio) .....	97
Tabela 26 – Ranking por decisor (estratégias) .....	97
Tabela 27 – Experimentos para análise de sensibilidade .....	99

---

<sup>1</sup> Todas as tabelas foram elaboradas pelo autor.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ELECTRE	<i>ELimination Et Choix Traduisant la REalite</i>
FCA	Fluxo de Caixa Médio Anual
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i>
IR	Índice de Rentabilidade
ISE	Índice de Sustentabilidade Empresarial
MAUT	<i>Multiple Attribute Utility Theory</i>
MCDA	<i>Multiple Criteria Decision Analysis</i>
PLI	Programação Linear Inteira
RPR	Refinaria de Petróleo Riograndense
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
VPI	Valor Presente dos Investimentos
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA .....	15
<b>2 CONTEXTO DO PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
2.1 REFINARIA DE PETRÓLEO RIOGRANDENSE.....	17
2.2 ESTRATÉGIAS DE RECONVERSÃO INDUSTRIAL .....	19
2.3 SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL .....	21
2.4 PROBLEMA DE SELEÇÃO DE ESTRATÉGIAS .....	23
2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CONTEXTO DO PROBLEMA .....	25
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>26</b>
3.1 MÉTODOS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA APOIO À DECISÃO.....	26
3.2 TRABALHOS ANTERIORES.....	30
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
4.1 SELEÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO .....	39
4.2 MÉTODO <i>FUZZY</i> TOPSIS .....	41
<b>4.2.1 Variáveis linguísticas.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.2 Números <i>fuzzy</i> .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2.3 Descrição do método <i>fuzzy</i> TOPSIS.....</b>	<b>46</b>
4.3 MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	49
4.4 AVALIAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS (DESEMPENHO AGREGADO).....	51
<b>5 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>54</b>
5.1 ATORES NO PROCESSO DECISÓRIO .....	54
5.2 FORMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS .....	55
5.3 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS.....	59
5.4 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS ALTERNATIVAS .....	64
5.5 PONDERAÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS CRITÉRIOS .....	65
<b>6 SOLUÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>68</b>
6.1 ANÁLISE DE LINHAS DE NEGÓCIO COM O MÉTODO <i>FUZZY</i> -TOPSIS .....	68

6.2 IDENTIFICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS CANDIDATAS .....	76
6.3 SELEÇÃO DA MELHOR ESTRATÉGIA.....	82
<b>6.3.1 Agregação de desempenhos .....</b>	<b>83</b>
<b>6.3.2 Análise das estratégias através do método <i>fuzzy</i> TOPSIS .....</b>	<b>84</b>
<b>6.3.3 Análise por Instrumentos Gráficos.....</b>	<b>90</b>
<b>7. VALIDAÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>95</b>
7.1 VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE PREFERÊNCIAS .....	96
7.2 EXPLORAÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS CRITÉRIOS.....	98
7.3 VALIDAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO .....	100
<b>8 IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO.....</b>	<b>102</b>
<b>9 CONCLUSÕES.....</b>	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO A – QUADRO DE LINHAS DE NEGÓCIO .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO B – QUADRO IDENTIDADE DOS CRITÉRIOS .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO C – FORMULARIO PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS .....</b>	<b>130</b>
<b>ANEXO D – RESULTADOS DO MODELO PLI.....</b>	<b>131</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As decisões relativas à estratégia das organizações envolvem alto grau de incerteza acerca do ambiente e mesmo dos valores organizacionais, potencial sinergia entre as diferentes opções e a necessidade de estimar consequências no longo prazo, requerendo negociações entre diferentes grupos de interesse em torno do objetivo de garantir não apenas a rentabilidade, mas também a sustentabilidade do negócio. Dyllick e Hockerts (2002) posicionam a sustentabilidade corporativa a partir de um contexto de interdependência dos sistemas econômico, social e ambiental, constituindo três pilares da sustentabilidade (*triple bottom line*). Esse conceito, proposto por Elkington (1998), enuncia que os impactos, positivos ou negativos, das empresas, nas áreas econômica, social e ambiental, devem ser analisados de forma integrada, ou seja, as empresas devem considerar tanto suas relações no âmbito do mercado, como também os efeitos da atividade econômica sobre seu entorno mais amplo. O conceito de sustentabilidade empresarial pressupõe, portanto, a inserção dos aspectos socioambientais no modelo de negócios das empresas, tanto na definição da estratégia quanto na sua dinâmica operacional.

Na medida em que a definição de estratégias adequadas é essencial para a sobrevivência das organizações, as técnicas de análise multicritério configuram-se em importante ferramenta de suporte ao processo de tomada de decisão estratégica, pois, além do suporte matemático, proveem meios para o adequado entendimento do problema, avaliação das alternativas em função de um conjunto de critérios e considerando o sistema de preferências dos decisores, além de facilitar a comunicação dos resultados.

Este estudo aborda a aplicação de abordagem de decisão multicritério para a seleção de estratégias de reconversão industrial de uma refinaria de petróleo no RS. Decisões deste tipo envolvem alta complexidade e sua efetividade requer estudos detalhados no nível operacional, demandando tempo e recursos. Em função das múltiplas possibilidades que se apresentam viáveis e dada a impossibilidade de analisar todas as possibilidades, o objetivo deste estudo é gerar um conjunto de alternativas a ser explorado antes de uma decisão final. Por reconversão industrial entende-se uma reestruturação de grande porte, com redução ou eliminação de atividades produtivas obsoletas ou não competitivas (BUSTOS, 1992) através da transformação radical dos atributos e dos efeitos gerados pela empresa.

A indiscutível importância regional da Refinaria de Petróleo Riograndense, tanto no sentido econômico (além dos 400 empregos diretos, gera cerca de 1.200 empregos indiretos

na região e é responsável por expressiva parcela da arrecadação fiscal do município de Rio Grande, RS) quanto sociocultural, expande a análise de sua viabilidade para além da simples lógica econômica.

A estruturação do problema foi realizada a partir do processo de discussão e planejamento estratégico em andamento na empresa sob análise, de modo a construir um modelo de decisão representativo dos objetivos, alternativas, critérios e sistemas de preferência envolvidos. Para solução do modelo foi aplicado o método de análise multicritério *Fuzzy TOPSIS* (do inglês, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*, ou técnica para avaliar o desempenho das alternativas através da similaridade com a solução ideal). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de sensibilidade, de modo a verificar impactos de variações possíveis nos parâmetros utilizados e em aspectos críticos do método, avaliando-se oportunidades de melhorias no modelo desenvolvido, bem como consolidando o entendimento sobre o problema analisado, subsidiando a apresentação de recomendações relativas à solução do problema, assim como elementos quantitativos e qualitativos suficientes para justificar a decisão requerida.

A dissertação está organizada conforme segue. Inicialmente são apresentados os objetivos e justificativa do estudo, assim como uma breve descrição da Refinaria de Petróleo Riograndense. Na revisão da literatura são apresentados os principais conceitos e métodos de análise multicritério, assim como trabalhos relevantes envolvendo a aplicação de métodos multicriteriais em problemas de caráter estratégico, como a seleção de portfólio de projetos. No capítulo quatro são descritas as etapas da metodologia aplicada, destacando o método TOPSIS, utilizado neste estudo. No quinto e sexto capítulos são apresentados, respectivamente, os procedimentos de estruturação e solução do modelo. No capítulo sete são descritas as ações executadas para validar o modelo desenvolvido. No capítulo oito são discutidos os resultados obtidos e como os mesmos podem ser utilizados para qualificar a decisão relativa à seleção da estratégia de reconversão industrial. No último capítulo são apresentadas as considerações finais sobre o estudo, destacando suas limitações e sugestões de trabalhos futuros.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver modelo multicriterial para seleção de estratégia de reconversão industrial de uma refinaria de petróleo em situação de crise, de modo a assegurar a continuidade empresarial sustentável da companhia.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) identificar linhas de negócio potencialmente aplicáveis na reconversão industrial da Refinaria de Petróleo Riograndense (RPR);
- b) definir conjunto de critérios significativos para a tomada de decisão;
- c) apresentar alternativas de estratégias que viabilizem a continuidade das atividades industriais da RPR;
- d) avaliar cada uma das estratégias de reconversão em relação ao conjunto de critérios, devidamente ponderados conforme sua importância relativa, através de método de análise de decisão multicriterial;
- e) verificar a consistência dos resultados apresentados, validando o modelo de decisão e os procedimentos implementados;
- f) apresentar recomendações e outros elementos qualitativos relevantes para subsidiar a decisão sobre a reconversão industrial da RPR.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A aplicação de metodologia estruturada de análise multicriterial afeta positivamente a governança do processo decisório nas organizações, qualificando as decisões e facilitando a negociação com todas as partes interessadas. Pesquisa realizada por Cooper *et al.* (2001) com 205 indústrias de grande porte nos EUA confirmou que o uso de ferramentas para seleção de projetos, além de melhores resultados financeiros, proporciona outros benefícios, tais como o

estabelecimento de uma base comum para discussão de projetos, maior consistência das análises, incremento das sinergias internas e maior alinhamento estratégico. No entanto, conforme Archer e Ghasemzadeh (1999) e Solak *et al.* (2010), as técnicas desenvolvidas para estimar, avaliar e selecionar portfólios de projetos têm sido pouco aplicadas em situações reais das organizações, tanto em função da complexidade, quanto da dificuldade de obtenção das informações requeridas ou, ainda, pela incapacidade de tratar, adequadamente, aspectos de interdependência entre alternativas. Em muitas situações, os decisores privilegiam procedimentos de decisão simplificados em função da falta de tempo, aversão a métodos mais elaborados ou ainda pelo compromisso com práticas organizacionais tradicionais (BASTIANI *et al.*, 2013). Especificamente em relação a empresas nacionais de capital intensivo, no setor químico e petroquímico, Padovani, Carvalho e Muscat (2010) identificaram importante lacuna na literatura relativa à aplicação de técnicas para seleção e priorização de projetos de investimentos.

A relevância do estudo proposto consiste na oportunidade de apoiar o processo decisório relativo à reconversão industrial da Refinaria de Petróleo Riograndense, apresentando um conjunto coerente e estruturado de resultados, construído através da interação com os decisores, considerando os objetivos e os pontos de vista das partes interessadas, tornando explícitos os inevitáveis *trade-offs* aplicáveis à solução do problema. Adicionalmente pretende demonstrar a aplicabilidade de métodos de análise multicritério para apoiar o processo de decisão relativo à avaliação e seleção de estratégias, mesmo em um estágio preliminar de conhecimento, possibilitando ampliar o leque de alternativas a serem consideradas, sem onerar excessivamente os atores envolvidos.



## 2 CONTEXTO DO PROBLEMA

Nesta seção são avaliados os principais aspectos que envolvem a decisão problema objeto deste estudo. Inicialmente apresenta-se a Refinaria de Petróleo Riograndense, incluindo breve histórico e situação atual. A reconversão industrial, enquanto processo de transformação radical, é discutida em seus condicionantes principais, internos e externos às empresas. A sustentabilidade empresarial, em seus pilares econômicos, sociais e ambientais, é apresentada como elemento determinante para os processos decisórios nas empresas. Finalmente, o problema de seleção de estratégias de reconversão industrial é definido em termos de modelos de análise e seleção de portfólios de projetos.

### 2.1 REFINARIA DE PETRÓLEO RIOGRANDENSE

Fundada em 1934 em Uruguaiana, a então Refinaria de Petróleo IPIRANGA foi a primeira indústria de petróleo do Brasil, transferindo-se para Rio Grande três anos depois, em 1937, devido a problemas na obtenção de matéria-prima. As restrições no fornecimento de petróleo, que acompanhariam a empresa em diversos momentos de sua história, tornaram-se críticas durante a Segunda Guerra Mundial. A promulgação, em 1953, da Lei 2004, que criou o monopólio estatal da produção e refino de petróleo, embora permitisse a continuidade das operações das refinarias privadas, proibiu aumentos na capacidade de produção, fazendo com que, até meados de 1997, a refinaria de Rio Grande operasse com a mesma capacidade de produção da década de 1950.

As restrições do monopólio, por sua vez, levaram a empresa a diversificar seus negócios, criando uma distribuidora de combustíveis (1957), indústria de fertilizantes (1965), adquirindo indústrias químicas (1975), além de incursões em áreas diversas como processamento de dados, escritório de seguros, hotelaria e transportes. A partir da década de 1990, a empresa voltou a concentrar suas operações no setor de petróleo, desfazendo-se dos negócios paralelos e reforçando sua participação no ramo de distribuição de combustíveis e petroquímica, de modo que a refinaria passou a ter contribuição marginal (menos de 2%) para o faturamento total do grupo.

Após a flexibilização do monopólio, a Refinaria de Petróleo Ipiranga pôde, então, aumentar sua capacidade de produção em 30%, passando a processar 12.500 barris/dia em 1997, posteriormente ampliada para 17.000 barris/dia em 2002. Em 2004, a escalada dos preços do petróleo e o não-acompanhamento dos preços dos combustíveis no mercado interno tornaram praticamente inviáveis a atividade de refino privado no Brasil, culminando com paralisações temporárias ao longo de 2005 e 2006, e uma ampla mobilização política e social (RIO GRANDE DO SUL, 2006). Em 2006, a Refinaria de Petróleo Ipiranga assinou com o governo gaúcho um protocolo que assegurou vantagens tributárias para a produção de nafta petroquímica, permitindo à refinaria retomar suas atividades e, com a produção local de produto anteriormente adquirido fora do Estado, aumentar a arrecadação tributária do RS.

Em 2007, com a transferência do controle acionário do Grupo Ipiranga para Petrobras, Braskem e Ultra, a refinaria voltou a ser uma empresa individualizada, agora denominada REFINARIA DE PETROLEO RIOGRANDENSE (RPR). Na divisão dos ativos do Grupo Ipiranga, a refinaria foi igualmente repartida entre os três sócios, que assumiram o compromisso de

[...] assegurar a continuidade operacional sustentável de uma empresa de refino de petróleo, de pequeno porte para os padrões da indústria, não integrada verticalmente e que não faz parte de um conglomerado empresarial, em um cenário extremamente adverso para a rentabilidade e a lucratividade da atividade de refino da indústria do petróleo (RIBEIRO, 2012, p. 54)

Como alternativa às condições proibitivas decorrentes dos altos custos do petróleo, a RPR firmou contrato de industrialização com a Petrobras, no qual a Petrobras entrega matéria-prima (petróleo) de sua propriedade, a RPR processa e entrega os combustíveis produzidos, cobrando pelo serviço de refino. Este contrato viabilizou a continuidade das operações da refinaria e possibilitou à Petrobras aumentar sua produção de derivados de petróleo para atender o mercado interno.

Em relação à capacidade de refino, a capacidade de produção da RPR corresponde a pouco mais de 1% do volume processado no país. A RPR abastece cerca de 10% do volume total dos derivados de petróleo do RS, sendo responsável por 8,0% na Gasolina, 10,5% no Óleo Diesel, 23,0% no Óleo Combustível, 3,0% no GLP, 1,5% na Nafta Petroquímica e 73,0% na Aguarrás. Em 2012, concluiu a montagem de uma nova Unidade de Solventes que transformou a refinaria na única fabricante nacional de pentanos, importante insumo para a indústria química e petroquímica.

Mesmo que, nos últimos quatro anos, a RPR tenha apresentado resultados econômicos positivos, suas perspectivas de médio prazo não são promissoras, visto que suas instalações

industriais são incompatíveis com as novas especificações de combustíveis que passaram a vigorar no Brasil em 2014. Dessa forma, os contratos de industrialização perderão sua função de abastecimento do mercado interno, comprometendo seriamente a continuidade das operações da refinaria e, por consequência, gerando graves impactos para a economia da região.

A configuração de um cenário de crise motivou a diretoria da RPR a iniciar processo de revisão de sua estratégia empresarial, cuja discussão passa, necessariamente, pela avaliação de alternativas de reconversão industrial. Alternativas de solução foram discutidas a partir de *workshops* de estratégia, coordenados pela Diretoria da RPR e facilitados por consultor externo, realizados anteriormente ao início deste estudo. A análise estratégica foi consolidada em uma matriz SWOT construída para cada área de atuação compatível com as potencialidades identificadas na RPR, identificando pontos fortes e fracos de suas competências e ativos industriais, assim como as ameaças e oportunidades relacionadas ao contexto socioeconômico. Nestes seminários de estratégia foram analisadas as seguintes áreas de atuação: refino de petróleo, distribuição de derivados, logística, tratamento de resíduos e efluentes, reciclagem e bioprocessamento. O conjunto destas atividades, potencialmente aplicáveis à RPR, constitui o insumo básico para a análise e seleção da sua estratégia de reconversão industrial.

## 2.2 ESTRATÉGIAS DE RECONVERSÃO INDUSTRIAL

No contexto deste estudo, entende-se estratégia como um conjunto de decisões relativas à obtenção de vantagens competitivas sustentáveis, a partir da seleção e configuração de atividades que possam agregar valor real ao negócio. Conforme Porter (1996), as empresas devem compreender que estratégia é essencialmente definir o que não fazer, ou seja, estratégia envolve necessariamente *tradeoffs* (escolhas). Neste sentido uma estratégia de reconversão industrial deve identificar linhas de negócio viáveis, assegurando a consistência dos investimentos requeridos com a estratégia global da empresa e buscando as sinergias, internas e externas, necessárias à otimização dos recursos. Diferente de um novo empreendimento, a reconversão caracteriza-se por buscar um melhor aproveitamento de um ativo industrial existente através da modernização, expansão ou ainda desativação de linhas de

produção, bem como implantação de unidades industriais, gerando um novo modelo de negócio.

Carr, Kolehmainen e Mitchell (2010), avaliando diferenças nas práticas relativas a decisões sobre investimentos estratégicos, identificaram a existência de diferenças substanciais na forma com que as empresas, dependendo de sua situação contingencial, buscam avaliar seus investimentos, especialmente em relação à ênfase dada a aspectos estratégicos *versus* financeiros, rigidez na análise financeira e incorporação de variáveis qualitativas, tais como sinergias, no processo de avaliação. Neste sentido, o modelo de decisão a ser construído para avaliação de decisões estratégicas deve fornecer os elementos de análise requeridos para a situação específica da empresa.

Situações de crise extrema em indústrias, nas quais tanto as atividades-fim (*core business*) quanto os ativos estão sob ameaça de obsolescência, requerem a implementação de um processo de mudança radical e reestruturação produtiva (MCGAHAN, 2004). Conforme Gonçalves (1998), diante da constatação da existência de potenciais mínimos de capacitação competitiva, setores em declínio ou ameaçados devem buscar, como alternativas de reestruturação, alteração dos nichos de mercado explorados, o enobrecimento da pauta de produção e a incorporação de níveis mais elevados de densidade tecnológica. Transformações produtivas de grande porte demandam expressivos investimentos que podem ser viabilizados tanto através do mercado de capitais, quanto em virtude de alterações patrimoniais (aquisições e fusões), mas, principalmente, através de programas de financiamento de bancos e órgãos de fomento governamentais. Se, na última década, o crescimento industrial no Brasil tem-se caracterizado por uma crescente heterogeneidade e fragmentação geográfica, isso se deve, em grande parte, à incorporação de fatores sócio-políticos nas decisões de investimentos (CARDOZO, 2010).

No caso do Rio Grande do Sul, setores industriais considerados estratégicos são objeto de políticas setoriais específicas, incluindo, entre outras, as áreas de biocombustíveis e reciclagem e despoluição. Embora recente no RS (início das atividades em 2007), a indústria de biocombustíveis já é responsável por impactos significativos na economia regional, contribuindo com a geração de postos de trabalho, renda, atração de investimentos e expansão de culturas agrícolas alternativas. Além do potencial de expansão do mercado regional, existem oportunidades no mercado externo, especialmente europeu. O desenvolvimento do setor de reciclagem e despoluição está fortemente vinculado à Política Nacional de Resíduos Sólidos, cujas determinações geram oportunidades de inserção industrial das tecnologias de

reciclagem, tanto como processo autônomo de produção, como na reintrodução direta de resíduos nas linhas tradicionais de produção.

Neste contexto, o papel do Estado é essencial para reduzir as incertezas dos agentes econômicos e incentivar processos de reindustrialização de modo sustentável. Conforme Oliveira e Proni (2007, p. 102), “o grande indutor da descentralização produtiva foi a concessão por parte de estados e municípios de vultosos benefícios para a atração de grandes empreendimentos”, incluindo obras de infraestrutura, a doação de terrenos, a isenção de tributos, a concessão de crédito subsidiado, entre outras. Através de ações pontuais ou resultado de uma política industrial estruturada, os governos têm buscado o fortalecimento de determinados setores industriais através da implantação de programas e projetos específicos, considerando geração de renda patrocinada pelo setor, arrecadação de impostos, nível de investimentos, agregação de valor na produção, potencial de desconcentração e alocação em regiões deprimidas ou potencial demandante de atualização tecnológica, entre outros (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

A política industrial do Estado do Rio Grande do Sul está, portanto, diretamente associada a práticas de sustentabilidade social e ambiental e, entre outras vantagens, o enquadramento dos projetos de implantação ou expansão industrial nos setores enquadrados como estratégicos pode garantir acesso a linhas de financiamento, tanto no sistema financeiro estadual (Badesul, Banrisul e BRDE), quanto recursos federais através do BNDES e FINEP. Dessa forma, torna-se cada vez mais interessante, sob o ponto de vista empresarial, incluir, além dos tradicionais indicadores de viabilidade econômica, critérios de sustentabilidade na avaliação dos projetos de investimentos.

### 2.3 SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL

Ao transpor o conceito de sustentabilidade, inicialmente enunciado em uma dimensão global, para o âmbito empresarial, Dyllick e Hockerts (2002) conceituam sustentabilidade corporativa como a satisfação das necessidades de todas as partes interessadas (*stakeholders*), diretas e indiretas, sem o comprometimento da capacidade de satisfazer as necessidades das futuras partes interessadas, considerando, de modo integrado e interdependente, aspectos econômicos, sociais e ambientais, naquilo que Elkington (1998) designou de três pilares da

sustentabilidade (*triple bottom line*). Esse conceito enuncia que os impactos, positivos ou negativos, das empresas, nas áreas econômica, social e ambiental, devem ser analisados de forma integrada, ou seja, as empresas devem considerar tanto suas relações no âmbito do mercado, como também os efeitos da atividade econômica sobre seu entorno mais amplo. O conceito de sustentabilidade empresarial pressupõe, portanto, a inserção dos aspectos socioambientais no modelo de negócios das empresas, tanto na definição da estratégia quanto na sua dinâmica operacional.

As grandes indústrias, tanto em função de sua importância econômica, como de seus impactos em relação ao fluxo de materiais e energia, são parte fundamental dentro do processo de desenvolvimento sustentável (AZAPAGIC; PERDAN, 2000). Ao mesmo tempo em que a industrialização atua como importante vetor de desenvolvimento, na medida em que articula a economia através de redes de fornecedores e contribui para a geração de conhecimento tecnológico (CASTEL-BRANCO, 2003), o processo de desindustrialização constitui um drama econômico e social que não pode ser ignorado, afetando tanto indústrias consolidadas na Europa e Estados Unidos, como plantas em países de industrialização mais recente (HASSINK; SHIN, 2005). A perspectiva de sérias repercussões negativas para as regiões afetadas faz com que a lógica de mercado não seja a única força determinante no processo de reestruturação de indústrias em situação de crise, requerendo uma nova postura dos agentes econômicos e das forças políticas e sociais, a fim de viabilizar a manutenção da atividade econômica em condições sustentáveis. Para Savitz e Weber (2007) uma empresa sustentável deve ser capaz de, simultaneamente, gerar lucro para seus acionistas, minimizar impactos sobre o ambiente e contribuir para melhorias na comunidade onde está inserida, consolidando uma visão de negócio a partir dos três pilares da sustentabilidade (DYLLICK; HOCKERTS, 2002; STEURER *et al.*, 2005). O reconhecimento desta condição como eixo de negócio está presente no posicionamento estratégico, tanto da RPR, como de seus grupos controladores (PETROBRAS, BRASKEM e ULTRA), todos integrantes do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE), da BM&F e BOVESPA, composto por empresas com reconhecido comprometimento com a responsabilidade socioambiental, governança corporativa e sustentabilidade empresarial.

Embora conceitualmente simples, mensurações relativas ao nível de sustentabilidade representam um importante desafio para sociedades ou organizações (AZAPAGIC; PERDAN, 2000). Zamcopé, Ensslin e Ensslin (2012) identificaram cinco modelos, três internacionais e dois nacionais, amplamente utilizados na avaliação da sustentabilidade corporativa: *Dow Jones Sustainability Indexes* (DJSI), FTSE4Good Index, Índice de

Sustentabilidade Empresarial (ISE), *Global Reporting Initiative* (GRI), e Indicadores Ethos de Responsabilidade Social (IERS). Os três primeiros índices possibilitam comparações objetivas entre organizações, enquanto que o GRI e IERS caracterizam-se como instrumentos de apoio à gestão, definindo diretrizes para elaboração dos relatórios de sustentabilidade e parâmetros de autodiagnóstico.

De qualquer modo, avaliações relativas à sustentabilidade são processos complexos, na medida em que envolvem variáveis qualitativas e quantitativas, diferentes escalas, utilizando critérios muitas vezes não claramente definidos e comumente conflitantes entre si.

## 2.4 PROBLEMA DE SELEÇÃO DE ESTRATÉGIAS

Conforme Dietrich e Lehtonen (2005), as estratégias são implementadas por meio de projetos. O problema da seleção de estratégias pode ser, então, formulado nos termos da problemática de portfólio, definida por Belton e Stewart (2002) como a seleção de um conjunto de alternativas, a partir de um conjunto amplo de possibilidades, considerando não apenas as características de cada alternativa, mas também suas interações e consequentes sinergias (positivas e negativas).

No caso de estratégias industriais, as alternativas potencialmente aplicáveis requerem, para sua implementação, coordenação de recursos e a execução de diferentes empreendimentos organizados em projetos.

[...] Nem todos os projetos são viáveis e mesmo entre aqueles que o são, recursos limitados (pessoas, tempo, dinheiro e equipamentos) devem ser aplicados de modo criterioso. O objetivo do processo de seleção de projetos é analisar a viabilidade dos projetos, aprovando ou rejeitando-os com base em critérios estabelecidos, seguindo um conjunto estruturado de etapas e pontos de verificação (AMIRI, 2010, p. 6218).

Enquanto parte relevante das decisões estratégicas, a seleção e priorização de projetos é um processo complexo, caracterizado por múltiplos e conflitantes objetivos, normalmente de difícil mensuração, e por incertezas decorrentes de informações incompletas e imprecisas (DUTRA; RIBEIRO; CARVALHO, 2014), considerando aspectos relacionados às preferências dos decisores, limitações orçamentárias, condicionantes técnicos e estratégicos e interdependência entre projetos (RABANNI; BAJESTANI; KHOSHKOU, 2010).

Decisões de caráter estratégico são, normalmente, tomadas por grupos de gestores que buscam associar seus valores e critérios com avaliações técnicas de desempenho (STEWART, 2013), considerando, em maior ou menor grau, as perspectivas das diferentes partes interessadas com interesses e objetivos potencialmente conflitantes. Campos (2011) identifica duas situações envolvendo análise de decisão em grupo, diferenciadas em relação à existência, ou não, de interação dos participantes como meio de sintetizar valores e preferências. No caso de um grupo de pessoas com uma mesma estrutura de valores e interesses comuns, torna-se possível obter níveis de consenso através da interação dos participantes. Obtido o consenso, as decisões em grupo podem ser tratadas de modo similar às decisões individuais (MENDOZA; MARTINS, 2006). No entanto, no caso de envolvimento de múltiplas perspectivas ou pessoas geograficamente distantes, torna-se necessário utilizar procedimentos de agregação matemática dos valores relativos a julgamentos e prioridades (ISHIZAKA; LABIB, 2011). Peniwati (2007) destaca a necessidade de que os métodos orientados à decisão em grupo sejam “aplicáveis” (razoavelmente práticos), cientificamente válidos e reflitam com fidedignidade os julgamentos dos atores envolvidos. Abordagens do tipo “caixa-preta”, utilizando parâmetros técnicos sem um claro senso econômico ou empresarial, devem ser evitadas, de modo que o método aplicado possa ser facilmente compreendido pelo tomador de decisão (BRIGGS; KUNSCH; MARESCHAL, 1990).

Técnicas tradicionais de seleção de projetos focam essencialmente na análise de aspectos financeiros, tais como fluxo de caixa descontado, valor presente líquido, retorno de investimento e prazo de retorno do investimento (REMER; NIETO, 1995). No entanto, este tipo de abordagem, aparentemente rigorosa, muitas vezes não produz os resultados esperados, na medida em que a sofisticação das ferramentas e métodos aplicados excedem a qualidade intrínseca dos dados disponíveis (COOPER *et al.*, 2001). Além disso, essas técnicas, embora essenciais para a análise da viabilidade econômica do empreendimento, ignoram diversos aspectos que, igualmente, influenciam o desempenho e, portanto, devem ser considerados na seleção dos projetos. As decisões relativas a grandes investimentos exigem a incorporação, no processo de análise, de fatores políticos, sociais e ambientais. Dessa forma, metodologias baseadas em técnicas de apoio à decisão multicritério revelam-se adequadas para suportar o processo de seleção de portfólio de projetos (ARCHER; GHASEMZADEH, 1999, KABLI, 2009, PADOVANI; CARVALHO; MUSCAT, 2010, LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2010, VETSCHERA; ALMEIDA, 2012).



## 2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CONTEXTO DO PROBLEMA

A situação da Refinaria de Petróleo Riograndense (RPR), embora muito específica em algumas de suas condições, quer pela indústria na qual se insere, quer por sua história de mais de 75 anos, representa um problema comum a muitas empresas no Brasil e no mundo. Diante de um cenário de grave crise sistêmica, a empresa necessita implementar uma transformação profunda, que, ao mesmo tempo, otimize a utilização de seus ativos e possibilite a superação de suas limitações tecnológicas e empresariais. Mesmo em sistemas econômicos orientados ao mercado, não é mais aceitável que problemas deste tipo sejam analisados através da simples lógica econômica, exigindo-se uma avaliação mais ampla e integrada, incluindo aspectos sociais e ambientais. Dessa forma, os requisitos de sustentabilidade acabam agregando maior complexidade às decisões empresariais, representando um desafio para gestores e controladores e justificando a aplicação de ferramentas de análise multicritérios.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

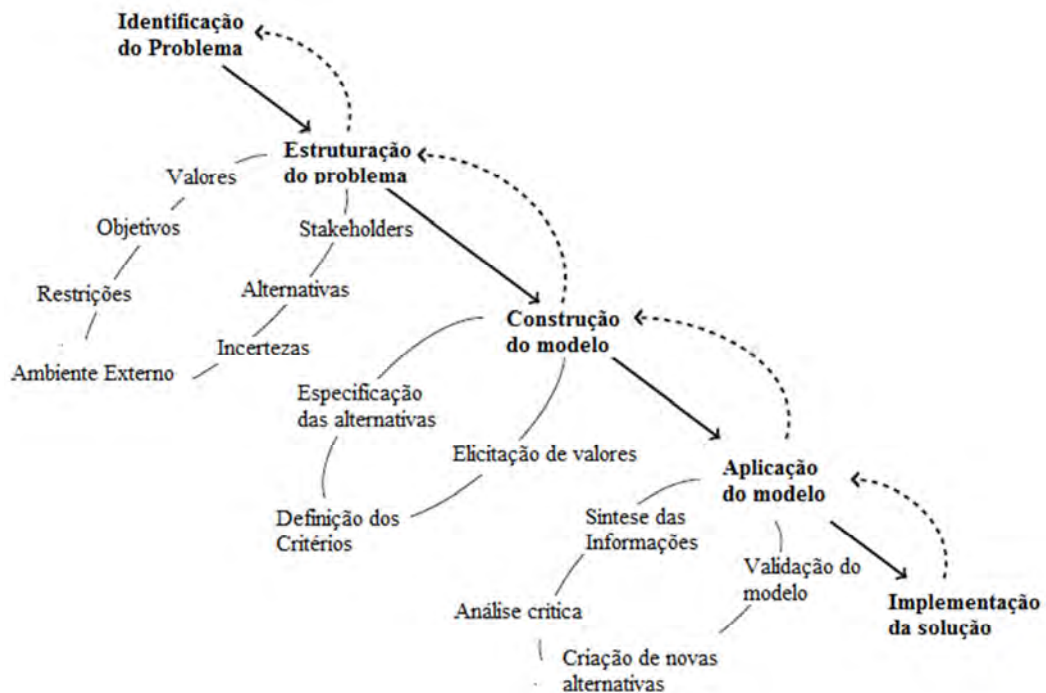
Neste capítulo são apresentados conceitos e principais métodos de análise multicritério, discutindo, em sequência, trabalhos relevantes, publicados nos últimos anos, envolvendo o uso de métodos de análise multicritério para suporte à decisão em problemas de natureza estratégica e relativos à seleção de portfólios de projetos.

#### 3.1 MÉTODOS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA APOIO À DECISÃO

A natureza dos problemas de decisão que se apresentam nas organizações requer, para uma análise estruturada, a aplicação de ferramentas específicas, técnicas e conceitos que possibilite modelar e explorar as informações relativas às preferências dos decisores. Conforme Belton e Stewart (2002), a expressão “*multiple criteria decision analysis*” (MCDA) abrange uma coleção de abordagens formais que visam auxiliar na tomada de decisões envolvendo problemas complexos com informações de múltiplas naturezas, representando diferentes pontos de vista, muitas vezes conflitantes. Mais do que a aplicação de métodos para representar um problema e seu respectivo sistema de preferências e valores, o apoio à decisão constitui “um processo durante o qual um conjunto de artefatos cognitivos é construído através da interação dos atores envolvidos” (BOUYSSOU *et al.*, 2006, p. 401).

Entre os principais artefatos cognitivos destacam-se a representação da situação problema, a formulação do problema, um modelo de avaliação e planos de ação. Neste sentido, conforme Belton e Stewart (2002), o processo de MCDA (figura 1), de caráter não-linear e recursivo, pode ser compreendido em quatro etapas: estruturação do problema, construção do modelo, aplicação do modelo e implementação da solução. Guitouni e Martel (1998) subdividem a construção do modelo em etapas de articulação e modelagem de preferências e agregação das avaliações das alternativas. Bouyssou (1996) apresenta os métodos de MCDA como uma combinação de duas etapas: construção, na qual as alternativas são comparadas em relação ao conjunto de critérios, e exploração, na qual as informações provenientes da etapa anterior são analisadas de modo a subsidiar as recomendações aos decisores.

Figura 1 – Processo de MCDA



Fonte: Adaptada de Belton e Stewart (2002)

Conforme Malczewski (1999), o processo de decisão multicritério envolve seis elementos principais: objetivo (ou conjunto de objetivos), um (ou mais) tomadores de decisão, um conjunto de alternativas (ou cursos de ação), um conjunto de critérios de avaliação através dos quais os tomadores de decisão avaliam as alternativas, as consequências associadas a cada alternativa e um conjunto de variáveis não controláveis (*states of nature*) que constituem o ambiente de decisão. Esse conjunto estruturado de informações, que Belton e Stewart (2010) designam CAUSE (do inglês *Criteria, Alternatives, Uncertainties, Stakeholders e External/Environmental factors*), constitui a base dos modelos de análise multicritério. Conforme Gomes e Gomes (2012, p. 71), a diferença básica entre MCDA e os métodos tradicionais de análise é “o grau de incorporação dos valores do decisor nos modelos de avaliação”. Neste sentido, os métodos MCDA visam explicitar a subjetividade presente no processo de decisão, possibilitando ao tomador de decisão conhecer e compreender objetivos, valores e prioridades organizacionais envolvidas no contexto do problema, assim como promover a geração de alternativas, identificar e ponderar consequências das alternativas, tratando as incertezas e ajudando-o a encontrar uma solução adequada (KEENEY; RAIFFA, 1993).

Considerando os princípios utilizados para modelagem de preferências definidos por Roy e Vincke (1981), os métodos de MCDA podem ser classificados em duas categorias principais: sobreclassificação (*outranking*) e critério único de síntese.

Os métodos baseados na abordagem de sobreclassificação (*outranking*) utilizam diferentes relações de preferência para modelar o problema de decisão, comparando pares de alternativas para cada um dos critérios de modo a identificar relações de dominância. A dominância é caracterizada quando uma alternativa supera outra em pelo menos um critério e não é superada por ela em nenhum dos outros critérios, considerando-se preferível a alternativa que tiver desempenho superior na maior quantidade de critérios. Diferentemente dos métodos com enfoque no critério único de síntese, os métodos desta classe são considerados não-compensatórios, na medida em que implementam procedimentos de agregação de critérios concebidos de forma a não possibilitar que o menor desempenho em um determinado critério possa ser compensado por desempenhos superiores em outros critérios (FIGUEIRA *et al.*, 2010). Alguns autores classificam os métodos de sobreclassificação como parcialmente compensatórios, na medida em que, embora possibilitem que o desempenho inferior em um critério seja compensado pelo desempenho em outro critério, não leva em consideração a magnitude das diferenças de desempenho. (BOER; WEGEN; TELGEN, 1998, STEWART; LOSA, 2003, LINKOV; STEEVENS, 2008).

O método ELECTRE (do francês *ELimination Et Choix Traduisant la REalite*) destaca-se pela ampla utilização nos mais diversos campos, de finanças à gestão ambiental, sendo considerado o principal método multicritério na categoria de sobreclassificação (WU; CHEN, 2011). A família ELECTRE é constituída de diversas versões do método que se distinguem em termos do tipo de dados de entrada e dos resultados produzidos. Uma visão geral dos métodos da família ELECTRE (ELECTRE I, ELECTRE Iv, ELECTRE IS, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE TRI e ELECTRE IV) pode ser obtida em Figueira, Mousseau e Roy (2005). Conforme Figueira *et al.* (2010), os métodos da família ELECTRE, apresentam deficiências que podem limitar sua aplicação em problemas práticos. Além das dificuldades inerentes a operações de comparação envolvendo grande quantidade de alternativas, esta classe de métodos, por definição, ao ordenar as alternativas, não atribui escores às mesmas, ou seja, não define métricas para as diferenças de preferências. Outra deficiência refere-se à não-independência em relação a alternativas irrelevantes, ou seja, a ordenação resultante da aplicação do método pode apresentar instabilidades (ou reversões de ordem) em função da inclusão (ou exclusão) de alternativas ou ainda substituição por alternativas não dominantes (WANG; TRIANTAPHYLLOU, 2008). Uma análise crítica mais

detalhada das características (virtudes e deficiências) dos métodos da família ELECTRE pode ser obtida em Figueira e Roy (2009).

A abordagem de critério único de síntese, característica da escola americana de análise multicriterial, consiste em agregar diferentes dimensões de desempenho em uma função de síntese, a partir da qual serão realizadas as avaliações e comparações entre alternativas. O escore numérico resultante, representativo do desempenho global de cada alternativa em relação a todos os critérios simultaneamente, é utilizado para estabelecer uma ordenação das alternativas (DE MONTIS *et al.*, 2004). Os mecanismos de agregação utilizados nesta classe de métodos refletem o caráter compensatório da abordagem, ou seja, um bom desempenho em um critério pode compensar um desempenho ruim em outro critério.

Os métodos derivados da teoria da utilidade multiatributo (*MAUT*, do inglês *Multiple Attribute Utility Theory*) baseiam-se na construção de funções utilidade representativas das preferências dos tomadores de decisão em relação a cada critério, possibilitando que as alternativas sejam avaliadas de acordo com a utilidade esperada. Estes modelos assumem que todas as alternativas são comparáveis, que cada alternativa de decisão resulta em consequências avaliadas racionalmente pelo decisor e que existe transitividade nas relações de preferência e indiferença (CHAVES *et al.*, 2010). Conforme Miranda e Almeida (2004, p. 55), na teoria da utilidade multiatributo “o objetivo é encontrar a forma da função utilidade multiatributo que represente as preferências do decisor de acordo com os pontos de vista considerados”, sendo a forma dessa função utilidade dependente das características dos critérios considerados.

A utilização de métodos derivados da teoria da utilidade multiatributo, portanto, restringe-se a situações nas quais uma função valor possa ser explicitamente determinada (DYER *et al.*, 1992). Em situações nas quais a função utilidade encontra-se implícita ou sua determinação seja inviável (em função das características das informações disponíveis ou por requerer grande esforço cognitivo por parte dos tomadores de decisão para a construção de função utilidade efetivamente representativa do problema de decisão), tais como problemas complexos envolvendo escolhas estratégicas, observa-se a extensiva aplicação de outros métodos representativos da escola americana, em especial os métodos AHP e TOPSIS (HO, 2008; BEHZADIAN *et al.*, 2012).

O Processo de Análise Hierárquica (AHP, do inglês *Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Saaty, ainda no final da década de 1970, para análise de decisão envolvendo múltiplos critérios, baseado em três operações principais: construção de hierarquia, análise de prioridades e verificação de consistência (HO, 2008). Neste processo, a partir do

desenvolvimento de uma estrutura hierárquica de objetivo, critérios e alternativas, o tomador de decisão realiza julgamentos de valor, através de comparações par a par (*pairwise comparisons*), que são processados de modo a desenvolver escala de prioridade (importância ou preferência) para a ordenação das alternativas. Tratando simultaneamente com aspectos racionais e intuitivos, associa a eventual inconsistência presente nos julgamentos subjetivos, com os meios adequados para mensurar essa inconsistência e garantir a robustez da solução através da aplicação de aritmética derivada de estudos psicológicos sobre o comportamento humano (SAATY; VARGAS, 2012).

O método TOPSIS (do inglês, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) foi inicialmente proposto por Hwang e Yoon (1981), constituindo “técnica para avaliar o desempenho das alternativas através da similaridade com a solução ideal” (GOMES; GOMES, 2012), assumindo como preferencial aquela alternativa que apresente a menor distância em relação à solução idealmente positiva e a maior distância em relação à solução idealmente negativa. Assumindo que as avaliações em cada critério representam utilidade monotonicamente crescente (para critérios de benefícios) e decrescente (para critérios de ônus), a separação de cada alternativa em relação às soluções ideais (positiva e negativa) é calculada através da soma das distâncias apuradas em cada critério e a ordenação final das alternativas é definida através de um índice de proximidade (*relative closeness*) que é função das duas medidas de separação (YOON; HWANG, 1995).

Além dos métodos destacados nesta seção, existem muitos outros métodos desenvolvidos para suportar processos decisórios multicritério, tais como SAW (HWANG; YOON, 1981), PROMETHEE (BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986), MACBETH (BANA COSTA; VANSNICK, 1995), SMART (EDWARDS; BARRON, 1994), TODIM (GOMES; RANGEL, 2009) e VIKOR (OPRICOVIC; TZENG, 2004). Maiores informações sobre comparações entre métodos multicritérios podem ser obtidas em Guitouni e Martel (1998), De Montis *et al.* (2004), Opricovic e Tzeng (2004) e Gomes, Gomes e Rangel (2011).

### 3.2 TRABALHOS ANTERIORES

Diversos modelos teóricos e estudos de caso têm sido desenvolvidos para suportar processos de avaliação de projetos e seleção de portfólio (COOPER *et al.*, 2001,

GHAPANCHI *et al.*, 2012). Em situações envolvendo a análise de aspectos de sustentabilidade e informações incompletas ou imprecisas, métodos de análise multicritério têm sido amplamente utilizados, não apenas na seleção de projetos, mas em problemas correlatos, tais como seleção de tecnologia ou fornecedores estratégicos. Recente revisão literária relativa a TOPSIS (BEHZADIAN *et al.*, 2012) identificou mais de 266 artigos publicados desde 2000, sendo cerca de 50% destes publicados a partir de 2010, indicando um interesse crescente sobre o método.

Existem muitos exemplos de aplicações recentes do método TOPSIS envolvendo decisões de caráter estratégico para as empresas. Alimoradi, Yussuf e Zulkifli (2011), Ertugrul (2011), Safari *et al.* (2012) e Zhou, Zhang e Bao (2012) implementam modelos baseados em *fuzzy* TOPSIS para definição da localização de plantas industriais. Momeni *et al.* (2011) estudam a seleção de estratégia de manutenção através de método *fuzzy* TOPSIS, considerando critérios de segurança, confiabilidade, custos e valor adicionado. Calili *et al.* (2010) avaliam alternativas de usinas geradoras de energia, comparando resultados obtidos através de AHP, ELECTRE e TOPSIS. Sadeghzadeh e Salehi (2011) e Mazlomi e Yusuff (2011) utilizam TOPSIS para seleção de tecnologias estratégicas na indústria automobilística. Em abordagens combinadas, diversos estudos associam TOPSIS a outros métodos multicriteriais especificamente no processo de elicitação dos critérios, de modo a melhorar a qualidade da ponderação dos pesos relativos dos critérios analisados. É o caso dos estudos de Kaya e Kahraman (2011) e Awasthi e Chauhan (2012) que utilizam o método AHP para elicitação de critérios, respectivamente, na seleção de tecnologia de energia e iniciativas de logística urbana, ou ainda de Wu, Lin e Lee (2010) com o método ANP para decisões estratégicas de marketing. Para seleção de projetos em uma companhia petrolífera iraniana, Amiri (2010) utiliza abordagem híbrida, aplicando técnicas AHP para a estruturação do problema e determinação dos pesos dos critérios, e a técnica *fuzzy* TOPSIS para a ordenação das alternativas.

Um dos problemas identificados na abordagem TOPSIS é o baixo grau de discriminação entre os escores finais utilizados para a formação do ranking. Ferreira, Santi e Borenstein (2013) propõem variante ao método TOPSIS, utilizando índices obtidos através da abordagem ELECTRE (índices de concordância e discordância) em substituição a matriz de decisão normalizada e ponderada, conforme originalmente proposto no método TOPSIS. Ressalvadas as diferenças existentes entre as abordagens compensatórias (TOPSIS) e parcialmente compensatórias (ELECTRE), essa nova fórmula de cálculo dos coeficientes de

proximidade TOPSIS pode, conforme os autores, produzir maior discriminação entre as alternativas analisadas,.

Assim como em outros métodos, os resultados obtidos através de TOPSIS dependem de abordagens e parâmetros em algumas operações básicas, tais como normalização da matriz de decisão, cálculo de distâncias e agregação de valores. Shih, Shyur e Lee (2007) ao analisar os efeitos de diferentes formas de agregação de preferências, métodos de normalização (linear e vetorial) e fórmulas de cálculos de distâncias, demonstrou que, embora os *rankings* produzidos nas diversas abordagem sejam significativamente semelhantes, os escores podem apresentar variações.

TOPSIS, assim como outros métodos de análise multicritério, não fornece elementos que possibilitem o tratamento adequado de problemas envolvendo avaliações de viabilidade técnica, otimização de recursos ou interdependência entre alternativas. Os aspectos de interdependência entre alternativas em problemas envolvendo critérios conflitantes, de natureza qualitativa ou incomensurável constituem um desafio e, conforme Almeida e Duarte (2011), ainda são tratados de modo incipiente na literatura. Em função da dificuldade de medir e considerar os impactos dessa interdependência no processo de seleção, muitos estudos tem optado por desconsiderar ou, pelo menos, minimizar a complexidade do problema. Especificamente em relação ao problema de seleção de portfólio com projetos interdependentes, uma das abordagens mais frequentemente encontrada na literatura caracteriza-se por um processo em dois estágios. No primeiro estágio os benefícios relativos de cada projeto são calculados, determinando-se um escore individual que possibilita o ordenamento das alternativas através da aplicação de métodos de análise multicritério, tais como AHP e TOPSIS. No segundo estágio, um modelo matemático de programação inteira (0-1) é construído para otimização do valor global do portfólio através de função aditiva dos escores individuais (calculados no estágio anterior), incluindo como restrições os fatores relativos às interdependências entre projetos (ARCHER; GHASEMZADEH, 1999). A otimização do portfólio é implementada através de métodos de Programação Inteira (linear e não-linear) ou Programação por Metas 0-1, dependendo da estruturação proposta para o problema. Mesmo que a Programação por Metas, ao tratar com múltiplos objetivos, seja considerada uma técnica mais poderosa, a programação linear tem sido amplamente utilizada em problemas multidimensionais (tais como a seleção de portfólio de projetos), pois, embora o comportamento real das variáveis não seja efetivamente linear, os modelos lineares possibilitam tratar esses fenômenos complexos com relativa simplicidade (STILLWELL; SEAVAR; EDWARDS, 1981). Neste contexto, o problema de seleção de portfólio de projetos



pode ser tratado como um problema clássico de pesquisa operacional, o problema de mochila (*knapsack problem*), no qual o objetivo é maximizar os benefícios proporcionados por cada projeto, consideradas restrições técnicas e orçamentárias. Dias (2012) realiza revisão bibliográfica sobre a aplicação de métodos de análise multicritério para a seleção e otimização de portfólios de projetos e propõe modelo baseado em agregação aditiva para solução deste tipo de problema.

Métodos baseados em análise multicritério não são, em princípio adequados para, isoladamente, solucionar problemas que envolvam otimização de recursos e interdependência entre projetos, requerendo aplicação de técnicas complementares de análise. A abordagem mais comumente aplicada para solução deste tipo de problema envolve o uso de modelos matemáticos, tais como programação por metas, programação dinâmica, programação linear inteira, entre outras (WEY; WU, 2007).

Conforme Almeida e Duarte (2011), a definição de restrições viabiliza o tratamento de interdependências entre projetos, tornando o modelo matemático próximo de situações reais envolvendo portfólio de projetos. Diversos autores abordam a questão dos diferentes tipos de restrições aplicáveis ao problema da seleção de portfólio de projetos (GHASEMZADEH; ARCHER, 2000).

Os modelos híbridos de análise, associando, em dois estágios, métodos de análise multicritério com programação matemática otimizante, têm sido amplamente utilizados na solução de problemas de seleção de portfólio de projetos. Tendo em comum o uso de modelos de programação linear inteira, as abordagens diferenciam-se no procedimento de definição dos escores globais que serão aplicados como coeficientes da função objetivo. (DIAS, 2012).

Diversos autores propõem a aplicação direta dos escores gerados a partir dos métodos de análise multicritério. Kearns (2004) utilizou os escores obtidos através do método AHP como coeficientes de prioridade na função objetivo do modelo de programação linear inteira de modo a selecionar uma melhor combinação de sistemas de informação. Mavrotas, Diakoulaki e Caloghirou (2006) desenvolveram estudo para seleção de empresas candidatas a financiamento público na Grécia aplicando método PROMETHEE V para obter uma medida de desempenho global das empresas e um modelo de programação inteira para considerar restrições orçamentárias e implementação de políticas públicas, tais como distribuição regional e por ramo de atividade. Padovani, Carvalho e Muscat (2010) apresentam estrutura teórico-conceitual referente à modelo híbrido (AHP e programação linear inteira), no qual o vetor de prioridades de alternativas obtido com o AHP é utilizado como parâmetro de importância (ou valor) dos projetos para os modelos matemáticos. Badri, Hejazi e Afghahi

(2010), em um problema envolvendo seleção de projetos e empreiteiras, relacionam o coeficiente de proximidade obtido através do método *fuzzy* TOPSIS com um “indicador da probabilidade de sucesso” de empreiteiras em cada projeto, utilizando-o como parâmetro no modelo de programação linear para selecionar os projetos mais rentáveis e as melhores indicações de empreiteiras. Lopes e Almeida (2013) também aplicam modelo de análise híbrido, utilizando o método SMART associado a programação linear inteira para seleção de portfólio de projetos de exploração de óleo e gás.

Embora encontrada com certa frequência na literatura, a abordagem de seleção e otimização de portfólio baseada na maximização do desempenho agregado de um conjunto de projetos, obtido através de técnicas de análise multicriteriais, apresenta características que podem conduzir a julgamentos inconsistentes. Nestes modelos, a seleção dos projetos é diretamente dependente dos escores cardinais resultantes da aplicação dos métodos multicritérios, ou seja, dado que cada método multicritério utiliza diferentes escalas para ordenar as alternativas, diferentes métodos, embora produzam *rankings* similares acabam recomendando diferentes seleções de portfólios (MAVROTAS; DIAKOULAKI; KOURENTZIS, 2008). Além disso, ao priorizar os escores cardinais em detrimento da relação de ordenamento dos projetos, os portfólios resultantes deste tipo de modelagem acabam apresentando viés de preferência por projetos de baixo custo e baixo desempenho, especialmente quando coexistem, no conjunto de alternativas, projetos de portes muito distintos. No clássico problema da mochila, dadas as restrições de capacidade, dois objetos de menor valor e menor custo são preferíveis a um objeto de maior valor e custo, o que, para a problemática da seleção de projetos, é absolutamente indesejável.

Para superar estas deficiências, sem acrescentar demasiada complexidade ao problema e esforço dos participantes, foram propostas variantes da modelagem para seleção de projetos. Nestas abordagens, as diferenças entre os escores apurados através dos métodos multicritérios são desconsiderados, substituídos por escores resultantes da relação de ordenamento entre as alternativas. Stillwell, Seaver e Edwards (1981) analisam procedimentos para atribuição de escores a partir de informações de caráter ordinal, ou seja, derivadas do resultado da ordenação dos objetos de análise, considerando as preferências do decisor. Hall *et al.* (1992) desenvolvem modelo de programação linear para problema de decisão relativo ao financiamento de projetos, no qual buscam a maximização dos escores calculados a partir do ordenamento (*ranking*) das alternativas, Assumindo que as diferenças na ordenação são mais significativas entre as alternativas de maior *ranking* (comportamento exponencial), os escores a serem utilizados na função objetivo são atribuídos com base em uma função  $V(y) = \exp(cy)$

$1/\exp(c)$ , na qual  $y$  é a posição da alternativa no *ranking* (maior = melhor) e  $c$  é um parâmetro obtido a partir das características do problema.

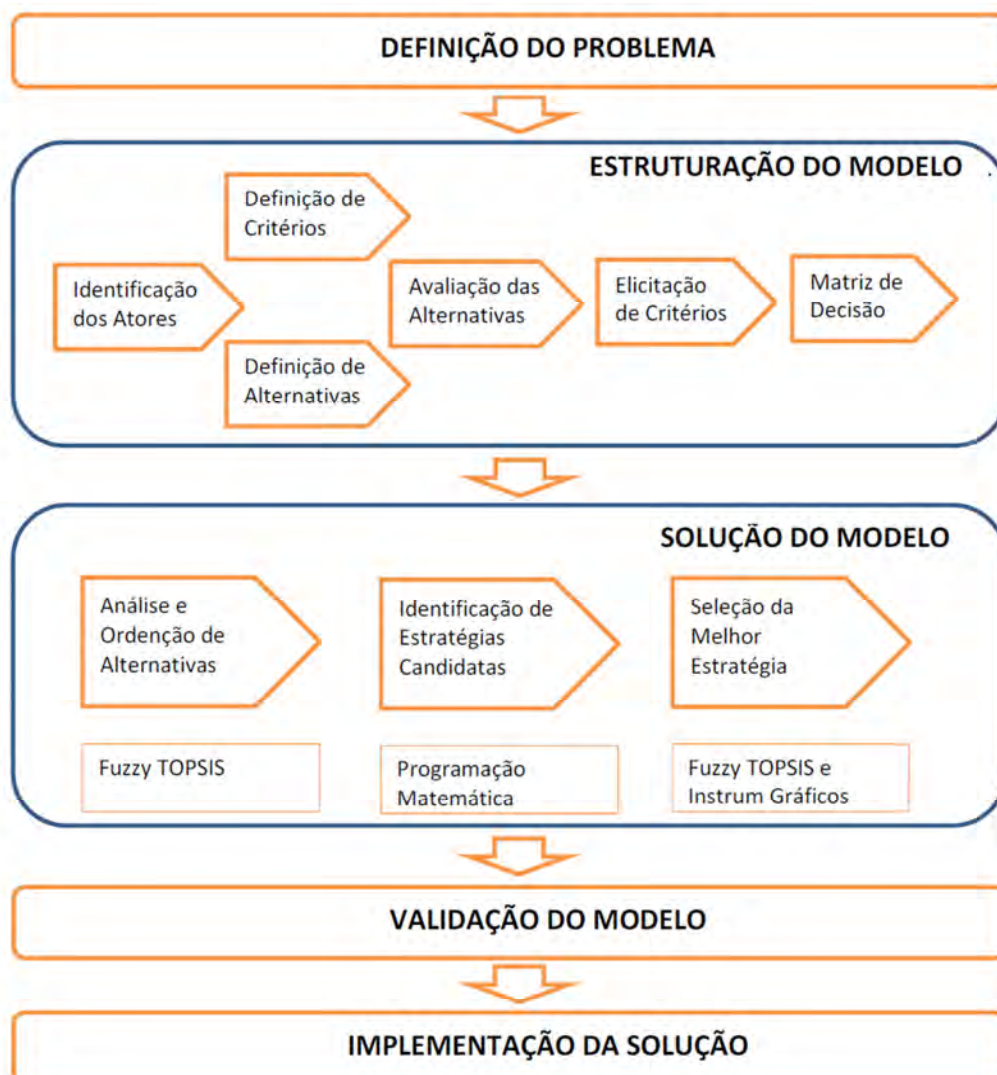
Mavrotas, Diakoulaki e Kourentzis (2008), discutem uma nova forma para a seleção de projetos, de modo a maximizar a compatibilidade do conteúdo do portfólio selecionado com a ordenação (*ranking*) original dada aos projetos, eliminando o viés de seleção de projetos de menor custo. Diferente de outras abordagens, que visam simplesmente maximizar o desempenho agregado de uma combinação de projetos, os autores propõem a utilização de escores ampliados, calculados de modo que, dado um projeto  $i$  na posição  $k$ , não exista nenhuma combinação de projetos, em posição inferior a  $k$  e custos inferiores ao projeto  $i$ , cujo escore seja maior que o escore ampliado do projeto  $i$ . Os escores devidamente ajustados são utilizados como coeficientes da função objetivo em um modelo de programação linear inteira.

Os estudos analisados indicam que, embora os métodos de análise multicriteriais, isoladamente, não contemplem o tratamento adequado de restrições de caráter técnico, orçamentário e de interdependência entre alternativas, abordagens do tipo híbrida, combinando diferentes métodos, especialmente modelos de programação matemática, constituem importante ferramentas de suporte à decisão.

## 4 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo foi aplicado método composto de cinco etapas principais, conforme abordagem clássica de resolução de problemas através da pesquisa operacional (ARENALES *et al.*, 2007): definição do problema, estruturação do modelo, solução do modelo, validação do modelo e implementação da solução.

**Figura 2 – Etapas do método**



Fonte: Elaborada pelo autor

### **Etapa 1 – Definição do problema**

O problema objeto deste estudo compreende a seleção de alternativa de reconversão industrial que viabilize a continuidade operacional de uma empresa de refino de petróleo cujas características atuais são incompatíveis com os requisitos de um mercado em transformação. Além das dificuldades inerentes a empresas de petróleo não integradas, as novas especificações dos combustíveis, mais rigorosas no aspecto de impacto ambiental, demandam grandes investimentos para adequação da planta industrial. No entanto, tendo em vista sua grande importância socioeconômica para a região Sul do Rio Grande do Sul, a possibilidade de encerramento de atividades mobiliza ampla discussão política, tanto na esfera municipal e estadual, como federal. Não fosse esse o contexto, muito provavelmente a refinaria já teria sido fechada há muito tempo. Portanto, mais do que uma solução técnico-econômica embasada na lógica de mercado, busca-se uma solução que seja aceitável nos aspectos social e ambiental, ou seja, coerente com os princípios de sustentabilidade empresarial.

### **Etapa 2 – Estruturação do modelo**

Para a construção da estrutura do modelo que suporta a análise do problema em estudo foram executadas as seguintes ações: identificação dos atores envolvidos no processo decisório, formulação e avaliação das alternativas de decisão e definição, validação e ponderação dos critérios de análise. Os atores que intervieram no processo foram definidos a partir de indicação do Diretor Superintendente da RPR, atuando conforme descrito na seção 5.1. Para a formulação das alternativas (linhas de negócio) foi utilizada a técnica da tabela de geração de estratégias (HOWARD, 1988), tendo como base as seis áreas potenciais de atuação identificadas em seminários de estratégia promovidos pela RPR, conforme seção 5.2. Os critérios de avaliação, assim como sua importância relativa, foram definidos pelo grupo decisor, conforme descrito nas seções 5.3 e 5.5.

### **Etapa 3 – Solução do Modelo**

A solução do modelo foi realizada em três etapas, aplicando-se um conjunto de técnicas de análise. A primeira etapa (seção 6.1) faz uso do método *Fuzzy* TOPSIS para análise e ordenamento das linhas de negócio. Na segunda etapa (seção 6.2), as linhas de negócio são combinadas, mediante modelo de programação linear inteira, de modo a identificar as melhores estratégias candidatas (portfólios viáveis). Finalmente, na terceira etapa (seção 6.3), as estratégias candidatas são ordenadas conforme método TOPSIS e

submetidas à análise complementar através de instrumentos gráficos, de modo a gerar base informacional necessária para subsidiar o processo decisório.

#### **Etapa 4 – Validação do Modelo**

O processo de verificação e validação do modelo visa identificar os dados de entrada com maior impacto sobre os resultados obtidos na etapa 3, sendo executados procedimentos de análise de sensibilidade conforme proposto por Awasthi, Chauhan e Omrani (2011) e descrito no capítulo 7.

#### **Etapa 5 – Implementação da Solução**

A etapa final do processo refere-se à implementação dos resultados da análise realizada nas etapas anteriores, ou seja, traduzir os resultados obtidos através do modelo em recomendações de decisões.

Nas próximas seções são apresentados aspectos relevantes da metodologia utilizada. Inicialmente são discutidos os aspectos considerados na seleção do método *fuzzy* TOPSIS como método de análise multicritério aplicado neste estudo (seção 4.1). O método *fuzzy* TOPSIS e o modelo de programação matemática utilizados nas análises deste estudo são descritos, respectivamente, nas seções 4.2 e 4.3. Na seção 4.4 são apresentados os procedimentos para cálculo do desempenho de cada estratégia a partir dos desempenhos atribuídos às linhas de negócio que a compõe.

#### 4.1 SELEÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Uma das principais críticas aos métodos multicritério de apoio à decisão refere-se ao fato de que, para um mesmo problema, a aplicação de diferentes métodos poderia gerar resultados diferentes (ZANAKIS *et al.*, 1998). Esta inconsistência, vinculada a características dos algoritmos utilizados, foi constatada em estudos comparativos experimentais, como em Hobbs (1992). No entanto, conforme Zanakis *et al.* (1998), outros estudos chegaram a conclusões distintas, ou seja, dado um determinado problema, as soluções obtidas através de diferentes métodos multicritérios seriam, em grande parte, similares (BELTON, 1986; KARNI *et al.*, 1990; OLSON *et al.*, 1995). Diante da ausência de análises axiomáticas sistemáticas conclusivas, os estudos comparativos do uso de diferentes métodos multicritérios através de casos reais (ou simulações de casos reais) apresentam limitações que, na prática, impedem a formulação de conclusões a respeito de qual o método mais adequado para um determinado tipo de problema ou, ainda, quais as vantagens e desvantagens de um determinado método em relação aos demais (BOUYSSOU *et al.*, 1993; ZANAKIS *et al.*, 1998). Guitouni e Martel (1998) chegam a afirmar que, na prática, muitos analistas e pesquisadores são incapazes de justificar, de modo consistente, a escolha de um determinado método e as razões que levaram à não-utilização de outros. Segundo estes autores, a seleção acaba sendo motivada, geralmente, por uma maior familiaridade e afinidade com algum método específico.

Embora considerando as dificuldades citadas anteriormente, a escolha do método multicritério a ser aplicado em um problema específico não pode ser aleatória, nem dispensar uma análise criteriosa. Dois aspectos são determinantes para a seleção de um método adequado ao problema: regras de decisão e níveis de incerteza envolvidos.

Por regras de decisão entende-se o tipo de tratamento a ser dado às informações no processo de exploração dos espaços de decisão, ou seja, como as preferências dos decisores e o desempenho das alternativas sob cada critério serão agregados e incorporados ao processo decisório.

Conforme Stewart (1992), a forma de articulação das preferências é um aspecto importante para a seleção do método a ser aplicado, podendo ser definida *a priori* ou ser resultado de interações progressivas entre analista e decisores. No primeiro caso as preferências e prioridades dos decisores são tratadas como dados de entrada do modelo, enquanto que no segundo caso a estrutura de preferências é construída de forma interativa ao

longo do processo decisório. Embora o processo interativo seja mais flexível, torna-se vulnerável a eventuais manipulações por usuários com domínio da técnica, gerando resultados mais dificilmente justificáveis perante outras partes interessadas.

Em relação aos mecanismos de agregação, conforme Guitouni e Martel (1998), os métodos de análise multicritério podem implementar abordagens compensatórias, não compensatórias ou parcialmente compensatórias. Uma abordagem de agregação é dita compensatória quando o alto desempenho em um determinado critério pode compensar baixos desempenhos de outros critérios. De modo inverso, em abordagens não compensatórias este tipo de *trade-off* entre critérios é completamente inibido. No caso de abordagens parcialmente compensatórias, algum tipo de compensação entre critérios é aceito, embora seja difícil determinar, ou mesmo comparar, os diferentes graus de compensação.

No contexto do processo decisório, o conceito de incerteza está associado à inviabilidade de caracterizar completamente um sistema em função da indisponibilidade de informação quantitativa e qualitativa adequada, tanto pela ausência de acurácia nos valores (imprecisão), quanto pela ambiguidade decorrente da associação de múltiplos significados a uma mesma informação, além da natureza subjetiva dos julgamentos dos decisores (LIMA JUNIOR, 2013).

O problema de seleção de estratégia de reconversão industrial consiste, basicamente, em estabelecer uma hierarquia entre alternativas analisadas em um conjunto amplo de possibilidades, de acordo com relações de preferência definidas por um grupo de decisores, de modo a selecionar um conjunto de linhas de negócio, considerando não apenas as características de cada alternativa, mas também suas interdependências de recursos, técnicas e de benefícios e consequentes sinergias positivas e negativas. No caso da RPR, diante da insuficiência e imprecisão dos dados disponíveis, o método selecionado deve suportar articulação de preferências definidas *a priori*, assim como o tratamento sistemático de informações de natureza qualitativa através de variáveis linguísticas representadas por números *fuzzy*.

Conforme constatado por Rabbani, Bajestani e Khoshkhou (2010), o sucesso da análise multicritério possui caráter eminentemente contingente, ou seja, depende do tipo de decisão, das informações e recursos disponíveis, mas, principalmente do entendimento e aceitação, pelo tomador de decisão, das técnicas aplicadas. Neste sentido, a complexidade do problema e a necessidade de evitar abordagens do tipo “caixa-preta”, recomenda a adoção de uma abordagem híbrida, capaz de associar método multicritério para avaliação individual das linhas de negócio com modelo de programação matemática para analisar interdependências



técnicas e estratégicas, utilizando ferramentas que possibilitem a manipulação direta pelos atores envolvidos na decisão.

Considerando o problema de avaliação e seleção de projetos, o método *fuzzy* TOPSIS reúne características peculiares que justificam sua utilização no presente estudo. O TOPSIS difere de outros métodos de análise multicritério, na medida em que sua lógica de avaliação assemelha-se à racionalidade usualmente empregada em decisões, escolhendo a alternativa que esteja mais próxima possível da solução ideal e, ao mesmo tempo, o mais distante possível da pior solução (solução ideal negativa).

Conforme Huang e Li (2012), o método TOPSIS possui diversas vantagens, tais como soluções de compromisso obtidas de modo eficiente, utilização de procedimentos que podem ser facilmente programados em planilhas eletrônicas e resultados que, devido à lógica implementada, podem ser facilmente compreendidos e aceitos pelos participantes do processo de decisão.

## 4.2 MÉTODO FUZZY TOPSIS

Para fins deste estudo foram adotados os procedimentos propostos por Chen (2000), estendendo o método TOPSIS para decisão em grupo em ambiente *fuzzy*, possibilitando que, tanto a importância relativa dos critérios, quanto as escalas de mensuração dos critérios qualitativos sejam representadas por variáveis linguísticas, expressas através de números *fuzzy* triangulares. Nesta seção são apresentadas, inicialmente, as definições relativas a variáveis linguísticas e números *fuzzy*, descrevendo, na sequência, os procedimentos para aplicação do método *fuzzy* TOPSIS.

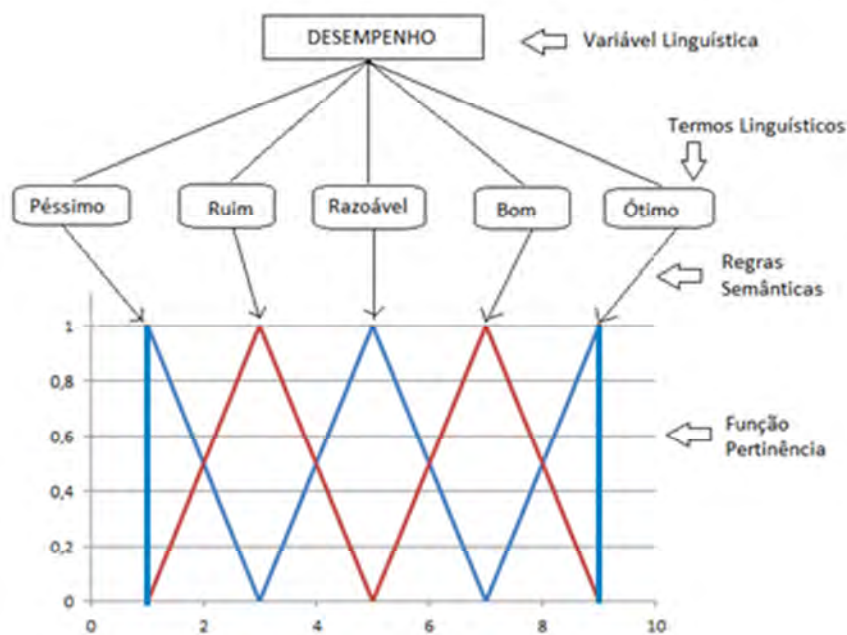
### 4.2.1 Variáveis linguísticas

Diversos aspectos do problema estudado remetem a um ambiente de decisão caracterizado pela incerteza, imprecisão e subjetividade das informações envolvidas. Conforme Saghafian e Hejazi (2005), a teoria dos conjuntos *fuzzy* revela-se especialmente

adequada para o tratamento da ambiguidade associada aos julgamentos subjetivos que caracterizam a estrutura de preferências dos decisores. De um modo geral, os decisores apresentam dificuldade em expressar suas preferências através de valores numéricos exatos, optando por utilizar expressões linguísticas, tais como baixo, médio ou alto. Associada às variáveis linguísticas, a teoria dos conjuntos *fuzzy* possibilita a incorporação e tratamento sistemático, no processo decisório, de informações incompletas e de natureza qualitativa (SAGHAFIAN; HEJAZI, 2005; AMIRI, 2010).

Conforme Zadeh (1975), variáveis linguísticas são aquelas cujo valor é expresso em termos linguísticos, de natureza subjetiva e representado por funções de pertinência que podem assumir diferentes formas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto do problema. Uma variável linguística é, portanto, uma variável cujos valores são nomes de conjuntos *fuzzy* (figura 3).

Figura 3 – Exemplo de variável linguística



Fonte: Adaptado de Zadeh (1975)

As variáveis linguísticas podem ser representadas por números *fuzzy* (conjuntos *fuzzy* convexos e normalizados). Embora as funções de pertinência possam ser definidas a partir das características específicas do problema, normalmente os métodos utilizam funções de pertinência padrão, tais como triangular ou trapezoidal. Números *fuzzy* têm sido amplamente utilizados na modelagem de problemas de decisão, sendo a forma de pertinência triangular a abordagem mais comum em estudos de análise multicritério (ZIMMERMANN, 1996; YEH;

DENG, 2004; KAHRAMAN *et al.*, 2004). Conforme Amiri (2010), os números triangulares *fuzzy* possibilitam aos tomadores de decisão uma forma mais intuitiva para manipulação de variáveis linguísticas.

Em função da indisponibilidade de dados precisos sobre o comportamento de todas as alternativas em análise, o julgamento das alternativas foi proposto em bases qualitativas, expresso através de termos linguísticos, com natureza subjetiva. A escala adotada para os critérios com enfoque em **benefícios**, ou seja, “quanto mais, melhor”, foi construída com cinco pontos (“péssimo”, “ruim”, “regular”, “bom” e “ótimo”), de modo similar ao proposto por Awasthi *et al.*, (2010). Para os critérios com enfoque em **aspectos negativos** (“quanto menor, melhor”), foi construída escala de cinco pontos com os seguintes valores: “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”. Esta mesma escala foi adotada para a avaliação da importância relativa de cada um dos critérios dentro do processo de seleção das alternativas. Cada um dos termos linguísticos pode ser representado por um número *fuzzy* e associado a uma determinada função de pertinência. Neste estudo as variáveis linguísticas são representadas por números *fuzzy* triangulares, conforme proposto por Awasthi, Chauhan e Omrani (2011).

As tabelas 1 e 2 apresentam as variáveis linguísticas e os números *fuzzy* triangulares associados utilizados para avaliar as alternativas, respectivamente, nos critérios de benefícios e riscos.

**Tabela 1 – Variável desempenho (benefícios)**

Termos linguísticos	Função de Pertinência
Péssimo	(1, 1, 3)
Ruim	(1, 3, 5)
Razoável	(3, 5, 7)
Bom	(5, 7, 9)
Ótimo	(7, 9, 9)

**Tabela 2 – Variável exposição ao risco**

Termos linguísticos	Função de Pertinência
Muito baixa	(1, 1, 3)
Baixa	(1, 3, 5)
Média	(3, 5, 7)
Alta	(5, 7, 9)
Muito alta	(7, 9, 9)

A tabela 3 apresenta as variáveis linguísticas e os números *fuzzy* associados utilizados no processo de avaliação intercritérios, ou seja, na ponderação da importância relativa de cada um dos critérios.

**Tabela 3 – Variável importância**

Termos linguísticos	Função de Pertinência
Muito baixa	(1, 1, 3)
Baixa	(1, 3, 5)
Média	(3, 5, 7)
Alta	(5, 7, 9)
Muito alta	(7, 9, 9)

Na próxima seção são apresentados os principais conceitos e definições relativas à teoria dos conjuntos *fuzzy* e a utilização de números *fuzzy* no contexto deste estudo.

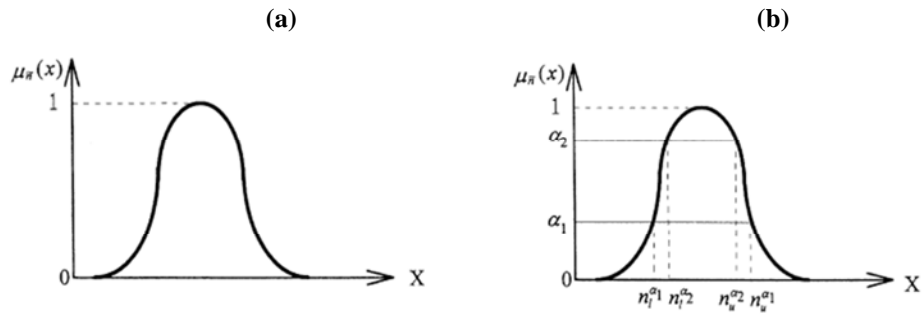
#### 4.2.2 Números fuzzy

Conforme o princípio da extensão formulado por Zadeh (1965), operações algébricas com números reais podem ser estendidas para números *fuzzy*. Seja  $X$  um espaço de pontos cujo elemento genérico é representado por  $x$ , de modo que  $X = \{ x \}$ , um conjunto *fuzzy*  $A$  em  $X$  é caracterizado por uma função de pertinência  $f_A(x)$  que associa a cada ponto em  $X$  um número real no intervalo  $[0,1]$  de modo que o valor de  $f_A(x)$  em  $x$  representa o grau de pertinência de  $x$  em  $A$ .

Número *fuzzy* é um conjunto *fuzzy* normalizado e convexo, definido para números reais, com função de pertinência contínua (CHEN, 2000). Neste caso, a condição de normalidade é conferida pelo valor máximo da função de pertinência igual a 1 (figura 4 a). Diz-se que um conjunto *fuzzy*  $\tilde{n}$  é convexo (figura 4 b) quando, dados dois cortes (corte  $\alpha_1$  e corte  $\alpha_2$ ), obtém-se intervalos fechados contínuos

$$\tilde{n}^{\alpha_1} = [\tilde{n}_l^{\alpha_1}, \tilde{n}_u^{\alpha_1}] \quad \text{e} \quad \tilde{n}^{\alpha_2} = [\tilde{n}_l^{\alpha_2}, \tilde{n}_u^{\alpha_2}]$$

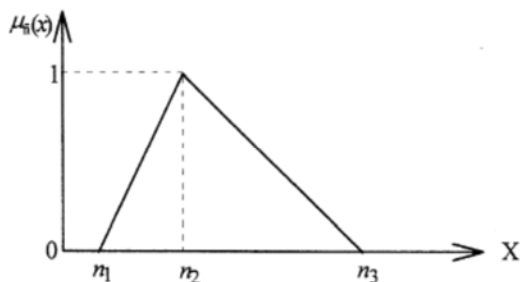
de tal modo que, se  $\alpha_1 \geq \alpha_2$  então  $\tilde{n}_l^{\alpha_2} \geq \tilde{n}_l^{\alpha_1}$  e  $\tilde{n}_u^{\alpha_2} \geq \tilde{n}_u^{\alpha_1}$

Figura 4 – Número *fuzzy*

Fonte: CHEN (2000)

Um número *fuzzy* triangular  $\tilde{n}$  (figura 5) pode ser definido pela terna  $(n_1, n_2, n_3)$  com função de pertinência  $\mu_{\tilde{n}}(x)$  definida em:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < n_1 \\ \frac{x - n_1}{n_2 - n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2 \\ \frac{x - n_3}{n_2 - n_3}, & n_2 \leq x \leq n_3 \\ 0, & x > n_3 \end{cases}$$

Figura 5 – Número *fuzzy* triangular

Fonte: CHEN (2000)

Dados dois números *fuzzy* triangulares  $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$  e  $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ , sendo  $a_i \geq 0$  e  $b_i \geq 0$ , as operações de adição, subtração, multiplicação e divisão entre eles podem ser expressas, respectivamente, da seguinte forma:

$$\tilde{a} (+) \tilde{b} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$$

$$\tilde{a} (-) \tilde{b} = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3)$$

$$\tilde{a} (x) \tilde{b} = (a_1 x b_1, a_2 x b_2, a_3 x b_3)$$

$$\tilde{a} (/) \tilde{b} = (a_1 / b_1, a_2 / b_2, a_3 / b_3)$$

O conceito de distância é frequentemente utilizado para calcular o grau de separação entre dois elementos, existindo uma grande variedade de técnicas, tais como distância de Hamming, distância Euclidiana e distância de Minkowski. Neste estudo, a distância entre dois números *fuzzy* triangulares é calculada conforme método dos vértices (CHEN, 2000):

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]}$$

#### 4.2.3 Descrição do método Fuzzy TOPSIS

São apresentados, na sequência, os passos para a aplicação do método *fuzzy* TOPSIS, propostos por Chen (2000) e Awasthi, Chauhan e Omrani (2011), para análise de um problema com as seguintes características:

- Um conjunto de  $k$  decisores,  $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_k\}$
- Um conjunto de  $m$  alternativas,  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$
- Um conjunto de  $n$  critérios,  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$
- Um vetor de importância relativa dos critérios,  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$
- Um conjunto de desempenhos  $Y = \{y_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, k ; j = 1, 2, \dots, n\}$  no qual as alternativas  $P_i$  são avaliadas conforme cada um dos critérios  $C_j$ .

**Passo 1:** Cada uma das  $m$  alternativas é avaliada em relação ao conjunto dos  $n$  critérios através de variáveis linguísticas traduzidas em números *fuzzy* triangulares, constituindo a matriz de avaliação ( $\tilde{Y}$ ):

$$\tilde{Y} = \begin{bmatrix} \tilde{y}_{11} & \tilde{y}_{12} & \cdots & \tilde{y}_{1n} \\ \tilde{y}_{21} & \tilde{y}_{22} & \cdots & \tilde{y}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{y}_{m1} & \tilde{y}_{m2} & \cdots & \tilde{y}_{mn} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Onde:

$$\tilde{y}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$$

**Passo 2:** Os dados da matriz *fuzzy* de decisão  $\tilde{Y}$  são normalizados através de transformação linear, utilizando-se os valores máximos (para o conjunto de critérios relativos a benefícios,  $\Omega_B$ ) e mínimos (para o conjunto de critérios relativos a custos,  $\Omega_C$ ) na definição de uma escala comum a todos os critérios, no intervalo  $(0,1]$ , constituindo a matriz *fuzzy* de decisão normalizada ( $\tilde{R}$ ), assim representada:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m(x)n}$$

Onde:

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), \quad c_j^* = \max_i \{c_{ij}\}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j \in \Omega_B$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad a_j^- = \min_i \{c_{ij}\}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j \in \Omega_C$$

**Passo 3:** As avaliações dadas por cada um dos  $k$  decisores em relação à importância relativa  $W$  de cada um dos  $j$  critérios através de variáveis linguísticas, são associadas a números *fuzzy* triangulares  $\tilde{W}_{jk} = (w_{jk1}, w_{jk2}, w_{jk3})$ . As avaliações individuais são agregadas em uma avaliação representativa do grupo de decisores  $\tilde{W}_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) no seguinte formato:

$$\tilde{W}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$$

Onde:

$$w_{j1} = \min \{w_{jk1}\},$$

$$w_{j2} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{jk2},$$

$$w_{j3} = \max \{w_{jk3}\},$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

**Passo 4:** A matriz de decisão *fuzzy* ( $\tilde{V}$ ), devidamente normalizada e ponderada, é obtida multiplicando-se a matriz de decisão normalizada ( $\tilde{R}$ ) pela importância relativa de cada critério, da seguinte forma:

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{v}_{11} & \tilde{v}_{12} & \cdots & \tilde{v}_{1n} \\ \tilde{v}_{21} & \tilde{v}_{22} & \cdots & \tilde{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{v}_{m1} & \tilde{v}_{m2} & \cdots & \tilde{v}_{mn} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Onde:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(x) \tilde{w}_j$$

**Passo 5:** Definir a solução ideal positiva *fuzzy* ( $A^*$ ) e a solução ideal negativa *fuzzy* ( $A^-$ ) que serão utilizadas como parâmetro de comparação para as alternativas em análise. Por solução ideal positiva entende-se o vetor composto pelos melhores valores, entre todas as alternativas, em cada um dos critérios. De maneira análoga, na solução ideal negativa o vetor é composto pelos piores valores. Os valores de  $A^*$  e  $A^-$  são obtidos da seguinte forma:

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*),$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-),$$

Onde:

$$\tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij3}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij1}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

**Passo 6:** Calcular a distância de cada uma das alternativas em relação à solução positiva ideal e solução negativa ideal, da seguinte forma:

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$d_v(a, b)$  é a distância medida entre dois números *fuzzy*.



**Passo 7:** Calcular o coeficiente de proximidade ( $CP_i$ ) de cada uma das alternativas, da seguinte forma:

$$CP_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

No método TOPSIS obtém-se o ordenamento (*ranking*) das alternativas a partir da definição das soluções ideais (positiva e negativa), das distâncias entre cada alternativa e as soluções ideais e, finalmente, do cálculo do coeficiente de proximidade (CP) de cada alternativa (CHEN, 2000). Valores próximos de 1 para o CP indicam que a alternativa está mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa. Dessa forma, a relação de preferência entre as alternativas será construída em ordem decrescente de seus respectivos CPs, ou seja, quanto maior o CP, maior a preferência da alternativa.

#### 4.3 MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Nos termos do problema avaliado, busca-se identificar um conjunto (portfólio) de duas ou mais alternativas que, implementadas de forma integrada, representem a melhor estratégia. Por melhor estratégia entende-se o portfólio que agrupar as alternativas com melhor desempenho em relação ao conjunto de critérios definidos, considerando as eventuais sinergias (positiva ou negativa), respeitadas restrições técnicas e orçamentárias e garantidos níveis mínimos de rentabilidade.

Dado o caráter combinatório do problema, a identificação das estratégias viáveis foi realizada através de modelo de programação matemática.

A formulação básica do modelo de programação linear adotado foi

$$\max \sum_{i=1}^N E_i \cdot x_i$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^N I_i \cdot x_i \leq I_{max} \quad (I)$$

$$\sum_{i=1}^N R_i \cdot x_i \geq R_{min} \quad (II)$$

$$x_i \geq 1 \quad ; i \in M \quad (III)$$

$$\sum_{i \in L_e} x_i \leq 1 \quad ; \forall e = 1, 2, \dots, E \quad (IV)$$

$$x_i - \sum_{j \in C_i} x_j \leq 0 \quad (V)$$

$$x_i, x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall i \quad \forall j \quad (VI)$$

Onde:

$E_i$  = escore representativo do valor (benefício) da alternativa  $i$

$x_i = \begin{cases} 1, & \text{se alternativa } i \text{ for selecionada} \\ 0, & \text{em caso contrário} \end{cases}$

$I_i$  : valor presente do investimento necessário para implementar a alternativa  $i$

$R_i$  : fluxo de caixa anual líquido estimado com a implementação da alternativa  $i$

$I_{max}$ : limite de investimento definido pela empresa

$R_{min}$  : fluxo de caixa anual mínimo

$M$  : conjunto de alternativas cuja implementação é mandatória

$L_e$  : conjunto de alternativas cuja implementação é mutuamente excludente

$C_i$  : conjunto de alternativas complementares à alternativa  $i$

A função objetivo deve traduzir para o decisor, de modo claro e compreensível, a intenção de buscar os maiores benefícios e as melhores soluções. As restrições incluídas no modelo devem refletir os condicionantes orçamentários, técnicos e estratégicos que afetam a seleção das alternativas a serem implementadas, ou seja, a definição do melhor portfólio de projetos (ou melhor estratégia). A restrição (I) refere-se a limitações orçamentárias, de modo que o valor total do investimento para a implementação das alternativas não seja maior que o montante disponível para este fim. A restrição (II) garante que o conjunto de alternativas selecionadas proporcione receita operacional líquida igual ou superior ao nível mínimo de receita arbitrado pelo decisor. A restrição (III) garante que alternativas definidas como de

implementação mandatória, independente de sua avaliação, sejam incluídas na solução. A restrição (IV) trata de alternativas mutuamente excludentes, ou seja, alternativas que, em função de sua natureza ou dos recursos utilizados, não podem ser implementadas simultaneamente. A restrição (V) trata das alternativas que necessitam, para sua viabilização, a implementação de, pelo menos, uma outra alternativa complementar específica. A restrição (VI) garante que as variáveis de decisão operem como variáveis binárias.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS (DESEMPENHO AGREGADO)

Dada a premissa de que o desempenho de uma estratégia é função das alternativas (linhas de negócio) que a compõem, calcula-se o escore médio de cada estratégia a partir das avaliações individuais atribuídas às linhas de negócio, utilizando-se operações aritméticas definidas por Zadeh (1975), descritas na seção 4.2.1. Tendo em vista que, conforme Buckley (1985, p. 242), “operações algébricas entre números *fuzzy* triangulares não necessariamente produzem números *fuzzy* triangulares”, os resultados da agregação foram submetidos à validação junto ao decisor. O procedimento para obtenção de avaliação das estratégias sob cada um dos critérios é realizado da seguinte forma:

**Passo 1:** Obter escore médio de cada estratégia para cada um dos critérios, utilizando abordagem de agregação proposta por Chen (2000). Sendo  $\tilde{y}_{ij}$  o desempenho da linha de negócio  $i$  no critério  $j$ , onde  $\tilde{y}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  é um número *fuzzy* triangular, então o desempenho  $S$  da estratégia  $e$  no critério  $j$  pode ser calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned}\tilde{s}_{ej} &= (a_{ej}, b_{ej}, c_{ej}) \\ a_{ej} &= \sum_{i \in E_e} a_{ij} / \sum_{i \in E_e} x_i \\ b_{ej} &= \sum_{i \in E_e} b_{ij} / \sum_{i \in E_e} x_i \\ c_{ej} &= \sum_{i \in E_e} c_{ij} / \sum_{i \in E_e} x_i\end{aligned}$$

Onde:

$E_e$  : conjunto de linhas de negócio  $i$  que compõem a estratégia  $e$

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{se a linha de negócio } i \text{ compõe a estratégia } e \\ 0, & \text{em caso contrário} \end{cases}$$

**Passo 2:** Criar novas tabelas para as variáveis desempenho e exposição ao risco. A partir das tabelas 1 e 2, anteriormente utilizadas (seção 4.2.1), foram inseridos valores intermediários de modo a definir duas novas escalas linguísticas, agora com nove pontos, para balizar a avaliação das estratégias em relação a desempenho e exposição a riscos. A tabela 4 apresenta, em negrito, os novos termos linguísticos inseridos para avaliação da variável desempenho.

**Tabela 4 – Variável desempenho (expandida)**

Termos	Função de Pertinência
Péssimo	(1, 1, 3)
<b>Muito ruim</b>	<b>(1, 2, 4)</b>
Ruim	(1, 3, 5)
<b>Pouco ruim</b>	<b>(2, 4, 6)</b>
Médio	(3, 5, 7)
<b>Pouco bom</b>	<b>(4, 6, 8)</b>
Bom	(5, 7, 9)
<b>Muito bom</b>	<b>(6, 8, 9)</b>
Ótimo	(7, 9, 9)

**Passo 3:** Ajustar os desempenhos calculados no passo anterior de modo a compatibilizá-los com variáveis linguísticas significantes e respectivos números *fuzzy* triangulares. Cada elemento da matriz S definida no passo 1 é comparado sucessivamente com cada elemento da tabela 4 através do cálculo das respectivas distâncias (método dos vértices), sendo substituído pelo valor da tabela com o qual possui a menor separação, de modo a constituir a matriz de avaliação  $\tilde{U}$ .

Sendo  $\tilde{S}_{ej} = (a_{ej}, b_{ej}, c_{ej})$  o desempenho médio calculado no passo 1 para cada estratégia  $e$  sob o critério  $j$ , com os valores *fuzzy* dos  $k$  termos linguísticos da tabela 4 definidos como  $\tilde{T}_k = (a_k, b_k, c_k)$ , então o desempenho ajustado  $\tilde{U}_{ej}$  pode ser obtido da seguinte forma:

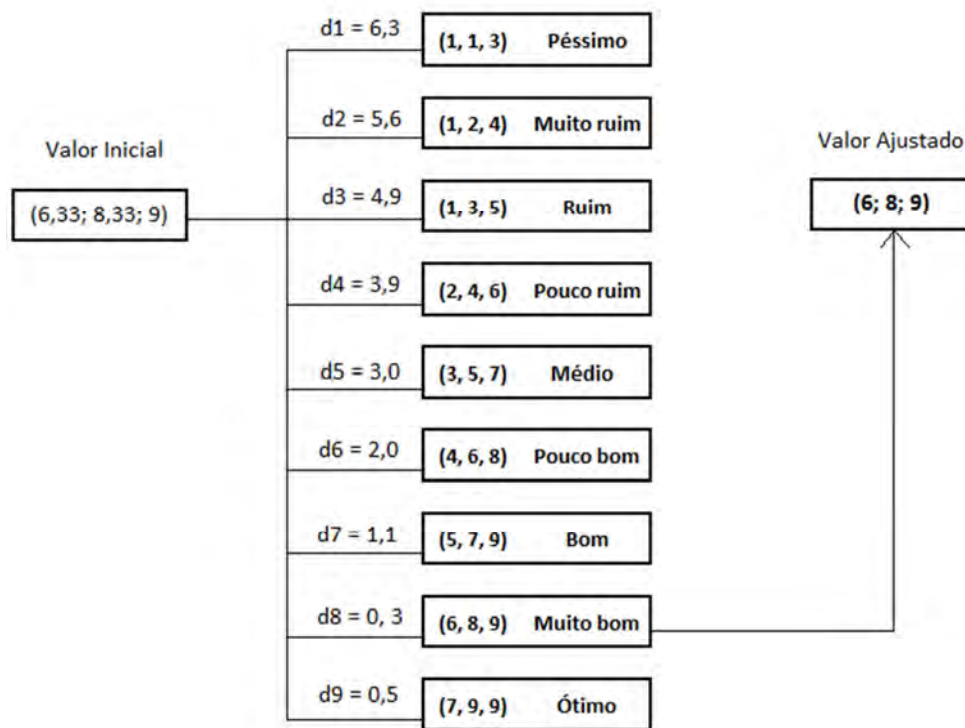
$$\tilde{U}_{ej} = \{(a_k, b_k, c_k) : \min_k \{d(\tilde{S}_{ej}, \tilde{T}_k)\}\}, \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad e = 1, 2, \dots, E \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Onde:

$d(\tilde{S}_{ej}, \tilde{T}_k)$  : distância calculada entre dois números *fuzzy* triangulares

A figura 6 apresenta exemplo da aplicação deste passo. O valor inicial é o escore médio calculado no passo 2. Os valores d1 a d9 são relativos às distâncias, medidas pelo método dos vértices (CHEN, 2000), entre o valor inicial e os números *fuzzy* triangulares associados aos nove termos da tabela 4. O valor ajustado é o valor correspondente ao termo com menor distância para o valor inicial.

Figura 6 – Esquema de ajuste de valores agregados



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Passo 4:** Os valores ajustados, devidamente transformados em seu formato linguístico, são submetidos à validação, de modo a verificar se os termos linguísticos resultantes do processo de agregação efetivamente representam o desempenho da estratégia em relação ao critério considerado.

**Passo 5:** Os valores ajustados e validados irão constituir a matriz  $\tilde{U}$  que será utilizada como matriz de decisão para aplicação do método *fuzzy* TOPSIS, visando a análise e ordenação das estratégias-candidatas.

## 5 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

O modelo de decisão constitui a representação, compartilhada por todos os atores envolvidos (e tão completa quanto possível), dos elementos que compõem a situação analisada. Para a construção da estrutura do modelo que suporta a análise do problema em estudo foram executadas as seguintes ações: identificação dos atores envolvidos no processo decisório, formulação e avaliação das alternativas de decisão e definição, validação e ponderação dos critérios de análise.

### 5.1 ATORES NO PROCESSO DECISÓRIO

Os membros da Diretoria da RPR constituem o grupo decisor, ou seja, são responsáveis pela definição dos objetivos, seleção dos critérios e expressão das preferências para as quais a decisão será orientada. Neste contexto coube à diretoria coordenar a formulação e detalhamento das alternativas estratégicas consideradas no processo de decisão.

O autor deste estudo atuou como analista, fornecendo suporte metodológico e executando os procedimentos necessários para obter, consolidar e analisar as informações utilizadas para subsidiar a decisão.

Além do grupo decisor e do analista, um grupo de especialistas, designado pelo diretor superintendente da RPR, também participou ativamente do processo, provendo informações técnicas para avaliação das alternativas de solução.

Em função da inviabilidade de aferir diretamente as opiniões dos diversos públicos de interesse, os decisores foram orientados a considerar, em sua análise, outras perspectivas já externalizadas (através dos meios de comunicação ou de interações diretas), especialmente em relação a aspectos que pudessem impactar a implementação da estratégia, tais como acesso a fontes de financiamento, enquadramento em programas governamentais ou mesmo redução de eventuais resistências por parte da comunidade ou de organizações sociais.

## 5.2 FORMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

A identificação de um bom conjunto de alternativas é parte importante do processo decisório e, portanto, cabe ao analista prover meios através dos quais seja possível ampliar e qualificar as alternativas a serem analisadas, criando “um conjunto reduzido de alternativas que sejam viáveis, completas, convincentes e diversificadas” (TANI; PARNELL, 2013, p. 150). Como ponto inicial de análise foram considerados os resultados de *workshops* de estratégia realizados anteriormente ao início deste estudo, consolidados em matriz SWOT construída para cada área de atuação compatível com as potencialidades identificadas na RPR. Conforme Hodgkinson *et al.* (2006), a realização de seminários de estratégia é prática comum nos processos formais de planejamento estratégico nas organizações, sendo majoritária a utilização da técnica SWOT, muito mais como estrutura de discussão, do que, propriamente, como ferramenta de análise. As áreas potenciais de atuação identificadas para a RPR foram:

- 1) refino de petróleo;
- 2) distribuição de derivados;
- 3) logística;
- 4) tratamento de resíduos e efluentes;
- 5) reciclagem;
- 6) bioprocessamento.

Estas áreas de atuação são configuráveis, ou seja, a partir de cada uma delas podem ser desdobradas variantes relativas, por exemplo, ao tipo de matéria-prima utilizada (petróleo pesado, leve ou condensado), estratégias comerciais, alocação dos ativos industriais (unidades de processamento, dutos e tancagem), constituindo diferentes **linhas de negócio** que, tomadas em conjunto, configuram uma estratégia empresarial.

Existem diversos modelos para identificar e analisar elementos de estratégia. A tabela de geração de estratégias (*strategy-generation table*), proposta por Howard (1988), é uma ferramenta adequada para tratar, de maneira simples, os aspectos combinatórios da análise de múltiplas alternativas submetidas a diversos condicionantes, tal como se apresenta o problema de analisar as linhas de negócio potencialmente aplicáveis na reconversão industrial da RPR. A tabela utilizada para geração de alternativas é composta de colunas que representam aspectos significativos (direcionadores) para uma definição de negócio. Conforme Tregoe e Zimmerman (1980), decisões de negócio são condicionadas por forças direcionadoras (*driving*

*forces*) entre as quais destacam-se o tipo de produto oferecido, a capacidade de produção, o uso de recursos naturais, demandas de mercado, modalidades de venda, porte e expectativas de crescimento, tecnologias, logística e rentabilidade. No modelo proposto por Howard (1988), para cada coluna são listadas as possíveis opções, mutuamente excludentes, para aquele direcionador específico. As alternativas são, então, definidas selecionando-se uma opção em cada coluna da tabela (TANI; PARNELL, 2013). Conforme Howard (1988, p. 685), o objetivo desta técnica “não é realizar uma busca completa no espaço das alternativas”, mas, sobretudo, ser uma ferramenta de apoio para discussão e seleção de um conjunto significativo de alternativas.

Na matriz de alternativas construída para a RPR (figura 7), a primeira coluna é composta pelas seis áreas de atuação definidas. As demais colunas representam direcionadores de negócio extraídos das matrizes SWOT elaboradas nos seminários de estratégia: nível de investimento requerido, produtos oferecidos, matéria-prima utilizada, mercado, relação com controladores e grau de domínio das tecnologias envolvidas. Neste estudo, portanto, uma linha de negócio representa uma combinação específica de decisões relativas aos direcionadores apresentados em cada coluna da matriz de alternativas.

Com base na matriz de alternativas, analista e decisor discutiram diferentes combinações entre os direcionadores de negócio, analisando sua viabilidade técnica e comercial. Adicionalmente, os arranjos viáveis foram analisados em termos de similaridade e possibilidade de agregação. A figura 7 apresenta exemplo de utilização da técnica que resultou na identificação da linha de negócio REF\_2 (refino de petróleo em todas as unidades).

**Figura 7 - Identificação de elemento na matriz de geração de alternativas**

ATIVIDADE	INVESTIMENTOS	PRODUTO	MAT PRIMA	MERCADO	RELAÇÃO COM CONTROLADORES	TECNOLOGIA
REFINO	BAIXO	COMBUSTÍVEIS	CONDENSADO	PARC SUL RS	INDEPENDÊNCIA	EXISTENTE
DISTRIBUIÇÃO	MÉDIO	NAFTA	TIPO PETRÓLEO	RS	FORNECEDORES	P&D
LOGÍSTICA	ALTO	ASFALTOS	LCO / NAFTA	SUL	CLIENTES	ADQUIRIR
TRAT. RESÍDUOS	MUITO ALTO	OLEOS PROCESSO	RESÍDUO OLEOSO	NACIONAL	CONCORRÊNCIA	
RECICLAGEM		SOLVENTES ESPEC.	RESÍDUO ORGÂNICO	MERCOSUL	PARCERIA	
BIO PROCES.		LUBRIFICANTES	RESÍDUO SÓLIDO			
		PREST SERVIÇOS	RENOVÁVEL			
			NÃO-APLICÁVEL			

Fonte: Elaborada pelo autor



O resultado final da aplicação da matriz de geração de estratégias está apresentado no ANEXO A – Quadro de linhas de negócio.

Com base nos relatórios dos seminários de estratégia e nas análises realizadas com a matriz de geração de estratégias, foram identificadas as seguintes linhas de negócio como potenciais elementos da estratégia de reconversão industrial da RPR:

- 1) Refino de petróleo apenas em unidades de destilação (REF\_1);
- 2) Refino de petróleo em todas as unidades (REF\_2);
- 3) Unidade de testes para centro de pesquisa (UTC);
- 4) Serviços de logística (LOG);
- 5) Tratamento de resíduos e efluentes (TREF);
- 6) Solventes especiais (SOLV);
- 7) Distribuição de solventes (DSOL);
- 8) Formulação de lubrificantes (LUB);
- 9) Biocombustíveis (BIO);
- 10) Reciclagem de Plásticos (REC)

O grupo de especialistas determinou, para cada linha de negócio, parâmetros quantitativos relativos ao valor presente dos investimentos requeridos (VPI), fluxo de caixa médio anual estimado para o período de dez anos (FCA) e o valor presente líquido (VPL) do empreendimento. Adicionalmente, foi definido índice de rentabilidade (IR) resultante da divisão do valor presente líquido (VPL) do empreendimento pelo valor presente do respectivo investimento (VPI).

Conforme definição do problema, as linhas de negócio deverão ser implementadas no mesmo sítio industrial atualmente ocupado pela Refinaria de Petróleo Riograndense, potencializando relações de complementaridade e o uso concorrente dos ativos industriais. As linhas de negócio foram, assim, avaliadas quanto a potenciais interdependências em relação a benefícios auferidos, utilização de recursos e aspectos técnicos, conforme proposto por Fox, Baker e Bryant (1984) e Archer e Ghasemzadeh (1999). No caso de análise de problemas envolvendo a seleção de um conjunto de empreendimentos industriais (portfólio de projetos), estas interdependências devem ser adequadamente tratadas, na medida em que produzem sinergias positivas ou negativas e, portanto, afetam o resultado global da solução. Conforme Almeida e Duarte (2011, p. 303), “pode-se afirmar que existe sinergia entre projetos se o valor total do portfólio contendo estes projetos é maior que a soma dos valores individuais dos projetos”. Para fins de simplificação, as interdependências foram avaliadas apenas entre

pares de linhas de negócio, conforme modelo de interação binária proposto por Fishburn e LaValle (1996), não sendo consideradas as eventuais variações decorrentes da associação de três ou mais linhas de negócio.

Para cada par de linhas de negócio o grupo de especialistas respondeu as seguintes questões:

- 1) Estas linhas de negócio são incompatíveis entre si ?
- 2) Uma destas linhas de negócio é pré-requisito para implementação da outra ?
- 3) A implementação destas linhas de negócio envolve recursos compartilhados (ex: obras civis, infraestrutura logística, insumos ou utilidades)?

Respostas positivas para as questões 1 e 2 indicam a existência de dependências técnicas entre as linhas de negócio, consideradas como restrições para a composição da estratégia de reconversão. Respostas positivas para a questão 3 indicam a existência de sinergias, pois o compartilhamento de recursos potencializa a redução dos investimentos requeridos para implementação das linhas de negócio, assim como pode afetar a capacidade de geração de receita através dos ativos industriais. Para fins deste estudo, foram consideradas significativas apenas variações superiores a 5%, tanto nos valores de investimentos, quanto nas estimativas de custos e receitas com impacto no fluxo de caixa.

Dada a natureza dos recursos envolvidos, algumas linhas de negócio não podem ser implementadas de modo concomitante. As linhas de negócio relativas ao refino (REF\_1 e REF\_2) compartilham os mesmos ativos industriais e, portanto, são mutuamente excludentes. Da mesma forma, as linhas de negócio de biocombustível (BIO) e unidade teste (UTC) são incompatíveis com a atividade de refino em todas as unidades de processo da RPR (REF\_2), pois dependerão de parte destas unidades para viabilizar sua implementação.

Outras linhas de negócio, ao contrário, dependem de outras para sua implementação. A unidade de teste (UTC) deve estar associada à atividade de refino, da mesma forma que a unidade de produção de solventes. A linha de negócio de distribuição de solventes (DSOL) somente é viável se associada à atividade de produção de solventes (SOLV).

Para o tratamento dos resultados das sinergias identificadas, foram criadas variantes (clones) das respectivas linhas de negócio, com características idênticas às originais, mas incorporando as variações calculadas no VPL, VPI e FCA.

Com base em avaliações e estudos de viabilidade técnico-econômica conduzidos pelo grupo de especialistas, as seguintes sinergias entre linhas de negócio (LN) foram identificadas:

- a) Planta de lubrificantes (LUB) e refino de petróleo (REF\_1). Quando associada à atividade de refino, o fluxo de caixa líquido anual (FCA) da LN Lubrificantes é acrescido de US\$ 60 mil. Incluída linha de negócio LUB\_A, mantendo o mesmo VPI e considerando um VPL cerca de 30% superior em função do aumento no FCA.
- b) Planta de biocombustíveis (BIO) e reciclagem de plásticos (REC). A implementação conjunta possibilita economia de US\$ 7.000 mil referentes a instalações de Utilidades, com pequena redução no FCA. Incluídas as linhas de negócio BIO\_B e REC\_B, com redução de US\$ 3.500 mil no VPI previsto em relação às linhas de negócio BIO e REC.
- c) Planta de biocombustíveis (BIO) e refino somente nas unidades de destilação (REF\_1). Incluída linha de negócio REF\_1C considerando redução de US\$ 5.000 mil no custo total de investimento nas unidades de destilação e redução de 12% no fluxo de caixa (FCA), resultando em um VPL cerca de 70% superior à LN REF\_1.
- d) Serviços de logística (LOG) e tratamento de resíduos e efluentes (TREF). Quando implementados simultaneamente, podem compartilhar o investimento relativo à construção de um novo poliduto (refinaria-pier) com custo estimado em US\$ 1.500 mil. Incluídas duas linhas de negócio, LOG\_D e TREF\_D, com VPI reduzido em US\$ 750 mil e redução de 5% na estimativa do FCA de logística e 16% no tratamento de resíduos e efluentes.
- e) Serviços de logística (LOG) e refino de petróleo (REF\_1 ou REF\_2). Os custos de implementação dos serviços de logística simultaneamente com refino aumentam em quase US\$ 3.000 mil. Incluída linha de negócio LOG\_E agregando custos adicionais no VPI e redução de cerca de 15% no FCA. Adicionalmente foi criada LOG\_DE para compatibilizar as sinergias concorrentes (alínea d).

### 5.3 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS

Conforme Stewart (2003), critério é qualquer aspecto, interesse ou ponto de vista através do qual um determinado curso de ação (alternativa) pode ser avaliado e ordenado de modo não ambíguo. Bons critérios são essenciais para avaliar em que medida os objetivos de

uma organização podem ser atendidos pelas diferentes alternativas disponíveis (KEENEY; GREGORY, 2005). O conjunto de critérios a ser utilizado em uma análise multicritério deve atender às seguintes características (BOUYSSOU, 1990; KEENEY; RAIFFA, 1993): completude (garantir que todos os aspectos relevantes para a tomada de decisão estejam representados), operacionalidade (os critérios devem ser adequadamente compreendidos por todos os participantes), independência de preferência (a avaliação de uma alternativa sob um determinado critério não pode depender da avaliação desta alternativa sob outros critérios), não-redundância (evitar que um mesmo aspecto seja ponderado em mais de um critério) e suficiência (utilizar a menor quantidade possível de modo a possibilitar efetiva discriminação das alternativas, sem comprometer o atendimento das demais características).

Adicionalmente, os critérios selecionados devem ser adequadamente mensuráveis, quantitativa ou qualitativamente, assegurando o custo-efetividade da estrutura de mensuração, ou seja, os esforços para coletar e analisar as informações não podem onerar excessivamente os participantes, sob pena de inviabilizar o processo.

Diante de todos esses requisitos, não existe consenso sobre quais critérios devem ser usados em cada situação. Cabe aos decisores, portanto, definirem aqueles critérios que se apresentem mais importantes, sabendo que uma seleção equivocada conduzirá a decisões que não contemplem os objetivos estratégicos de seus controladores (DUTRA; RIBEIRO; CARVALHO, 2014).

O conjunto de critérios utilizado para medir o grau de atingimento do objetivo de **“assegurar a continuidade empresarial sustentável da RPR”** foi definido a partir de modelo de estrutura hierárquica baseado nos três pilares da sustentabilidade, conforme amplamente utilizado em estudos anteriores (DYLLICK; HOCKERTS, 2002; STEURER *et al.*, 2005). Com base nos conceitos de sustentabilidade econômica, social e ambiental, foram definidos, respectivamente, três sub-objetivos que sintetizam, no caso da RPR, a visão de sustentabilidade almejada:

- 1) agregar valor para controladores;
- 2) contribuir para o desenvolvimento regional;
- 3) atuar com responsabilidade ambiental.

Para identificar os critérios que detalham cada um dos três sub-objetivos foram utilizados o modelo do *Global Reporting Initiative* (GRI), citado por Zamcopé, Ensslin e Ensslin (2012) como padrão internacionalmente reconhecido para avaliação da sustentabilidade corporativa, e uma relação de critérios consolidada por Dutra, Ribeiro e

Carvalho (2014) através de revisão sistemática da literatura referente a critérios de avaliação e seleção de portfólios de projetos.

Com base nestas duas fontes foram, inicialmente, identificados 75 indicadores aplicáveis ao contexto de empreendimentos industriais. Os indicadores foram divididos conforme as três dimensões de avaliação de sustentabilidade (econômica, social e ambiental) e agrupados por temas. Considerando a heterogeneidade das informações disponíveis acerca das linhas de negócio em análise, principalmente devido à fase incipiente dos planos de negócio em algumas áreas, tais como biocombustível e reciclagem, os indicadores de natureza quantitativa foram descartados ou agregados em critérios qualitativos. Uma relação de critérios, organizada pelo analista, foi submetida à avaliação dos decisores. Desta forma, considerando a adequação ao problema e a disponibilidade de informações, os decisores selecionaram **14 critérios** para avaliação da sustentabilidade empresarial das alternativas de linhas de negócio.

Para a dimensão “**agregar valor para controladores**” foram selecionados cinco critérios: sinergia com controladores, expectativa de crescimento, potencial de captação de recursos, acesso à matéria-prima e riscos empresariais e tecnológicos.

Para a dimensão “**contribuir para o desenvolvimento regional**” foram selecionados quatro critérios: geração de emprego e renda, retorno em impostos, mercado local de produtos e serviços, e pesquisa e inovação.

Finalmente, para a dimensão “**atuar com responsabilidade ambiental**” foram selecionados cinco critérios: emissões aéreas e efluentes líquidos, riscos de impactos ambientais, consumo de recursos naturais, eficiência energética, e aplicação de tecnologias limpas e produtos sustentáveis.

Dada a relevância dos critérios para o processo de avaliação, torna-se necessário verificar se os critérios selecionados atendem aos requisitos recomendados, tais como não-redundância, completeza, operacionalidade e suficiência (BOUYSSOU, 1990; STEWART, 2003).

Em função da indisponibilidade de dados precisos sobre o comportamento de todas as alternativas em análise, o julgamento das alternativas foi proposto em bases qualitativas, expresso através de termos linguísticos, com natureza subjetiva. As tabelas 1 e 2, definidas na seção 4.2.1, apresentam as variáveis linguísticas e os correspondentes números *fuzzy* triangulares utilizados para avaliar as alternativas, respectivamente, nos critérios de benefícios e riscos.

Com base nos resultados de avaliação preliminar, realizada de modo similar ao descrito na seção 5.4, foi aplicado teste estatístico não-paramétrico através do software SPSS, de modo a apurar o coeficiente de correlação de *Spearman* para cada par de critérios, de modo a identificar potenciais redundâncias nos aspectos avaliados.

Visando preservar a representatividade de cada dimensão (econômica, social e ambiental), foram analisadas apenas as correlações significativas identificadas internamente a cada uma das dimensões de análise.

Para cada correlação significativa identificada foram avaliadas as seguintes ações:

- a) Eliminar um dos critérios, mantendo aquele de maior poder diferenciador;
- b) Mesclar os dois critérios, definindo um novo critério;

Os coeficientes de correlação entre os critérios, apurados em cada dimensão de análise (econômica, social e ambiental), são apresentados nas tabelas 5, 6 e 7.

Na dimensão econômica (tabela 5), o critério de acesso à matéria-prima (**mat\_prima**) apresentou alta correlação com o critério expectativa de crescimento (**crecimento**). Dado o entendimento de que a garantia de acesso à matéria-prima constitui importante fator de vantagem competitiva na indústria petroquímica (FREIRE; JARDIM, 2000), optou-se por incorporar o acesso à matéria-prima nos parâmetros de avaliação do critério de expectativa de crescimento. De modo similar, os critérios captação de recursos (**captação**) e sustentação em relação a riscos empresariais (**risco\_empres**) também apresentaram alta correlação, suprimindo-se o primeiro, pois, além de baixo poder diferenciador (praticamente todas as linhas de negócio avaliadas como razoáveis e boas), restou entendido que dificuldades na captação de recursos para financiar os investimentos implicam em aumento dos riscos do negócio.

**Tabela 5 – Coeficientes de correlação (critérios econômicos)**

CRITÉRIOS	SINERGIA	CRESCIMENTO	CAPTAÇÃO	RISCO_EMPRES	MAT_PRIMA
SINERGIA	1,000	,307	,419	,361	,041
CRESCIMENTO		1,000	,138	,209	,784**
CAPTAÇÃO			1,000	,981***	,466
RISCO_EMPRES				1,000	,541
MAT_PRIMA					1,000

Na dimensão social (tabela 6), o critério de geração direta de emprego e renda (**empregos**) apresentou alta correlação com os critérios geração de impostos (**impostos**) e mercado local de produtos e serviços (**mercado\_local**). Considerando que, sob a perspectiva

do desenvolvimento regional, os empregos diretos gerados nas linhas de negócio avaliadas representam impacto marginal, optou-se por definir um novo critério, sintetizando o conceito de geração de renda, tanto através de empregos diretos, como aqueles indiretos decorrentes do incremento do mercado local de produtos e serviços. Interessante destacar a identificação de correlações negativas entre o critério de pesquisa e inovação (**pesquisa**) e os demais critérios considerados na dimensão social. Embora as interações formais e informais entre indústria e instituições locais para a promoção do processo de inovação constituam importante fator para o desenvolvimento regional (DINIZ, 2001), os efeitos positivos sobre outros fatores, como empregos, impostos e mercado local, somente são perceptíveis no médio e longo prazo.

**Tabela 6 – Coeficientes de correlação (critérios sociais)**

CRITERIOS	EMPREGOS	IMPOSTOS	MERCADO_LOCAL	PESQUISA
EMPREGOS	1,000	,750**	,718**	-,542
IMPOSTOS		1,000	,482	-,503
MERCADO_LOCAL			1,000	-,311
PESQUISA				1,000

Na dimensão ambiental (tabela 7), a presença de correlações significativas entre, praticamente, todos os diversos critérios exigiu uma redefinição mais ampla dos critérios. Os critérios de emissões aéreas e efluentes líquidos (**emissões**) e tecnologias limpas e produtos sustentáveis (**tec\_limpa**) foram agregados em um critério relativo à sustentabilidade em relação ao tipo de matéria-prima utilizada e produtos gerados. Os critérios de consumo de recursos ambientais (**água**) e eficiência energética (**energia**) foram agregados em um critério relativo à eficiência ambiental dos processos industriais. Finalmente, o critério de espectro mais amplo de riscos ambientais foi direcionado para focar no potencial de acidentes com impacto ambiental.

**Tabela 7 – Coeficientes de correlação (critérios ambientais)**

CRITERIOS	EMISSÕES	RISCO_AMB	AGUA	TEC_LIMPA	ENERGIA
EMISSÕES	1,000	,299	,093	,927**	,189
RISCO_AMB		1,000	,801**	,530	,938**
AGUA			1,000	,208	,742**
TEC_LIMPA				1,000	,426
ENERGIA					1,000

Além da característica de não redundância, foi verificada a suficiência dos critérios selecionados para a avaliação das estratégias, sendo identificada a necessidade de inclusão de

critério representativo da atratividade do investimento em termos de eficiência econômica. A avaliação da atratividade econômica de qualquer projeto empresarial depende, basicamente, do volume de investimentos requeridos, dos benefícios esperados e do tempo de vida útil do empreendimento, sendo especialmente complexa quando envolve alternativas de diferentes portes (MIAN, 2011). Optou-se pela utilização de um índice de rentabilidade, calculado pela divisão do valor presente líquido (VPL) pelo valor do investimento (VPI).

#### 5.4 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS ALTERNATIVAS

O processo de avaliação das alternativas foi realizado por grupo de especialistas, organizado de modo a obter um resultado que representasse o consenso do grupo. Durante esse processo, possibilitou-se a interação entre especialista e analista, de modo que, em função de eventuais inconsistências observadas, os parâmetros de avaliação pudessem ser revisados para garantir uma melhor discriminação das alternativas. Foram adotados procedimentos visando reduzir incidência de vieses comuns em processos de avaliação qualitativos, tais como ambiguidade, tendência central e superavaliação.

Para evitar desvios decorrentes do mau entendimento dos elementos sob análise, foram fornecidos ao grupo de especialistas, além da descrição das linhas de negócio, os quadros identidade de cada um dos critérios (ANEXO B). A identidade dos critérios é composta de três informações básicas: (i) descrição do critério; (ii) justificativa de utilização do critério dentro do contexto do problema; (iii) parâmetros a serem observados na avaliação das alternativas. Nos parâmetros de avaliação os elementos da escala são associados a diferentes níveis de desempenho, descritos na forma de minicenários, de modo que cada alternativa possa ser classificada no minicenário que melhor representar seu desempenho esperado em relação àquele critério (NICHOLS; HIPPEL; STEWART, 2000).

De modo a evitar viés decorrente da tendência central (no qual o avaliador evita proferir julgamentos extremos, posicionando todos os objetos próximos ao centro da escala), a escala de avaliação foi construída de modo a constituir um espaço de avaliação com extremos definidos pela pior e pela melhor condição observada entre os objetos sob análise, em uma variante da escala de diferencial semântico. Os parâmetros de avaliação foram, então, definidos de modo que, na escala de avaliação, os conceitos “ótimo” e “péssimo”



representassem, respectivamente, o melhor e o pior comportamento possível para cada um dos critérios, consideradas as condições do problema. Dessa forma, buscou-se, em cada critério, ter, pelo menos, uma linha de negócio classificada como “ótima” e uma linha de negócio classificada como “péssima”, distribuindo as demais alternativas de acordo com a escala e parâmetros definidos para o critério. Ao associar o limite inferior da escala às características da alternativa de pior desempenho, o procedimento de avaliação buscou evitar o fenômeno relatado por Ghisi, Merlo e Nagano (2006), no qual os respondentes apresentam uma predisposição a considerar importantes todos os atributos avaliados, sem conseguir, efetivamente, discriminar os diferentes atributos.

## 5.5 PONDERAÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS CRITÉRIOS

O processo de decisão requer, por parte dos decisores, uma reflexão explícita sobre suas preferências e valores (STEWART; LOSA, 2003). Conforme Belton e Hogdkin (1999), o conceito de importância (ou peso) dos critérios, enquanto parte do sistema de preferências, é fundamental para a maioria dos métodos de análise multicritério. No entanto, não raras vezes, este conceito não é totalmente compreendido pelos tomadores de decisão. Dessa forma, obter uma adequada e consistente ponderação dos critérios é condição essencial para garantir a acurácia de seus resultados (OLSON *et al.*, 1995). Embora o método TOPSIS não inclua nenhum mecanismo específico para suportar o processo de elicitação dos critérios, diversas técnicas podem ser aplicadas na definição dos valores (pesos) relativos à importância relativa dos critérios, incluindo procedimentos analíticos, simulações ou abordagens empíricas (JANIC; REGGIANI, 2002). Considerando a senioridade do grupo decisor envolvido, optou-se por aplicar um procedimento empírico de atribuição direta dos pesos (*direct rating*), utilizando a experiência e o discernimento dos decisores para determinar uma estrutura de preferências *a priori* consistente com o processo de decisão.

Os dez critérios devidamente validados foram submetidos ao grupo decisor, de modo que estes ponderassem a importância relativa dos mesmos no processo de avaliação das linhas de negócio. Visando reduzir a ambiguidade que, conforme Bouyssou *et al.* (2006) constitui um dos principais problemas deste tipo de abordagem, foram estabelecidos parâmetros e condições para balizar o julgamento.

Cada um dos três decisores recebeu um formulário (ANEXO C) no qual constavam os dez critérios, ordenados em ordem alfabética, com instruções detalhadas para o seu preenchimento. Os decisores inicialmente ordenaram os critérios em ordem crescente de importância em relação à sua contribuição para “assegurar a continuidade empresarial sustentável da RPR”. Com base nesta ordenação, os decisores, então, classificaram os critérios conforme escala de cinco pontos (tabela 3 – seção 4.2.1), considerando as seguintes condições:

- 1) ao critério associado à posição “1” atribuir importância “Muito Baixa”;
- 2) ao critério associado à posição “10” atribuir importância “Muito Alta”;
- 3) classificar os demais critérios de modo a representar os respectivos níveis de importância relativa.

O quadro 1 apresenta a importância atribuída pelos três decisores a cada um dos critérios. As preferências emitidas pelos decisores refletem as diferentes perspectivas envolvidas neste tipo de problema. O Decisor 1 distribui suas preferências de forma razoavelmente equitativa, tendo em cada dimensão de análise, pelo menos, um critério assinalado como alto ou muito alto e, pelo menos, um outro critério assinalado como baixo ou muito baixo. Os dois outros decisores apresentam claro viés reducionista em relação a uma das dimensões. Enquanto o Decisor 2 minimiza a importância dos critérios relativos à dimensão social (C4=Média, C5=Muito baixa C6=Baixa), o Decisor 3 faz o mesmo em relação à dimensão ambiental (C7=Muito baixa, C8=Baixa e C9=Baixa). Cabe destacar que este viés no julgamento não significa eventual negligência com uma dimensão específica de desempenho, mas diferenças na perspectiva em relação às condições de sustentabilidade. Diferentes estruturas de preferência indicam a existência de diferentes percepções sobre quais atributos de uma linha de negócio exercem maior impacto na continuidade empresarial sustentável da RPR. Um dos principais desafios do processo decisório realizado em grupo é obter uma estrutura de preferências que represente o conjunto das percepções dos decisores.

Quadro 1 – Importância dos critérios

ID	CRITÉRIO	DECISOR 1	DECISOR 2	DECISOR 3
C1	Expectativa de crescimento	Alta	Média	Alta
C2	Exposição a riscos empresariais	Baixa	Média	Muito Baixa
C3	Sinergia com controladores	Muito Alta	Muito Alta	Baixa
C4	Geração de renda	Alta	Média	Muito Alta
C5	Retorno em impostos	Média	Muito Baixa	Alta
C6	Pesquisa e Inovação	Muito Baixa	Baixa	Média
C7	Processos industriais eficientes	Baixa	Alta	Muito Baixa
C8	Produtos amb. sustentáveis	Alta	Alta	Baixa
C9	Exposição a riscos ambientais	Muito Alta	Muito Alta	Baixa
C10	Rentabilidade	Muito Alta	Alta	Alta

Fonte: Elaborado pelo autor

## 6 SOLUÇÃO DO MODELO

O modelo de decisão aplicado para a seleção da estratégia de reconversão industrial da RPR é baseado em abordagem integrada, na qual um conjunto de técnicas de análise é utilizado para avaliação, ordenação e seleção das alternativas.

Neste capítulo são apresentadas as três etapas da solução do modelo (figura 8): análise e ordenação das linhas de negócio, identificação de estratégias-candidatas e seleção de estratégia.

**Figura 8 – Etapas da solução do modelo**



Fonte: Elaborada pelo autor

### 6.1 ANÁLISE DE LINHAS DE NEGÓCIO COM O MÉTODO *FUZZY*-TOPSIS

O objetivo desta etapa é obter, através da aplicação do método *fuzzy* TOPSIS, escores numéricos representativos do desempenho de cada uma das linhas de negócio em relação ao conjunto de critérios avaliados. A partir do modelo definido e estruturado, o método *fuzzy* TOPSIS foi aplicado conforme descrito na seção 4.2.3.

Com base nos termos linguísticos definidos nas tabelas 1 e 2 e na avaliação realizada pelo grupo de especialistas (tabela 8), foi construída a matriz de decisão *fuzzy* (tabela 9), relativa às avaliações das linhas de negócio sob cada um dos dez critérios de análise.

Tabela 8 - Avaliação das linhas de negócio

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
REF_1	PESSIMO	BAIXA	BOM	RUIM	RUIM	RAZOAVEL	RUIM	RAZOAVEL	ALTA	PESSIMO
REF_2	RUIM	MEDIA	BOM	RAZOAVEL	RAZOAVEL	RAZOAVEL	PESSIMO	RUIM	MUITO ALTA	RUIM
UTC	RUIM	BAIXA	RAZOAVEL	RUIM	PESSIMO	BOM	RUIM	PESSIMO	ALTA	PESSIMO
LOG	OTIMO	MUITO BAIXA	OTIMO	PESSIMO	RUIM	BOM	BOM	BOM	BAIXA	BOM
TREF	OTIMO	MUITO BAIXA	OTIMO	PESSIMO	RUIM	OTIMO	OTIMO	BOM	BAIXA	OTIMO
SOLV	RAZOAVEL	BAIXA	BOM	RAZOAVEL	RAZOAVEL	RAZOAVEL	RUIM	RAZOAVEL	ALTA	BOM
DSOL	RAZOAVEL	BAIXA	PESSIMO	RAZOAVEL	RAZOAVEL	PESSIMO	BOM	BOM	MUITO BAIXA	OTIMO
LUB	BOM	MEDIA	RAZOAVEL	BOM	BOM	RAZOAVEL	RAZOAVEL	RAZOAVEL	MEDIA	RAZOAVEL
BIO	RAZOAVEL	ALTA	BOM	BOM	OTIMO	BOM	BOM	OTIMO	ALTA	RUIM
REC	RUIM	MUITO ALTA	BOM	OTIMO	RUIM	OTIMO	BOM	BOM	ALTA	RUIM

Tabela 9 - Matriz de decisão *fuzzy*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
REF_1	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(1, 1, 3)
REF_2	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(7, 9, 9)	(1, 3, 5)
UTC	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 1, 3)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(1, 1, 3)	(5, 7, 9)	(1, 1, 3)
LOG	(7, 9, 9)	(1, 1, 3)	(7, 9, 9)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)
TREF	(7, 9, 9)	(1, 1, 3)	(7, 9, 9)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(7, 9, 9)	(7, 9, 9)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(7, 9, 9)
SOLV	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
DSOL	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 1, 3)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 1, 3)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(1, 1, 3)	(7, 9, 9)
LUB	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)
BIO	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(7, 9, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(7, 9, 9)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)
REC	(1, 3, 5)	(7, 9, 9)	(5, 7, 9)	(7, 9, 9)	(1, 3, 5)	(7, 9, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)

Os dados da matriz de decisão *fuzzy* foram normalizados através de transformação linear, conforme descrito no passo 2 da seção 4.2.3. Por exemplo, a normalização da avaliação da linha de negócio REF\_2 relativa ao critério C1 (critério relativo a benefícios, assim como C3, C4, C5, C6, C7, C8 e C10), foi obtida da seguinte forma:

$$\tilde{r}_{11} = \left( \frac{1}{9}, \frac{3}{9}, \frac{5}{9} \right) = (0,11; 0,33; 0,55)$$

A normalização da linha de negócio REF1 relativa ao critério C2 (critério relativo a riscos, assim como C9) foi obtida da seguinte forma:

$$\tilde{r}_{12} = \left( \frac{1}{5}, \frac{1}{3}, \frac{1}{1} \right) = (0,2; 0,33; 1)$$

As avaliações dadas por cada um dos decisores em relação à importância relativa de cada um dos critérios (ver quadro 1), foram traduzidas de seus termos linguísticos para números *fuzzy* triangulares (conforme tabela 3) e agregadas de forma a obter avaliação representativa do grupo de decisores.

O escore agregado de cada critério foi obtido conforme descrito no passo 3 das seção 4.2.3. Por exemplo, o escore agregado  $\tilde{w}_j = w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}$  para o critério C1 foi calculado da seguinte forma:

$$w_{11} = \min(5,3,5), \quad w_{12} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 (7,5,7), \quad w_{13} = \max(9,7,9)$$

$$\tilde{w}_1 = (3; 6,3; 9)$$

A tabela 10 apresenta os escores individuais e agregados para cada critério.

**TABELA 10 - Importância dos critérios: escores individuais e agregados**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
<b>DECISOR 1</b>	(5; 7; 9)	(1; 3; 5)	(7; 9; 9)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(1; 1; 3)	(1; 3; 5)	(5; 7; 9)	(7; 9; 9)	(7; 9; 9)
<b>DECISOR 2</b>	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(7; 9; 9)	(3; 5; 7)	(1; 1; 3)	(1; 3; 5)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(7; 9; 9)	(5; 7; 9)
<b>DECISOR 3</b>	(5; 7; 9)	(1; 1; 3)	(1; 3; 5)	(7; 9; 9)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(1; 1; 3)	(1; 3; 5)	(1; 3; 5)	(5; 7; 9)
<b>GRUPO</b>	(3; 6,33; 9)	(1; 3; 7)	(1; 7; 9)	(3; 7; 9)	(1; 4,33; 9)	(1; 3; 7)	(1; 3,66; 9)	(1; 5,66; 9)	(1; 7; 9)	(1; 7,66; 9)

Os valores normalizados das avaliações das linhas de negócio conforme cada uma dos critérios estão apresentados na tabela 11.

Com base na matriz de decisão *fuzzy* normalizada e nos valores agregados da importância dos critérios (linha GRUPO na tabela 10) foram calculados os valores normalizados e ponderados, consolidados na tabela 12, conforme passo 4 da seção 4.2.3.

**Tabela 11 - Matriz de decisão normalizada**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
REF_1	(0,11; 0,11; 0,33)	(0,2; 0,33; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,11; 0,14; 0,2)	(0,11; 0,11; 0,33)
REF_2	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,14; 0,2; 0,33)	(0,55; 0,77; 1)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,11; 0,11; 0,33)	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,11; 0,11; 0,14)	(0,11; 0,33; 0,55)
UTC	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,2; 0,33; 1)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,11; 0,11; 0,33)	(0,55; 0,77; 1)	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,11; 0,11; 0,33)	(0,11; 0,14; 0,2)	(0,11; 0,11; 0,33)
LOG	(0,77; 1; 1)	(0,33; 1; 1)	(0,77; 1; 1)	(0,11; 0,11; 0,33)	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,2; 0,33; 1)	(0,55; 0,77; 1)
TREF	(0,77; 1; 1)	(0,33; 1; 1)	(0,77; 1; 1)	(0,11; 0,11; 0,33)	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,77; 1; 1)	(0,77; 1; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,2; 0,33; 1)	(0,77; 1; 1)
SOLV	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,2; 0,33; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,11; 0,14; 0,2)	(0,55; 0,77; 1)
DSOL	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,2; 0,33; 1)	(0,11; 0,11; 0,33)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,11; 0,11; 0,33)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,33; 1; 1)	(0,77; 1; 1)
LUB	(0,55; 0,77; 1)	(0,14; 0,2; 0,33)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,14; 0,2; 0,33)	(0,33; 0,55; 0,77)
BIO	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,11; 0,14; 0,2)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,77; 1; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,77; 1; 1)	(0,11; 0,14; 0,2)	(0,11; 0,33; 0,55)
REC	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,11; 0,11; 0,14)	(0,55; 0,77; 1)	(0,77; 1; 1)	(0,11; 0,33; 0,55)	(0,77; 1; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,11; 0,14; 0,2)	(0,11; 0,33; 0,55)

**Tabela 12 - Matriz de decisão normalizada e ponderada**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
REF_1	(0,33; 0,7; 3)	(0,2; 1; 7)	(0,55; 5,44; 9)	(0,33; 2,33; 5)	(0,11; 1,44; 5)	(0,33; 1,66; 5,44)	(0,11; 1,22; 5)	(0,33; 3,14; 7)	(0,11; 1; 1,8)	(0,55; 0,85; 3)
REF_2	(0,33; 2,11; 5)	(0,14; 0,6; 2,33)	(0,55; 5,44; 9)	(1; 3,88; 7)	(0,33; 2,4; 7)	(0,33; 1,66; 5,44)	(0,11; 0,4; 3)	(0,11; 1,88; 5)	(0,11; 0,77; 1,28)	(0,55; 2,55; 5)
UTC	(0,33; 2,11; 5)	(0,2; 1; 7)	(0,33; 3,88; 7)	(0,33; 2,33; 5)	(0,11; 0,48; 3)	(0,55; 2,33; 7)	(0,11; 1,22; 5)	(0,11; 0,62; 3)	(0,11; 1; 1,8)	(0,55; 0,85; 3)
LOG	(2,33; 6,33; 9)	(0,33; 3; 7)	(0,77; 7; 9)	(0,33; 0,77; 3)	(0,11; 1,44; 5)	(0,55; 2,33; 7)	(0,55; 2,85; 9)	(0,55; 4,4; 9)	(0,2; 2,33; 9)	(2,77; 5,96; 9)
TREF	(2,33; 6,33; 9)	(0,33; 3; 7)	(0,77; 7; 9)	(0,33; 0,77; 3)	(0,11; 1,44; 5)	(0,77; 3; 7)	(0,77; 3,66; 9)	(0,55; 4,4; 9)	(0,2; 2,33; 9)	(3,88; 7,66; 9)
SOLV	(1; 3,51; 7)	(0,2; 1; 7)	(0,55; 5,44; 9)	(1; 3,88; 7)	(0,33; 2,4; 7)	(0,33; 1,66; 5,44)	(0,11; 1,22; 5)	(0,33; 3,14; 7)	(0,11; 1; 1,8)	(2,77; 5,96; 9)
DSOL	(1; 3,51; 7)	(0,2; 1; 7)	(0,11; 0,77; 3)	(1; 3,88; 7)	(0,33; 2,4; 7)	(0,11; 0,33; 2,33)	(0,55; 2,85; 9)	(0,55; 4,4; 9)	(0,33; 7; 9)	(3,88; 7,66; 9)
LUB	(1,66; 4,92; 9)	(0,14; 0,6; 2,33)	(0,33; 3,88; 7)	(1,66; 5,44; 9)	(0,55; 3,37; 9)	(0,33; 1,66; 5,44)	(0,33; 2,03; 7)	(0,33; 3,14; 7)	(0,14; 1,4; 3)	(1,66; 4,25; 7)
BIO	(1; 3,51; 7)	(0,11; 0,42; 1,4)	(0,55; 5,44; 9)	(1,66; 5,44; 9)	(0,77; 4,33; 9)	(0,55; 2,33; 7)	(0,55; 2,85; 9)	(0,77; 5,66; 9)	(0,11; 1; 1,8)	(0,55; 2,55; 5)
REC	(0,33; 2,11; 5)	(0,11; 0,33; 1)	(0,55; 5,44; 9)	(2,33; 7; 9)	(0,11; 1,44; 5)	(0,77; 3; 7)	(0,55; 2,85; 9)	(0,55; 4,4; 9)	(0,11; 1; 1,8)	(0,55; 2,55; 5)



Por exemplo, o valor normalizado e ponderado  $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(x) \tilde{w}_j$ , correspondente à avaliação da linha de negócio REF\_1 sob o critério C1, foi obtido da seguinte forma:

$$\tilde{v}_{11} = \tilde{r}_{11}(x) \tilde{w}_1$$

$$\tilde{v}_{11} = (0,11; 0,11; 0,33)(x) (3; 6,33; 9) = (0,33; 0,70; 3)$$

Foram definidos os vetores  $A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_{10}^*)$  e  $A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_{10}^-)$ , referentes, respectivamente, à solução ideal positiva e à solução ideal negativa, conforme descrito no passo 5 da seção 4.2.3.

**Tabela 13 - Soluções ideais positiva e negativa**

	Solução Ideal Positiva	Solução Ideal Negativa
C1	(9; 9; 9)	(0,33; 0,33; 0,33)
C2	(7; 7; 7)	(0,11; 0,11; 0,11)
C3	(9; 9; 9)	(0,11; 0,11; 0,11)
C4	(9; 9; 9)	(0,33; 0,33; 0,33)
C5	(9; 9; 9)	(0,11; 0,11; 0,11)
C6	(7; 7; 7)	(0,11; 0,11; 0,11)
C7	(9; 9; 9)	(0,11; 0,11; 0,11)
C8	(9; 9; 9)	(0,11; 0,11; 0,11)
C9	(9; 9; 9)	(0,11; 0,11; 0,11)
C10	(9; 9; 9)	(0,55; 0,55; 0,55)

Para cada linha de negócio foi determinado o grau de separação entre o desempenho atribuído e a respectiva solução ideal (positiva e negativa), utilizando método dos vértices proposto por Chen (2000) para calcular as distâncias entre dois números *fuzzy* triangulares, da seguinte forma:

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]}$$

Conforme definido no passo 6 da seção 4.2.3, o somatório das distâncias calculadas corresponderá à distância total da linha de negócio em relação a soluções ideais (positivas e

negativas). No caso da linha de negócio LOG, as distâncias em relação às soluções ideais positivas são calculadas da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 d^* = & \\
 & \sqrt{\frac{1}{3} [(2,33 - 9)^2 + (6,33 - 9)^2 + (9 - 9)^2]} + \\
 & \sqrt{\frac{1}{3} [(0,33 - 7)^2 + (3 - 7)^2 + (7 - 7)^2]} + \\
 & \sqrt{\frac{1}{3} [(0,78 - 9)^2 + (7 - 9)^2 + (9 - 9)^2]} + \\
 & \sqrt{\frac{1}{3} [(0,33 - 9)^2 + (0,78 - 9)^2 + (3 - 9)^2]} + \\
 & \sqrt{\frac{1}{3} [(0,11 - 9)^2 + (1,44 - 9)^2 + (5 - 9)^2]} + \\
 & \sqrt{\frac{1}{3} [(0,56 - 7)^2 + (2,33 - 7)^2 + (7 - 7)^2]} + \\
 & \sqrt{\frac{1}{3} [(0,33 - 9)^2 + (2,04 - 9)^2 + (7 - 9)^2]} + \\
 & \sqrt{\frac{1}{3} [(0,56 - 9)^2 + (4,41 - 9)^2 + (9 - 9)^2]} + \\
 & \sqrt{\frac{1}{3} [(0,2 - 9)^2 + (2,33 - 9)^2 + (9 - 9)^2]} + \\
 & \sqrt{\frac{1}{3} [(2,78 - 9)^2 + (5,96 - 9)^2 + (9 - 9)^2]}
 \end{aligned}$$

$$d^* = (4,1 + 4,5 + 4,9 + 7,7 + 7,1 + 4,6 + 6,5 + 5,5 + 6,4 + 4,0) = 55,4$$

A tabela 14 apresenta, para cada linha de negócio, a distância ( $d^*$ ) em relação à solução ideal positiva e a distância ( $d^-$ ) em relação à solução ideal negativa em cada um dos critérios.

Finalmente, o coeficiente de proximidade ( $CP_i$ ) de cada uma das alternativas foi calculado, conforme indicado no passo 7 da seção 4.2.3, utilizando os parâmetros calculados no passo anterior, pela seguinte fórmula:

$$CP_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*}$$

Tabela 14 - Distâncias em relação às soluções ideais (positiva e negativa)

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	<i>d</i>
REF_1	$d^+$	7,74	5,23	5,28	6,72	7,12	5,01	7,19	6,14	8,05	7,60	66,14
	$d^-$	1,55	4,01	5,99	2,93	2,92	3,21	2,89	4,34	1,10	1,42	30,39
REF_2	$d^+$	6,79	6,04	5,28	5,60	6,39	5,01	7,93	6,96	8,28	6,55	64,88
	$d^-$	2,88	1,31	5,99	4,37	4,19	3,21	1,67	3,00	0,77	2,81	30,24
UTC	$d^+$	6,79	5,23	5,92	6,72	7,90	4,59	7,19	7,85	8,05	7,60	67,90
	$d^-$	2,88	4,01	4,53	2,93	1,68	4,18	2,89	1,69	1,10	1,42	27,34
LOG	$d^+$	4,14	4,48	4,88	7,71	7,12	4,59	6,03	5,54	6,37	3,99	54,90
	$d^-$	6,19	4,31	6,50	1,56	2,92	4,18	5,37	5,70	5,29	5,92	47,99
TREF	$d^+$	4,14	4,48	4,88	7,71	7,12	4,27	5,65	5,54	6,37	3,04	53,26
	$d^-$	6,19	4,31	6,5	1,56	2,92	4,33	5,54	5,7	5,29	6,65	49,02
SOLV	$d^+$	5,71	5,23	5,28	5,60	6,39	5,01	7,19	6,14	8,05	3,99	58,65
	$d^-$	4,28	4,01	5,99	4,37	4,19	3,21	2,89	4,34	1,1	5,92	40,34
DSOL	$d^+$	5,71	5,23	7,80	5,60	6,39	6,15	6,03	5,54	5,13	3,04	56,67
	$d^-$	4,28	4,01	1,71	4,37	4,19	1,28	5,37	5,7	6,49	6,65	44,10
LUB	$d^+$	4,84	6,04	5,92	4,70	5,85	5,01	6,52	6,14	7,57	5,17	57,81
	$d^-$	5,71	1,31	4,53	5,85	5,47	3,21	4,13	4,34	1,82	4,33	40,75
BIO	$d^+$	5,71	6,37	5,28	4,70	5,45	4,59	6,03	5,12	8,05	6,55	57,91
	$d^-$	4,28	0,76	5,99	5,85	5,69	4,18	5,37	6,06	1,1	2,81	42,14
REC	$d^+$	6,79	6,52	5,28	4,01	7,12	4,27	6,03	5,54	8,05	6,55	60,22
	$d^-$	2,88	0,52	5,99	6,41	2,92	4,33	5,37	5,7	1,1	2,81	38,07

Valores de CP próximos de um indicam que a alternativa está mais próxima da solução positiva ideal e mais distante da solução negativa ideal. Portanto, a relação de preferência entre as alternativas será construída em ordem decrescente de seus respectivos CPs, ou seja, quanto maior o coeficiente de proximidade, melhor a alternativa.

## 6.2 IDENTIFICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS CANDIDATAS

O objetivo desta etapa é identificar, a partir da avaliação das linhas de negócio, estratégias viáveis de reconversão industrial. No contexto deste estudo, entende-se estratégia de reconversão industrial como um conjunto (portfólio) constituído por duas ou mais linhas de negócio implementadas de forma integrada, que possa garantir a sustentabilidade empresarial da RPR. A identificação de diferentes portfólios deve considerar, além da contribuição individual de cada alternativa, as diretrizes estratégicas, eventuais sinergias (positiva ou negativa) entre as linhas de negócio, assim como as restrições técnicas e orçamentárias definidas pelo decisor.

Para avaliação dos portfólios foi considerado o conjunto de linhas de negócio definido na seção 5.2, incluindo as variantes (clones) geradas em função das interdependências identificadas entre as linhas de negócio.

Os dados relativos às linhas de negócio utilizados para a solução do modelo estão consolidados na tabela 15. Nas primeiras três colunas estão os dados obtidos através da aplicação do método *fuzzy* TOPSIS, coeficiente de proximidade e distância em relação às soluções idealmente positivas e negativas. Nas quatro colunas seguintes estão os dados relativos à avaliação econômica da implementação de cada empreendimento (linha de negócio), utilizados para estruturar os cenários de análise.

Dado o caráter combinatório do problema, a identificação das estratégias viáveis foi realizada através de modelo de programação matemática, conforme descrito na seção 4.3, resolvidos através da ferramenta *Solver* na planilha eletrônica Microsoft Excel® versão 14 com aplicação do método de solução LP SIMPLEX.

Apesar de algumas limitações técnicas, as planilhas eletrônicas são amplamente utilizadas no meio empresarial, principalmente em função de sua interface gráfica simples e intuitiva, baixo custo operacional e, no caso de problemas envolvendo simulação e otimização, facilidade para implementar modelos de programação na própria planilha através da ferramenta *Solver* (GOMES; CHAVES, 2012). Dessa forma, mesmo sem os recursos oferecidos por ferramentas de otimização como CPLEX, AMPL ou GAMS, o *solver* aplicado em planilhas eletrônicas constitui uma plataforma prática e econômica para modelagem de problemas reais, facilitando, inclusive, a manipulação dos modelos por não-especialistas em programação ou pesquisa operacional.

Tabela 15 - Dados básicos das linhas de negócio

COD	C*	D+	D-	VPL	VPI	FCA	IR
REF_1	0,3148	66,14	30,39	2,50	25,00	2,75	0,10
REF_1C	0,3148	66,14	30,39	4,20	20,00	2,42	0,21
REF_2	0,3179	64,88	30,24	14,00	40,00	5,40	0,35
UTC	0,2871	67,90	27,34	0,01	0,10	0,01	0,05
LOG	0,4664	54,90	47,99	24,90	5,00	2,99	4,98
LOG_D	0,4664	54,90	47,99	23,25	4,25	2,75	5,47
LOG_E	0,4664	54,90	47,99	18,30	8,00	2,63	2,29
LOG_DE	0,4664	54,90	47,99	19,05	7,25	2,63	2,63
TREF	0,4793	53,26	49,02	24,75	4,50	2,93	5,50
TREF_D	0,4793	53,26	49,02	20,75	3,75	2,45	5,53
SOLV	0,4075	58,65	40,34	5,00	2,00	0,70	2,50
DSOL	0,4376	56,67	44,10	3,00	0,50	0,35	6,00
LUB	0,4135	57,81	40,75	2,10	2,00	0,41	1,05
LUB_A	0,4135	57,81	40,75	2,70	2,00	0,47	1,35
BIO	0,4212	57,91	42,14	18,00	50,00	6,80	0,36
BIO_B	0,4212	57,91	42,14	17,70	46,50	6,42	0,38
REC	0,3874	60,22	38,07	13,20	60,00	7,32	0,22
REC_B	0,3874	60,22	38,07	14,10	56,50	7,06	0,25

A figura 9 mostra um trecho da planilha na qual foi modelado o problema de programação linear inteira (PLI). Neste modelo todas as variáveis de decisão assumem valores binários, representando a presença (ou ausência) de uma determinada linha de negócio na composição de uma estratégia. Para facilitar a “leitura” das equações no modelo, as células da planilha referentes às variáveis de decisão foram rotuladas com o nome da linha de negócio que representam, por exemplo, a célula N18 recebeu o nome “LOG” e a célula N31 recebeu o nome “REC\_B”. Da mesma forma, as células nas quais são indicados os parâmetros utilizados para definir os cenários de solução do modelo receberam rótulos relativos às variáveis representadas.

Conforme descrito na seção 4.3, o modelo de PLI foi analisado considerando duas funções objetivo alternativas. A primeira foi definida, na planilha, como a soma dos produtos entre os escores TOPSIS de cada linha de negócio (células H14:H31) e variáveis de decisão (células N14:N31). A segunda função visa minimizar a separação entre o desempenho das linhas de negócio e a solução considerada idealmente positiva, sendo definida, na planilha,

como a soma dos produtos entre as células das variáveis de decisão e as respectivas distâncias D+ (células I14:I31), calculadas conforme passo 6 da seção 4.2.3).

Figura 9 – Tela do modelo em MS-Excel

COD	DESCRIÇÃO	VPL	VPI	FCA	C+	D+	D-	VAR. DECISAO
REF_1	Refino Unid Destilação	2,50	25,00	2,75	0,3148	66,1381	30,3891	0
REF_1C	Refino Unid Destilação (C)	4,20	20,00	2,42	0,3148	66,1381	30,3891	0
REF_2	Refino Todas Unidades	14,00	40,00	5,40	0,3179	64,8810	30,2447	0
UTC	Unidade teste Centro Pesquisa	0,01	0,10	0,01	0,2871	67,9004	27,3442	0
LOG	Serviços de Logística	24,90	5,00	2,99	0,4664	54,9041	47,9892	0
LOG_D	Serviços de Logística (D)	23,25	4,25	2,75	0,4664	54,9041	47,9892	0
LOG_E	Serviços de Logística (E)	18,30	8,00	2,63	0,4664	54,9041	47,9892	0
LOG_DE	Serviços de Logística (DE)	19,05	7,25	2,63	0,4664	54,9041	47,9892	0
TREF	Tratamento de Efluentes	24,75	4,50	2,93	0,4793	53,2608	49,0246	0
TREF_D	Tratamento de Efluentes (D)	20,75	3,75	2,45	0,4793	53,2608	49,0246	0
SOLV	Solventes Especiais	5,00	2,00	0,70	0,4075	58,6495	40,3425	0
DSOL	Distribuição de Solventes	3,00	0,50	0,35	0,4376	56,6691	44,1028	0
LUB	Formulação de Lubrificantes	2,10	2,00	0,41	0,4135	57,8070	40,7545	0
LUB_A	Formulação de Lubrificantes (A)	2,70	2,00	0,47	0,4135	57,8070	40,7545	0
BIO	Biocombustíveis	18,00	50,00	6,80	0,4212	57,9070	42,1376	0
BIO_B	Biocombustíveis (B)	17,70	46,50	6,42	0,4212	57,9070	42,1376	0
REC	Reciclagem de Plásticos	13,20	60,00	7,32	0,3874	60,2183	38,0739	0
REC_B	Reciclagem de Plásticos (B)	14,10	56,50	7,06	0,3874	60,2183	38,0739	0

PARÂMETROS DE CENÁRIO		FUNÇÃO OBJETIVO	
INVESTIMENTOS (VPI MAX)	40,00		
F CAIXA ANUAL (FCA MINIMO)	5,00	0	MAX ESCORES TOPSIS
RTO MINIMA DE LN	2,00		
RENTABILIDADE MIN (R MIN)	0,00	0	MIN DISTANCIA P/ SOL IDEAL POSITIVA (D+)

Fonte: elaborada pelo autor

O modelo foi solucionado em quatro cenários de negócio, considerando parâmetros para variáveis de investimento total requerido (VPI\_TOTAL), fluxo de caixa anual mínimo (FCA\_MIN) e rentabilidade mínima (IR\_MIN), conforme apresentado na tabela 16.

Tabela 16 - Cenários de análise

CENÁRIO	VPI	FCA	IR
I	< US\$ 40 MI	> US\$ 5 MI	
II	< US\$ 40 MI	> US\$ 5 MI	> 2,0
III	< US\$ 70 MI	> US\$ 10 MI	
IV	< US\$ 120 MI	> US\$ 10 MI	

O cenário I caracteriza uma condição de limites estritos de recursos para investimento. O cenário II, além da condição de baixo investimento, agrega requisito de alta rentabilidade.

No cenário III os limites de investimentos são ampliados, assim como as expectativas de fluxo de caixa líquido. O cenário IV considera a existência de condições favoráveis de financiamento e a possibilidade de um nível alto de investimentos. Cenários de alta rentabilidade com níveis médio e alto de investimentos não apresentaram soluções viáveis, sendo descartados.

Adicionalmente, tendo em vista que o grau de concentração (ou dispersão) de atividades é variável importante em análises de estratégia, foi incorporado, em todos os cenários, parâmetro relativo à quantidade mínima de linhas de negócio a ser considerada na solução, variando de duas até seis.

As informações relativas aos cenários foram representadas pelas seguintes restrições no modelo:

$$\text{VPI\_TOTAL} \leq \text{VPI\_MAX} \quad (1)$$

$$\text{FCA\_TOTAL} \geq \text{FCA\_MIN} \quad (2)$$

$$\text{VPL\_TOTAL} \geq \text{IR\_MIN} * \text{VPI\_TOTAL} \quad (3)$$

$$\text{TOTAL\_LN} \geq \text{QTD\_MIN\_LN} \quad (4)$$

As inequações (5), (6) e (7) referem-se a restrições técnicas, ou seja, incompatibilidades que impedem que duas determinadas linhas de negócio sejam implementadas simultaneamente.

$$\text{REF\_1} + \text{REF\_1C} + \text{REF\_2} \leq 1 \quad (5)$$

$$\text{UTC} + \text{REF\_2} \leq 1 \quad (6)$$

$$\text{BIO} + \text{REF\_2} \leq 1 \quad (7)$$

As inequações (8), (9) e (10) representam dependências unilaterais entre duas linhas de negócio, ou seja, linhas de negócio que somente podem ser implementadas se outra determinada linha de negócio estiver presente.

$$\text{UTC} - \text{REF\_1} - \text{REF\_1C} \leq 0 \quad (8)$$

$$\text{SOLV} - \text{REF\_1} - \text{REF\_2} - \text{REF\_1C} \leq 0 \quad (9)$$

$$\text{DSOL} - \text{SOLV} \leq 0 \quad (10)$$

As restrições (11) a (29) referem-se a regras de formação dos “clusters” identificados a partir de sinergias positivas ou negativas, conforme descrito na seção 5.2 :

$$\text{LUB} + \text{REF\_1} + \text{REF\_1C} \leq 1 \quad (11)$$

$$\text{LUB\_A} - \text{REF\_1} - \text{REF\_1C} \leq 0 \quad (12)$$

$$\text{BIO} + \text{REC} \leq 1 \quad (13)$$

$$\text{BIO}_B + \text{REC} \leq 1 \quad (14)$$

$$\text{REC}_B + \text{BIO} \leq 1 \quad (15)$$

$$\text{REC}_B - \text{BIO}_B = 0 \quad (16)$$

$$\text{REF}_1 + \text{BIO} + \text{BIO}_B \leq 1 \quad (17)$$

$$\text{REF}_{1C} - \text{BIO} - \text{BIO}_B \leq 0 \quad (18)$$

$$\text{LOG} + \text{TREF} \leq 1 \quad (19)$$

$$\text{TREF}_D + \text{LOG} \leq 1 \quad (20)$$

$$\text{LOG}_D + \text{TREF} \leq 1 \quad (21)$$

$$\text{TREF}_D - \text{LOG}_D - \text{LOG}_{DE} = 0 \quad (22)$$

$$\text{LOG} + \text{REF}_1 + \text{REF}_{1C} + \text{REF}_2 \leq 1 \quad (23)$$

$$\text{LOG}_{DE} - \text{REF}_1 - \text{REF}_{1C} - \text{REF}_2 + \text{LOG}_{DE} - \text{TREF} - \text{TREF}_D \leq 0 \quad (24)$$

$$\text{LOG}_D + \text{REF}_1 + \text{REF}_{1C} + \text{REF}_2 \leq 1 \quad (25)$$

$$\text{LOG}_{DE} + \text{TREF} \leq 1 \quad (26)$$

$$\text{LOG}_E - \text{REF}_1 - \text{REF}_{1C} - \text{REF}_2 \leq 0 \quad (27)$$

$$\text{REF}_1 + \text{REF}_{1C} + \text{REF}_2 + \text{LOG} \leq 1 \quad (28)$$

$$\text{REF}_1 + \text{REF}_{1C} + \text{REF}_2 + \text{LOG}_D \leq 1 \quad (29)$$

As restrições (30) a (34) impedem a coexistência, em uma mesma estratégia, de linhas de negócio e seus respectivos “clones”.

$$\text{LOG} + \text{LOG}_D + \text{LOG}_E + \text{LOG}_{DE} \leq 1 \quad (30)$$

$$\text{TREF} + \text{TREF}_D \leq 1 \quad (31)$$

$$\text{BIO} + \text{BIO}_B \leq 1 \quad (32)$$

$$\text{REC} + \text{REC}_B \leq 1 \quad (33)$$

$$\text{LUB} + \text{LUB}_A \leq 1 \quad (34)$$

Finalmente, a última restrição (35) refere-se à orientação do grupo decisor em relação ao caráter mandatório da implementação da linha de negócio de serviços de logística (LOG).

$$\text{LOG} + \text{LOG}_D + \text{LOG}_{DE} = 1 \quad (35)$$

Os resultados obtidos na execução do modelo são apresentados no ANEXO D.

Das 21 soluções geradas, nove foram descartadas por duplicidade. Além das soluções idênticas, foram consideradas em duplicidade as soluções cuja composição diferenciasse de apenas uma linha de negócio com variação menor que cinco por cento (5%) nos resultados



econômicos (VPI, VPL, FCA e IR). Entre as oito soluções restantes, foram identificadas duas estratégias relativas ao cenário I, uma estratégia relativa ao cenário II, três estratégias relativas ao cenário III e duas estratégias relativas ao cenário IV.

O quadro 2 apresenta a relação completa das estratégias candidatas, ordenadas em ordem crescente dos investimentos requeridos.

**Quadro 2 – Descrição das estratégias candidatas**

ID	COMPOSIÇÃO DA ESTRATÉGIA
E1	Serviços de Logística (LOG) Tratamento de Resíduos e Efluentes (TREF)
E2	Serviços de Logística (LOG) Tratamento de resíduos e efluentes (TREF) Formulação de Lubrificantes (LUB)
E3	Refino de Petróleo apenas em Unidades de Destilação (REF_1) Unidade de Testes para Centros de Pesquisa (UTC) Serviços de Logística (LOG) Tratamento de Resíduos e Efluentes (TREF) Solventes Especiais (SOLV) Distribuição de Solventes (DSOL)
E4	Refino de Petróleo apenas em todas as Unidades (REF_2) Serviços de Logística (LOG) Tratamento de Resíduos e Efluentes (TREF) Solventes Especiais (SOLV) Distribuição de Solventes (DSOL) Formulação de Lubrificantes (LUB)
E5	Serviços de Logística (LOG) Tratamento de resíduos e efluentes (TREF) Formulação de Lubrificantes (LUB) Biocombustíveis (BIO)
E6	Serviços de Logística (LOG) Reciclagem de Plásticos (REC)
E7	Refino de Petróleo apenas em Unidades de Destilação (REF_1) Unidade de Testes para Centros de Pesquisa (UTC) Serviços de Logística (LOG) Tratamento de Resíduos e Efluentes (TREF) Solventes Especiais (SOLV) Distribuição de Solventes (DSOL) Formulação de Lubrificantes (LUB) Biocombustíveis (BIO)
E8	Serviços de Logística (LOG) Tratamento de resíduos e efluentes (TREF) Formulação de Lubrificantes (LUB) Biocombustíveis (BIO) Reciclagem de Plásticos (REC)

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.3 SELEÇÃO DA MELHOR ESTRATÉGIA

A seleção da melhor estratégia (ou melhores estratégias) de reconversão industrial envolve tanto aspectos qualitativos (desempenho da solução em relação aos critérios de sustentabilidade empresarial), quanto aspectos quantitativos relativos aos respectivos empreendimentos (VPL, VPI, FCA e IR). O processo de análise e seleção da estratégia foi desenvolvido a partir de uma abordagem interativa, em três etapas, combinando os escores agregados TOPSIS com ferramentas gráficas, de modo a identificar o conjunto de linhas de negócio mais adequado aos objetivos de sustentabilidade empresarial da RPR, conforme figura 10.

Figura 10 – Etapas da seleção de estratégias



Fonte: Elaborada pelo autor

Para esta análise foi realizado, inicialmente, procedimento para agregação do desempenho das estratégias em função de suas linhas de negócio. A matriz de decisão resultante do desempenho agregado foi submetida ao método *fuzzy* TOPSIS visando à obtenção de um *ranking* das estratégias em relação aos critérios de sustentabilidade empresarial. Finalmente, as diferentes estratégias candidatas foram submetidas à análise complementar através de instrumentos gráficos, possibilitando ao decisor visualizar as relações entre as diferentes variáveis de decisão consideradas.

### 6.3.1 Agregação de desempenhos

O objetivo desta etapa é obter avaliações das estratégias-candidatas a partir das avaliações individuais das linhas de negócio que as compõem, conforme descrito na seção 4.4.

Considerando que o desempenho de uma estratégia é função do desempenho de cada uma de suas linhas de negócio, obteve-se o escore de cada estratégia com base na média dos escores atribuídos às linhas de negócio pelo grupo de especialistas.

Por exemplo, para a estratégia E2, o desempenho no critério C6 foi calculado utilizando-se avaliações atribuídas às linhas de negócio LOG, TREF e LUB, respectivamente (5;7; 9), (7;9;9) e (3;5;7), da seguinte forma:

$$E2: C6 = \left( \frac{5 + 7 + 3}{3} ; \frac{7 + 9 + 5}{3} ; \frac{9 + 9 + 7}{3} \right) = (5; 7; 8,3)$$

Os resultados para todas as estratégias são apresentados na tabela 17.

Tendo em vista que as operações aritméticas com números *fuzzy* triangulares nem sempre geram resultados consistentes com números *fuzzy* triangulares (BUCKLEY, 1985), são executados procedimentos de ajustes de escala nos valores resultantes da agregação e posterior validação junto ao decisor.

Os resultados numéricos obtidos foram ajustados de modo a se enquadrar em escala de termos linguísticos com nove pontos. As avaliações médias calculadas para cada estratégia foram comparadas com os valores de cada elemento da escala expandida de avaliação (tabela 4) utilizando-se o método das distâncias, conforme descrito na seção 4.4.

A avaliação final de cada estratégia foi composta, para cada critério, pelos elementos da escala cujo número *fuzzy* tivesse a menor distância em relação à avaliação média calculada. Por exemplo, para o valor médio da avaliação da estratégia E2 no critério C1 (6,33; 8,33; 9), as distâncias em relação a cada um dos termos da tabela 4 foram calculadas da seguinte forma:

$$d1 = \sqrt{\frac{1}{3} [(6,33 - 1)^2 + (8,33 - 1)^2 + (9,00 - 3)^2]} = 6,3$$

$$d2 = \sqrt{\frac{1}{3} [(6,33 - 1)^2 + (8,33 - 2)^2 + (9,00 - 4)^2]} = 5,6$$

$$d3 = \sqrt{\frac{1}{3} [(6,33 - 1)^2 + (8,33 - 3)^2 + (9,00 - 5)^2]} = 4,9$$

$$d4 = \sqrt{\frac{1}{3} [(6,33 - 2)^2 + (8,33 - 4)^2 + (9,00 - 6)^2]} = 3,9$$

$$d5 = \sqrt{\frac{1}{3} [(6,33 - 3)^2 + (8,33 - 5)^2 + (9,00 - 7)^2]} = 3,0$$

$$d6 = \sqrt{\frac{1}{3} [(6,33 - 4)^2 + (8,33 - 6)^2 + (9,00 - 8)^2]} = 2,0$$

$$d7 = \sqrt{\frac{1}{3} [(6,33 - 5)^2 + (8,33 - 7)^2 + (9,00 - 9)^2]} = 1,1$$

$$d8 = \sqrt{\frac{1}{3} [(6,33 - 6)^2 + (8,33 - 8)^2 + (9,00 - 9)^2]} = 0,3$$

$$d9 = \sqrt{\frac{1}{3} [(6,33 - 7)^2 + (8,33 - 9)^2 + (9,00 - 9)^2]} = 0,5$$

Como pode ser observado, a distância d1 corresponde à distância entre a avaliação média da estratégia E2 no critério C1 (6,33; 8,33; 9,00) e o número *fuzzy* triangular correspondente à avaliação “péssima” na tabela 4 (ver seção 4.4). As distâncias d2 a d9 correspondem às demais distâncias, tomadas em ordem crescente de escala. Considerando que a menor distância foi obtida em d8, ao critério C1 da estratégia E2 foi atribuída a avaliação “muito bom”.

O valor final das avaliações das estratégias, devidamente transformado nas correspondentes variáveis linguísticas, foi submetido à validação direta pelo grupo de especialistas, de modo a verificar se as avaliações atribuídas eram, conforme os critérios adotados, consistentes. A escala de nove pontos utilizada impõe, naturalmente, limites tênues entre as avaliações, dificultando a diferenciação, por exemplo, entre os termos “ruim” e “pouco ruim”. Para facilitar a avaliação e a percepção das diferenças na escala de forma visual, as estratégias foram agrupadas por critério, de modo a possibilitar a avaliação simultânea de todas as estratégias sob um mesmo critério.

Apesar das dificuldades de avaliar globalmente uma estratégia, enquanto conjunto de linhas de negócio, os termos resultantes do processo de agregação, propostos para qualificar o desempenho das estratégias, sob cada um dos critérios analisados, foram considerados adequados, sem necessidade de ajustes adicionais.

Os valores devidamente ajustados e validados dos escores agregados das estratégias, representados por números *fuzzy* triangulares, são apresentados na tabela 18.

**Tabela 17 – Escores agregados das estratégias (valor médio)**

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>
<b>E1</b>	(7; 9; 9)	(1; 1; 3)	(7; 9; 9)	(1; 1; 3)	(1; 3; 5)	(6; 8; 9)	(6; 8; 9)	(5; 7; 9)	(1; 3; 5)	(6; 8; 9)
<b>E2</b>	(6,33; 8,33; 9)	(1,66; 2,33; 4,33)	(5,66; 7,66; 8,33)	(2,33; 3; 5)	(2,33; 4,33; 6,33)	(5; 7; 8,33)	(5; 7; 8,33)	(4,33; 6,33; 8,33)	(1,66; 3,66; 5,66)	(5; 7; 8,33)
<b>E3</b>	(3,66; 5,33; 6,66)	(1; 2,33; 4,33)	(4,66; 6,33; 7,66)	(1,66; 3; 5)	(1,66; 3,33; 5,33)	(4; 5,66; 7,33)	(3,33; 5,33; 7)	(3,66; 5,33; 7,33)	(3; 4,66; 6,66)	(4,33; 5,66; 7)
<b>E4</b>	(4,33; 6,33; 7,66)	(1,66; 3; 5)	(4,66; 6,33; 7,66)	(2,66; 4; 6)	(2,66; 4,66; 6,66)	(3,66; 5,33; 7)	(3,66; 5,33; 7)	(3,66; 5,66; 7,66)	(3; 4,66; 6,33)	(4,66; 6,66; 8)
<b>E5</b>	(5,66; 7,66; 8,33)	(2,33; 3; 5)	(6,33; 8,33; 9)	(2,33; 3; 5)	(3; 5; 6,33)	(5,66; 7,66; 9)	(5,66; 7,66; 9)	(5,66; 7,66; 9)	(2,33; 4,33; 6,33)	(4,33; 6,33; 7,66)
<b>E6</b>	(4; 6; 7)	(4; 5; 6)	(6; 8; 9)	(4; 5; 6)	(1; 3; 5)	(6; 8; 9)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
<b>E7</b>	(3,75; 5,5; 7)	(1,75; 3,25; 5,25)	(4,5; 6,25; 7,75)	(2,5; 4; 6)	(2,75; 4,5; 6,25)	(4; 5,75; 7,5)	(3,5; 5,5; 7,25)	(4; 5,75; 7,5)	(3,25; 5; 7)	(3,75; 5,25; 6,75)
<b>E8</b>	(4,6; 6,6; 7,8)	(3,4; 4,6; 6,2)	(5,4; 7,4; 8,6)	(3,8; 5; 6,6)	(3; 5; 6,6)	(5,4; 7,4; 8,6)	(5; 7; 8,6)	(5; 7; 8,6)	(3; 5; 7)	(3,4; 5,4; 7)

**Tabela 18 – Escores agregados das estratégias (valor ajustado)**

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>
<b>E1</b>	(7; 9; 9)	(1; 1; 3)	(7; 9; 9)	(1; 1; 3)	(1; 3; 5)	(6; 8; 9)	(6; 8; 9)	(5; 7; 9)	(1; 3; 5)	(6; 8; 9)
<b>E2</b>	(6; 8; 9)	(1; 2; 4)	(6; 8; 9)	(1; 3; 5)	(2; 4; 6)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(4; 6; 8)	(2; 4; 6)	(5; 7; 9)
<b>E3</b>	(3; 5; 7)	(1; 2; 4)	(4; 6; 8)	(1; 3; 5)	(1; 3; 5)	(4; 6; 8)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(4; 6; 8)
<b>E4</b>	(4; 6; 8)	(1; 3; 5)	(4; 6; 8)	(2; 4; 6)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(4; 6; 8)	(3; 5; 7)	(4; 6; 8)
<b>E5</b>	(6; 8; 9)	(1; 3; 5)	(6; 8; 9)	(1; 3; 5)	(3; 5; 7)	(6; 8; 9)	(6; 8; 9)	(6; 8; 9)	(2; 4; 6)	(4; 6; 8)
<b>E6</b>	(4; 6; 8)	(3; 5; 7)	(6; 8; 9)	(3; 5; 7)	(1; 3; 5)	(6; 8; 9)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
<b>E7</b>	(3; 5; 7)	(1; 3; 5)	(4; 6; 8)	(2; 4; 6)	(3; 5; 7)	(4; 6; 8)	(3; 5; 7)	(4; 6; 8)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)
<b>E8</b>	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)

### 6.3.2 Análise das estratégias através do método *fuzzy* TOPSIS

As estratégias candidatas foram submetidas à processo de análise e ordenação através do método *fuzzy* TOPSIS, de modo similar ao executado para ordenação das linhas de negócio e conforme descrito na seção 4.2.3. Para evitar repetições desnecessárias, os resultados da aplicação do método TOPSIS são apresentados a seguir de forma sucinta.

Os valores da matriz de decisão (tabela 18) foram normalizados através de transformação linear, conforme descrito no passo 2 da seção 4.2.3. Os valores normalizados das avaliações das estratégias conforme cada um dos critérios estão apresentados na tabela 19.

Com base na matriz de decisão *fuzzy* normalizada (tabela 19) e nos valores agregados da importância dos critérios (linha GRUPO na tabela 10) foram calculados os valores normalizados e ponderados, consolidados na tabela 20, conforme passo 4 da seção 4.2.3.

Com base na matriz de decisão *fuzzy* normalizada e ponderada (tabela 20) foram definidas as soluções idealmente positivas e idealmente negativas, conforme descrito no passo 5 da seção 4.2.3. A tabela 21 apresenta os valores relativos às soluções ideais positivas e soluções ideais negativas para cada critério.

Para cada estratégia (E1 a E8) foram calculadas as distâncias entre o valor apurado em cada um dos critérios (tabela 20) e a respectiva solução ideal (positiva e negativa), utilizando-se o método dos vértices proposto por Chen (2000). A tabela 22 contém as distâncias entre as estratégias e soluções ideais positiva e negativa para cada um dos critérios, assim como os somatórios totais, que serão utilizados para o cálculo do coeficiente de proximidade.

O coeficiente de proximidade ( $CP_i$ ) relativo a cada uma das estratégias é calculado de modo similar ao realizado anteriormente para avaliação das linhas de negócio, conforme descrito no passo 7 da seção 4.2.3, utilizando a seguinte fórmula:

$$CP_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Onde:

$d_i^-$  : distância da estratégia  $i$  em relação à solução ideal negativa

$d_i^*$  : distância da estratégia  $i$  em relação à solução ideal positiva

**Tabela 19 - Escores agregados (valor ajustado) normalizados**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
E1	(0,77; 1; 1)	(0,33; 1; 1)	(0,77; 1; 1)	(0,14; 0,14; 0,42)	(0,14; 0,42; 0,71)	(0,66; 0,88; 1)	(0,66; 0,88; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,2; 0,33; 1)	(0,66; 0,88; 1)
E2	(0,66; 0,88; 1)	(0,25; 0,5; 1)	(0,66; 0,88; 1)	(0,14; 0,42; 0,71)	(0,28; 0,57; 0,85)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,44; 0,66; 0,88)	(0,16; 0,25; 0,5)	(0,55; 0,77; 1)
E3	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,25; 0,5; 1)	(0,44; 0,66; 0,88)	(0,14; 0,42; 0,71)	(0,14; 0,42; 0,71)	(0,44; 0,66; 0,88)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,14; 0,2; 0,33)	(0,44; 0,66; 0,88)
E4	(0,44; 0,66; 0,88)	(0,2; 0,33; 1)	(0,44; 0,66; 0,88)	(0,28; 0,57; 0,85)	(0,42; 0,71; 1)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,44; 0,66; 0,88)	(0,14; 0,2; 0,33)	(0,44; 0,66; 0,88)
E5	(0,66; 0,88; 1)	(0,2; 0,33; 1)	(0,66; 0,88; 1)	(0,14; 0,42; 0,71)	(0,42; 0,71; 1)	(0,66; 0,88; 1)	(0,66; 0,88; 1)	(0,66; 0,88; 1)	(0,16; 0,25; 0,5)	(0,44; 0,66; 0,88)
E6	(0,44; 0,66; 0,88)	(0,14; 0,2; 0,33)	(0,66; 0,88; 1)	(0,42; 0,71; 1)	(0,14; 0,42; 0,71)	(0,66; 0,88; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,14; 0,2; 0,33)	(0,33; 0,55; 0,77)
E7	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,2; 0,33; 1)	(0,44; 0,66; 0,88)	(0,28; 0,57; 0,85)	(0,42; 0,71; 1)	(0,44; 0,66; 0,88)	(0,33; 0,55; 0,77)	(0,44; 0,66; 0,88)	(0,14; 0,2; 0,33)	(0,33; 0,55; 0,77)
E8	(0,55; 0,77; 1)	(0,14; 0,2; 0,33)	(0,55; 0,77; 1)	(0,42; 0,71; 1)	(0,42; 0,71; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,55; 0,77; 1)	(0,14; 0,2; 0,33)	(0,33; 0,55; 0,77)

**Tabela 20 - Escores agregados (valor ajustado) normalizados e ponderados**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
E1	(2,33; 6,33; 9)	(0,33; 3; 7)	(0,77; 7; 9)	(0,42; 1; 3,85)	(0,14; 1,85; 6,42)	(0,66; 2,66; 7)	(0,66; 3,25; 9)	(0,55; 4,4; 9)	(0,2; 2,33; 9)	(3,33; 6,81; 9)
E2	(2; 5,62; 9)	(0,25; 1,5; 7)	(0,66; 6,22; 9)	(0,42; 3; 6,42)	(0,28; 2,47; 7,71)	(0,55; 2,33; 7)	(0,55; 2,85; 9)	(0,44; 3,77; 8)	(0,16; 1,75; 4,5)	(2,77; 5,96; 9)
E3	(1; 3,51; 7)	(0,25; 1,5; 7)	(0,44; 4,66; 8)	(0,42; 3; 6,42)	(0,14; 1,85; 6,42)	(0,44; 2; 6,22)	(0,33; 2,03; 7)	(0,33; 3,14; 7)	(0,14; 1,4; 3)	(2,22; 5,11; 8)
E4	(1,33; 4,22; 8)	(0,2; 1; 7)	(0,44; 4,66; 8)	(0,85; 4; 7,71)	(0,42; 3,09; 9)	(0,33; 1,66; 5,44)	(0,33; 2,03; 7)	(0,44; 3,77; 8)	(0,14; 1,4; 3)	(2,22; 5,11; 8)
E5	(2; 5,62; 9)	(0,2; 1; 7)	(0,66; 6,22; 9)	(0,42; 3; 6,42)	(0,42; 3,09; 9)	(0,66; 2,66; 7)	(0,66; 3,25; 9)	(0,66; 5,03; 9)	(0,16; 1,75; 4,5)	(2,22; 5,11; 8)
E6	(1,33; 4,22; 8)	(0,14; 0,6; 2,33)	(0,66; 6,22; 9)	(1,28; 5; 9)	(0,14; 1,85; 6,42)	(0,66; 2,66; 7)	(0,55; 2,85; 9)	(0,55; 4,4; 9)	(0,14; 1,4; 3)	(1,66; 4,25; 7)
E7	(1; 3,51; 7)	(0,2; 1; 7)	(0,44; 4,66; 8)	(0,85; 4; 7,71)	(0,42; 3,09; 9)	(0,44; 2; 6,22)	(0,33; 2,03; 7)	(0,44; 3,77; 8)	(0,14; 1,4; 3)	(1,66; 4,25; 7)
E8	(1,66; 4,92; 9)	(0,14; 0,6; 2,33)	(0,55; 5,44; 9)	(1,28; 5; 9)	(0,42; 3,09; 9)	(0,55; 2,33; 7)	(0,55; 2,85; 9)	(0,55; 4,4; 9)	(0,14; 1,4; 3)	(1,66; 4,25; 7)

Tabela 21 – Soluções ideais (estratégias)

	Solução Ideal Positiva	Solução Ideal Negativa
C1	(9; 9; 9)	(1; 1; 1)
C2	(7; 7; 7)	(0,14; 0,14; 0,14)
C3	(9; 9; 9)	(0,44; 0,44; 0,44)
C4	(9; 9; 9)	(0,43; 0,43; 0,43)
C5	(9; 9; 9)	(0,14; 0,14; 0,14)
C6	(7; 7; 7)	(0,33; 0,33; 0,33)
C7	(9; 9; 9)	(0,33; 0,33; 0,33)
C8	(9; 9; 9)	(0,33; 0,33; 0,33)
C9	(9; 9; 9)	(0,14; 0,14; 0,14)
C10	(9; 9; 9)	(1,67; 1,67; 1,67)

Tabela 22 – Distâncias das estratégias candidatas para solução ideal (positiva e negativa)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	D
E1	4,15	4,49	4,89	7,39	6,74	4,43	5,84	5,55	6,37	3,51	53,35
	5,60	4,29	6,23	2,01	3,76	4,08	5,28	5,53	5,27	5,26	47,32
E2	4,49	5,03	5,07	6,22	6,33	4,59	6,03	5,82	7,09	4,00	54,66
	5,37	4,04	5,96	3,77	4,57	4,02	5,21	4,85	2,68	4,95	45,43
E3	5,72	5,03	5,57	6,22	6,74	4,78	6,52	6,15	7,58	4,55	58,84
	3,76	4,04	5,00	3,77	3,76	3,53	3,97	4,18	1,80	4,17	37,98
E4	5,25	5,24	5,57	5,57	6,01	5,01	6,52	5,82	7,58	4,55	57,10
	4,45	3,99	5,00	4,69	5,39	3,05	3,97	4,85	1,80	4,17	41,38
E5	4,49	5,24	5,07	6,22	6,01	4,43	5,84	5,33	7,09	4,55	54,26
	5,37	3,99	5,96	3,77	5,39	4,08	5,28	5,70	2,68	4,17	46,40
E6	5,25	6,05	5,07	5,02	6,74	4,43	6,03	5,55	7,58	5,17	56,88
	4,45	1,29	5,96	5,63	3,76	4,08	5,21	5,53	1,80	3,42	41,15
E7	5,72	5,24	5,57	5,57	6,01	4,78	6,52	5,82	7,58	5,17	57,96
	3,76	3,99	5,00	4,69	5,39	3,53	3,97	4,85	1,80	3,42	40,41
E8	4,84	6,05	5,29	5,02	6,01	4,59	6,03	5,55	7,58	5,17	56,13
	5,16	1,29	5,72	5,63	5,39	4,02	5,21	5,53	1,80	3,42	43,19



No contexto deste estudo, o coeficiente de proximidade para o conjunto de critérios representa o desempenho global de cada estratégia. No entanto, em análises envolvendo sustentabilidade, além do desempenho global, é importante verificar a resposta dada pela estratégia aos diferentes aspectos envolvidos. Dessa forma, utilizando a mesma equação aplicada para o cálculo do coeficiente de proximidade geral, foram calculados coeficientes de proximidade representativos das diferentes dimensões de análise. Estes coeficientes, designados escores econômicos, socioambientais e de riscos, foram obtidos, considerando, no cálculo, apenas as distâncias relativas aos critérios envolvidos, ou seja, respectivamente, critérios econômicos (C1, C3 e C10), socioambientais (C4, C5, C6, C7, C8) e de riscos (C2 e C9).

Os diferentes coeficientes de proximidade calculados possibilitaram a criação de diferentes ordenações das estratégias em relação à preferência de implementação.

A tabela 23 apresenta as estratégias de reconversão ordenadas em ordem decrescente de preferência, considerando, da esquerda para a direita, a totalidade dos critérios (GERAL), apenas critérios econômicos (ECON), apenas critérios socioambientais (SOCIOAMB) e apenas critérios de riscos (RISCOS).

**Tabela 23 – Ranking das estratégias**

GERAL		ECON		SOCIOAMB		RISCOS	
E1	0,4700	E1	0,5769	E8	0,4424	E1	0,4681
E5	0,4610	E2	0,5456	E5	0,4352	E2	0,3566
E2	0,4539	E5	0,5236	E6	0,4241	E5	0,3512
E8	0,4348	E8	0,4831	E1	0,4166	E3	0,3166
E4	0,4202	E6	0,4718	E2	0,4104	E4, E7	0,3113
E6	0,4198	E4	0,4700	E7	0,4006		
E7	0,4108	E3	0,4495	E4	0,3943	E6, E8	0,1851
E3	0,3923	E7	0,4253	E3	0,3562		

### 6.3.3 Análise por Instrumentos Gráficos

Decisões de caráter estratégico, como a deste estudo, requerem avaliações complexas e uma compreensão mais holística do problema, que dificilmente são completamente endereçadas através de escores numéricos. A seleção de uma estratégia de reconversão industrial requer a análise simultânea tanto dos aspectos qualitativos (desempenho geral da solução em relação aos critérios de sustentabilidade empresarial), quanto dos aspectos quantitativos relativos aos respectivos empreendimentos (VPL, VPI, FCA e IR). Neste sentido, os instrumentos gráficos têm sido amplamente utilizados, no meio acadêmico e empresarial, para facilitar o entendimento de informações complexas e a visualização dos relacionamentos entre elas. Da análise gráfica podem emergir tanto conclusões estruturadas, quanto *insights* relativos à solução do problema. Conforme Tufte (2011), os gráficos, enquanto meio para organizar informações, constituem-se na forma mais efetiva de descrever, explorar e resumir dados quantitativos.

Conforme pesquisa conduzida por Cooper, Edgett e Kleinschmidt (2001) com mais de 200 empresas americanas de grande porte, os instrumentos gráficos, em especial os gráficos tipo bolha, são utilizados por mais de 40% das empresas como ferramenta de suporte a seus processos de gestão de portfólio de projetos, sendo reconhecidos como altamente eficazes no apoio à decisão<sup>2</sup>. A principal vantagem deste tipo de gráfico é representar o portfólio completo de um modo visualmente compreensível, especialmente útil na avaliação do balanceamento do portfólio. Dadas as características do problema, a análise das estratégias-candidatas considerou os seguintes aspectos, incluídos em gráficos tipo bolha: (i) riscos, benefícios e volume de investimentos (VPI); (ii) riscos, VPL e VPI; (iii) VPI, VPL e rentabilidade; (iv) benefícios econômicos, benefícios socioambientais e rentabilidade; (v) quantidade de linhas de negócio, benefícios e VPL. Em cada um dos gráficos foram sobrepostos eixos ortogonais de modo a possibilitar agrupamento e categorização das estratégias-candidatas conforme o quadrante de localização.

Os dados considerados nesta análise, relativos a cada uma das estratégias de reconversão, são apresentados na tabela 24.

---

<sup>2</sup> Conforme Cooper, Edgett e Kleinschmidt (2001, p. 19) “management is a strong supporter of bubble diagrams, rating them as very effective decision tools and strongly recommending their use to others”

Tabela 24 - Dados básicos das estratégias

ESTRAT	QTD LN	VPI	VPL	FCA	IR	Escores TOPSIS			
						GERAL	ECONOMICO	SOCIOAMB	RISCOS
E1	2	8,00	44,00	5,20	5,50	0,4700	0,5769	0,4166	0,4681
E2	3	10,00	46,10	5,61	4,61	0,4539	0,5456	0,4104	0,3566
E3	6	38,60	50,31	8,89	1,30	0,3923	0,4495	0,3562	0,3166
E4	6	55,50	63,90	11,94	1,15	0,4202	0,4700	0,3943	0,3113
E5	4	60,00	64,10	12,41	1,07	0,4610	0,5236	0,4352	0,3512
E6	2	65,00	38,10	10,31	0,59	0,4198	0,4718	0,4241	0,1851
E7	8	85,60	72,71	15,83	0,85	0,4108	0,4253	0,4006	0,3113
E8	5	113,00	77,90	19,09	0,69	0,4348	0,4831	0,4424	0,1851

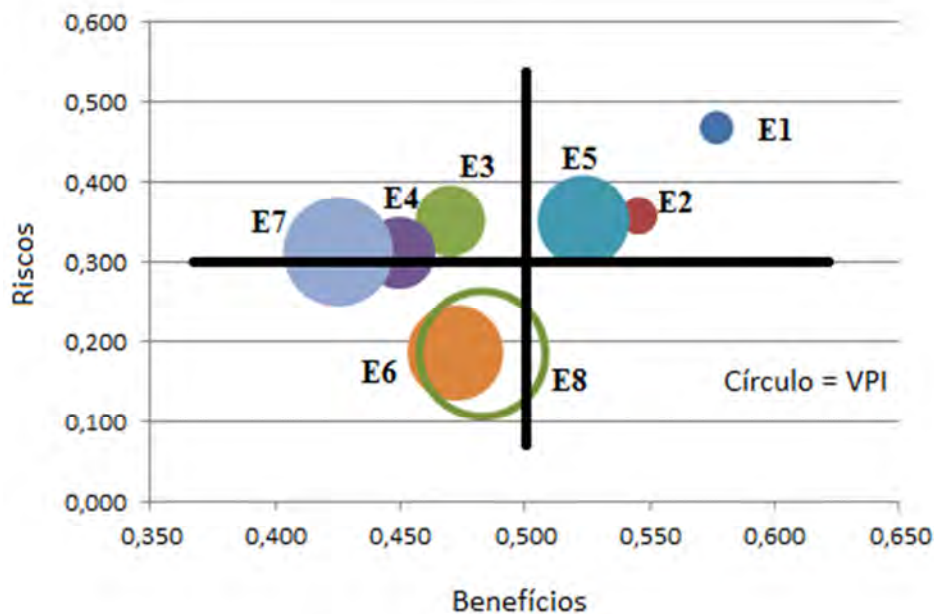
A primeira coluna apresenta os códigos representativos das estratégias candidatas. Cada estratégia é composta de duas ou mais linhas de negócio. A estratégia E1, com menor VPI, é composta pelas linhas de negócio de serviços de logística (LOG) e tratamento de resíduos e efluentes (TREF). A estratégia E2 é similar à estratégia E1, agregando a linha de negócio formulação de lubrificantes (LUB). A estratégia E3 é composta pelas linhas de negócio refino de petróleo apenas em unidades de destilação (REF\_1), unidade de testes para centro de pesquisa (UTC), serviços de logística (LOG), tratamento de resíduos e efluentes (TREF), solventes especiais (SOLV) e distribuição de solventes (DSOL). A estratégia E4 é uma variante da estratégia E3, substituindo as linhas de negócio REF\_1 e UTC por refino de petróleo em todas as unidades (REF\_2) e incluindo a linha de negócio LUB. As estratégias E5 e E8 são variantes da estratégia E2. Na estratégia E5 é agregada a linha de negócio de biocombustíveis (BIO), enquanto na estratégia E8 é agregada, além da linha de negócio BIO, a reciclagem de plásticos (REC). A estratégia E6 compõem-se de serviços de logística (LOG) e reciclagem de plásticos (REC). A estratégia E7, com maior quantidade de linhas de negócio, amplia o escopo da estratégia E3, agregando formulação de lubrificantes (LUB) e biocombustíveis (BIO).

Na segunda coluna está indicada a quantidade de linhas de negócio que compõe cada estratégia. Nas quatro colunas seguintes estão os dados relativos à avaliação econômica da implementação de cada estratégia, ou seja, os valores relativos ao conjunto de empreendimentos (VPI, VPL, FCA e IR). Nas últimas quatro colunas estão os dados obtidos através da aplicação do método *fuzzy* TOPSIS, ou seja, os coeficientes de proximidade (CP) considerando a totalidade dos critérios, apenas critérios econômicos, apenas critérios

socioambientais e critérios de riscos. Ao longo desta análise estes coeficientes de proximidade serão referenciados, respectivamente, como escores TOPSIS **geral**, **econômico**, **socioambiental e de riscos**.

Conforme Caron, Fumagalli e Rigamontic (2007), um dos principais aspectos que norteia a seleção de portfólios de projetos é a perspectiva de riscos x benefícios, muito frequentemente abordada através de instrumentos gráficos. O gráfico da figura 11 utiliza o escore TOPSIS de riscos, no eixo das abscissas, e o escore TOPSIS geral, no eixo das coordenadas, para expressar a relação entre o benefício total esperado em cada estratégia e o grau de risco associado. Adicionalmente, apresenta, através de bolhas, a magnitude dos investimentos requeridos em cada estratégia (quanto maior a bolha, maior o investimento requerido).

Figura 11 - Gráfico Benefícios x Riscos



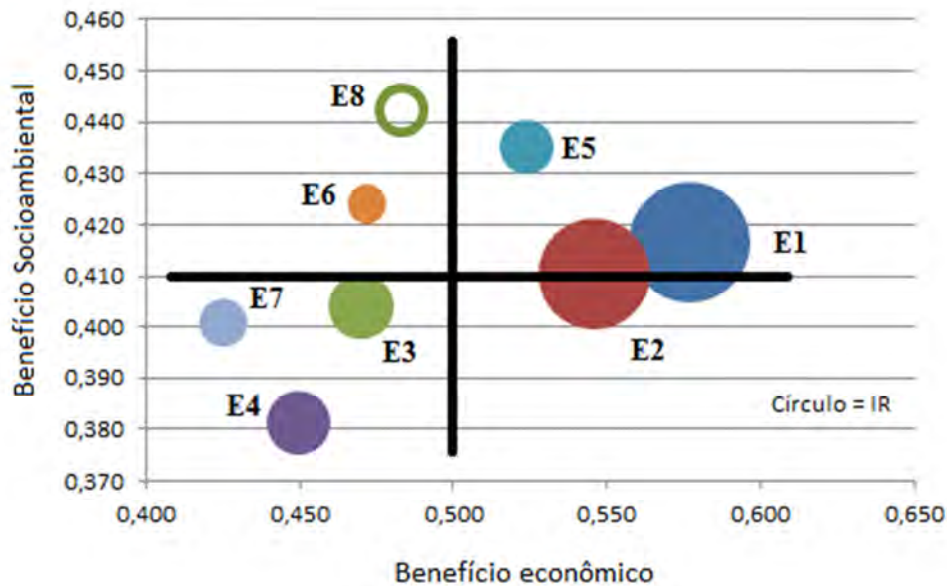
Fonte: Elaborada pelo autor.

Os quadrantes superiores contêm as estratégias de maior robustez em relação a riscos, sendo as estratégias localizadas no quadrante superior direito aquelas com maior benefício e menor exposição a riscos. De um modo geral, as atividades na indústria do petróleo, pela natureza dos seus processos e produtos, apresentam altos riscos de acidentes com impacto ambiental, sendo que, entre as linhas de negócio avaliadas, os menores riscos concentram-se nas atividades de distribuição de solventes, serviços de logística e tratamento de resíduos e efluentes. Estas duas últimas também apresentam os menores riscos empresariais, conforme

pode ser constatado pela posição da estratégia E1 nos quadrantes superiores do gráfico da figura 11.

O gráfico na figura 12 apresenta a relação entre os benefícios econômicos e os benefícios socioambientais esperados em função da implementação de cada estratégia, sendo que o tamanho das bolhas representa a rentabilidade (ou eficiência econômica) de cada estratégia. As estratégias E1, E2 e E5 posicionam-se no quadrante mais favorável, ou seja, com altos benefícios econômicos e socioambientais. As estratégias E1 e E2 destacam-se das demais em relação à grande eficiência de seu conjunto de investimentos.

**Figura 12 - Gráfico Benefício econômico x Benefício socioambiental**



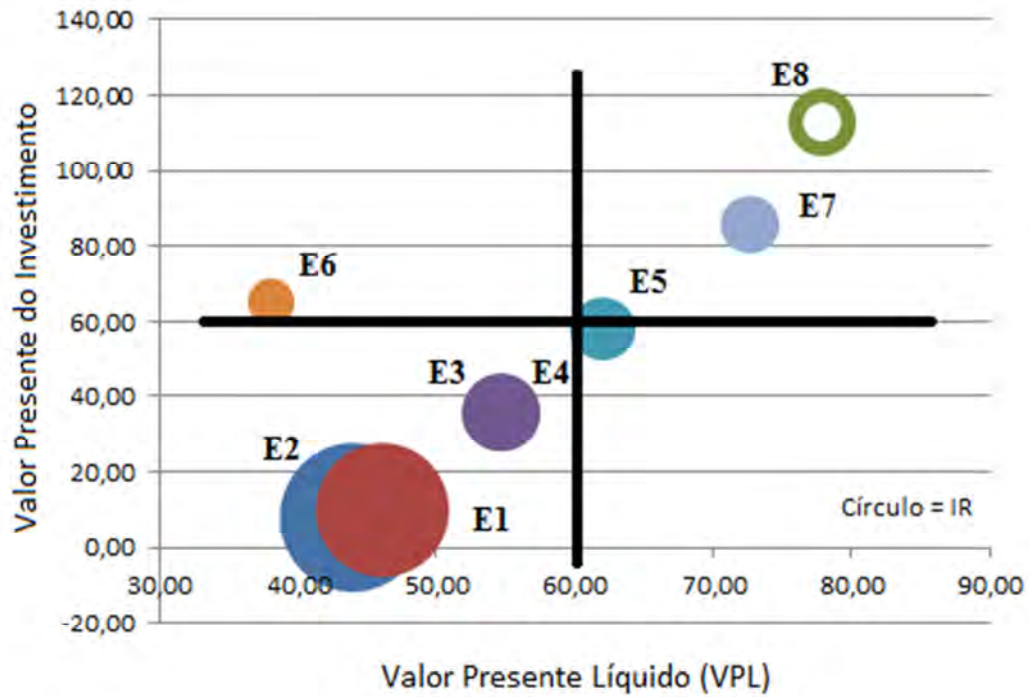
Fonte: Elaborada pelo autor.

Embora contenham os investimentos mais eficientes, as estratégias E1 e E2 envolvem os menores investimentos e os menores VPLs entre todas as alternativas, com fluxos de caixa líquido reduzidos, como pode ser observado no gráfico da figura 13.

A quantidade de linhas de negócio implementadas em uma organização industrial configura uma maior (ou menor) concentração de atividades, não existindo, *a priori*, uma solução ideal em sentido absoluto. O gráfico da figura 14 possibilita visualizar a relação entre benefícios estimados e quantidade de linhas de negócio implementadas. Embora os maiores benefícios estejam associados a estratégias com até quatro linhas de negócio (quadrante inferior direito), os dados disponíveis não permitem concluir qual a quantidade de linhas de negócio mínima para garantir a estabilidade da RPR. Dessa forma, as estratégias constantes

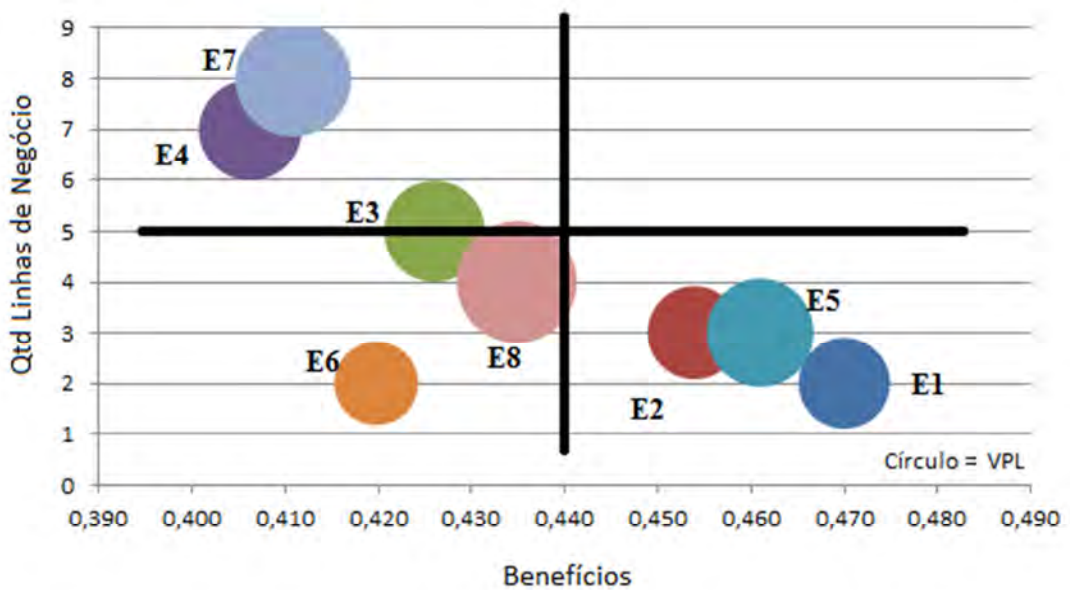
no quadrante superior esquerdo, embora com escores finais inferiores, não podem ser descartadas do processo de seleção.

Figura 13 - Gráfico VPL x VPI



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 14 - Gráfico Benefícios x Quantidade de linhas de negócio



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 7. VALIDAÇÃO DO MODELO

Um dos aspectos comuns aos modelos de análise multicritério é o caráter subjetivo e instável das informações utilizadas para subsidiar as decisões, tais como tipo e parâmetros da função de preferência, peso dos critérios e a avaliação das alternativas (ALINEZHAD; AMINI, 2011). Dessa forma, a validação criteriosa destas informações torna-se essencial para assegurar a robustez do modelo e a credibilidade das recomendações.

Conforme Frey, Mokhtari e Zheng (2004), a análise de sensibilidade, enquanto parte de um processo de verificação e validação, é uma metodologia para identificação dos dados de entrada que mais contribuem para a variação dos resultados em um determinado modelo, ou seja, como variações nos resultados de um modelo podem ser explicadas, qualitativa ou quantitativamente, a partir de mudanças nos seus parâmetros de entrada. No caso de problemas envolvendo seleção de alternativas, a análise de sensibilidade, conforme French (2003), exerce um importante papel no compartilhamento de entendimentos acerca do modelo de decisão.

As técnicas utilizadas na análise de sensibilidade devem ser compatíveis com os objetivos pretendidos e, conforme Ascough *et al.*(2005), podem envolver a aplicação de técnicas gráficas, matemáticas e estatísticas. Os esforços de validação da solução em problemas envolvendo multicritérios normalmente focam na identificação dos critérios mais sensíveis, ou seja, aqueles cuja alteração de peso (importância relativa) conduz a alterações significativas no *ranking* das alternativas (ALINEZHAD; AMINI, 2005). Este tipo de abordagem é aplicado nos estudos realizados por diversos autores, tais como Yeh (2002), Awasthi, Chauhan e Omrani (2011) e Kannan, Jabbour e Jabbour (2014).

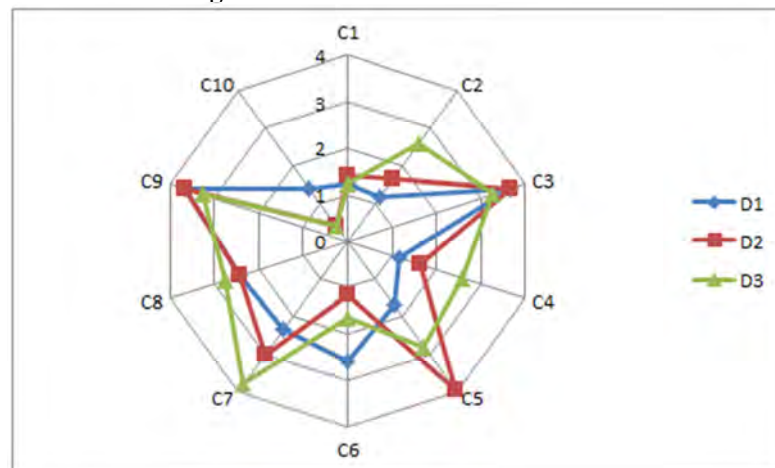
Buscando compreender melhor a influência de cada critério no processo de decisão, foi executada análise de sensibilidade conforme proposta por Awasthi, Chauhan e Omrani (2011).

## 7.1 VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE PREFERÊNCIAS

Em decisões envolvendo mais de um decisor, torna-se importante pontuar as diferentes percepções que, agregadas, geraram os parâmetros utilizados na ponderação dos diversos critérios sob análise. Este tipo de ação é importante, também, para esclarecer os resultados, visto que algumas conclusões podem parecer incoerentes sob o ponto de vista individual de cada decisor e, somente farão sentido se entendidas no contexto do conjunto de preferências.

Conforme apresentado na seção 5.5, a importância relativa dos critérios deve refletir as diferentes perspectivas envolvidas no problema, representadas através do sistema de preferências de cada decisor. No gráfico da figura 15 são representadas as diferenças entre as preferências manifestadas por cada um dos três decisores (D1, D2 e D3) em relação à preferência agregada. Sobre cada um dos dez eixos são assinaladas as distâncias (medidas através do método do vértice) entre a avaliação individual de cada decisor e a avaliação agregada, de modo que, quanto mais longe do centro, maior a separação entre o peso atribuído pelo decisor e o peso final agregado.

**Figura 15 - Gráfico Preferências dos decisores**



Fonte: Elaborada pelo autor.

Embora o gráfico da figura 15 indique a existência de diferenças significativas entre as percepções individuais e os resultados do processo de agregação, especialmente nos critérios C3, C5, C7 e C9, estas diferenças pouco impactaram o *ranking* das linhas de negócio, como pode ser observado nas tabelas 25 e 26.



A tabela 25 apresenta as linhas de negócio ordenadas, em ordem decrescente, de acordo com as preferências de cada um dos três decisores e da preferência agregada. O número ao lado da linha de negócio representa o coeficiente de proximidade calculado de acordo com o sistema de preferências considerado. A tabela 26 apresenta, com a mesma estrutura da tabela 21a, os dados relativos às estratégias candidatas.

**Tabela 25 – Ranking por decisor (linhas de negócio)**

DECISOR 1		DECISOR 2		DECISOR 3		GRUPO	
TREF	0,539	TREF	0,561	TREF	0,488	TREF	0,479
LOG	0,521	LOG	0,538	BIO	0,474	LOG	0,466
DSOL	0,486	DSOL	0,476	LUB	0,472	DSOL	0,438
BIO	0,463	BIO	0,446	LOG	0,467	BIO	0,421
LUB	0,448	SOLV	0,424	DSOL	0,446	LUB	0,413
SOLV	0,443	REC	0,420	SOLV	0,438	SOLV	0,408
REC	0,412	LUB	0,417	REC	0,420	REC	0,387
REF_2	0,333	REF_1	0,331	REF_2	0,348	REF_2	0,318
REF_1	0,318	REF_2	0,311	REF_1	0,296	REF_1	0,315
UTC	0,270	UTC	0,291	UTC	0,283	UTC	0,287

**Tabela 26 – Ranking por decisor (estratégias)**

DECISOR 1		DECISOR 2		DECISOR 3		GRUPO	
E1	0,503	E1	0,518	E5	0,479	E1	0,470
E5	0,483	E5	0,483	E8	0,470	E5	0,461
E2	0,472	E2	0,472	E1	0,467	E2	0,454
E8	0,449	E8	0,433	E2	0,467	E8	0,435
E4	0,430	E6	0,430	E6	0,440	E4	0,420
E6	0,426	E4	0,410	E4	0,439	E6	0,420
E7	0,408	E7	0,398	E7	0,427	E7	0,411
E3	0,382	E3	0,387	E3	0,392	E3	0,392

## 7.2 EXPLORAÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS CRITÉRIOS

A tabela 27 apresenta os resultados de 38 experimentos para verificar os impactos da variação dos valores atribuídos à importância relativa (pesos) dos critérios na avaliação das linhas de negócio. Na coluna “descrição” são indicados os valores assumidos para a variável  $W_{cj}$ , ou seja, peso  $W$  atribuído a cada critério  $C_j$ , com  $j$  variando de 1 até 10. Nos primeiros cinco experimentos são atribuídos valores iguais a todos os critérios, variando o grau atribuído do mínimo (1,1,3) ao máximo (7,9,9). Embora os *rankings* resultantes sejam bastante similares ao produzido com o obtido com os valores atribuídos pelos decisores, percebe-se uma leve instabilidade decorrente do grau considerado, com inversões de posição entre as LN DSOL e BIO (experimentos 3, 4 e 5) e LN SOLV e REC (experimento 5). Nos dez experimentos seguintes, os pesos de um dos critérios é elevado ao máximo (7,9,9) com os demais reduzidos ao mínimo (1,1,3). O critério C4 (geração de renda) destaca-se pelo maior poder de influência, pois, conforme o experimento 9, ao receber valor máximo, altera completamente as cinco primeiras posições no ranking. Outros critérios com influência significativa são C3 (sinergia com controladores) e C5 (retorno em impostos). Os experimentos 16 a 18 avaliam os impactos, respectivamente, das dimensões econômica, socioambiental e dos critérios de riscos, sendo possível observar que os critérios socioambientais, quando maximizados em sua importância relativa, alteram significativamente o *ranking* das linhas de negócio. Finalmente, os últimos 20 experimentos buscam avaliar a influência da alteração do valor de um único critério, maximizando-o ou minimizando-o, sendo mantidos os valores originalmente atribuídos aos demais critérios. Conforme estes experimentos, é possível observar que nenhum critério, isoladamente, é capaz de alterar significativamente o *ranking* estabelecido, de modo que as LN TREF e LOG mantêm as primeiras posições em todas as situações, sempre posicionam-se no topo. O experimento 36 revela que a posição da LN distribuição de solventes (DSOL) depende fortemente da importância atribuída ao critério C9 (riscos ambientais), pois quando este é minimizado, perde três posições no *ranking*. Nos demais experimentos deste último grupo, afora algumas inversões pontuais, as variações nos critérios não produziram alterações no *ranking* das linhas de negócio.

Tabela 27 – Experimentos de análise de sensibilidade

ID	DESCRIÇÃO	TREF	LOG	DSOL	BIO	LUB	SOLV	REC	REF_2	REF_1	UTC
1	$W_{c1-c10} = (1, 1, 3)$	0,4403 (1)	0,4309 (2)	0,3902 (3)	0,3869 (4)	0,3731 (5)	0,3719 (6)	0,3534 (7)	0,2905 (9)	0,2994 (8)	0,2780 (10)
2	$W_{c1-c10} = (1, 3, 5)$	0,4753 (1)	0,4633 (2)	0,4193 (3)	0,4178 (4)	0,4015 (5)	0,3985 (6)	0,3823 (7)	0,3131 (9)	0,3198 (8)	0,2963 (10)
3	$W_{c1-c10} = (3, 5, 7)$	0,5172 (1)	0,4973 (2)	0,4426 (4)	0,4482 (3)	0,4228 (5)	0,4162 (6)	0,4055 (7)	0,3193 (9)	0,3247 (8)	0,2983 (10)
4	$W_{c1-c10} = (5, 7, 9)$	0,5440 (1)	0,5190 (2)	0,4575 (4)	0,4679 (3)	0,4366 (5)	0,4275 (6)	0,4206 (7)	0,3235 (9)	0,3280 (8)	0,2998 (10)
5	$W_{c1-c10} = (7, 9, 9)$	0,6133 (1)	0,5793 (2)	0,5030 (4)	0,5257 (3)	0,4820 (5)	0,4664 (7)	0,4675 (6)	0,3446 (9)	0,3457 (8)	0,3123 (10)
6	$W_{c1} = (7, 9, 9); W_{c2-c10} = (1, 1, 3)$	0,5111 (1)	0,5024 (2)	0,4129 (4)	0,4104 (5)	0,4316 (3)	0,3973 (6)	0,3486 (7)	0,2950 (8)	0,2762 (10)	0,2843 (9)
7	$W_{c2} = (7, 9, 9); W_{c1,c3-c10} = (1, 1, 3)$	0,4869 (1)	0,4786 (2)	0,4064 (3)	0,3440 (6)	0,3448 (5)	0,3912 (4)	0,3087 (9)	0,2730 (10)	0,3311 (7)	0,3135 (8)
8	$W_{c3} = (7, 9, 9); W_{c1,c2,c4-c10} = (1, 1, 3)$	0,5111 (1)	0,5024 (2)	0,3552 (9)	0,4434 (3)	0,3986 (6)	0,4300 (4)	0,4154 (5)	0,3631 (8)	0,3696 (7)	0,3179 (10)
9	$W_{c4} = (7, 9, 9); W_{c1,c3,c5-c10} = (1, 1, 3)$	0,3987 (5)	0,3909 (7)	0,4129 (4)	0,4434 (1)	0,4316 (3)	0,3973 (6)	0,4394 (2)	0,3289 (8)	0,3025 (9)	0,2843 (10)
10	$W_{c5} = (7, 9, 9); W_{c1,c4,c6-c10} = (1, 1, 3)$	0,4234 (3)	0,4155 (4)	0,4129 (5)	0,4670 (1)	0,4316 (2)	0,3973 (6)	0,3486 (7)	0,3289 (8)	0,3025 (9)	0,2578 (10)
11	$W_{c6} = (7, 9, 9); W_{c1,c6,c7-c10} = (1, 1, 3)$	0,5111 (1)	0,4795 (2)	0,3552 (7)	0,4434 (3)	0,3986 (5)	0,3973 (6)	0,4394 (4)	0,3289 (10)	0,3359 (9)	0,3520 (8)
12	$W_{c7} = (7, 9, 9); W_{c1,c6,c8-c10} = (1, 1, 3)$	0,5111 (1)	0,4795 (2)	0,4453 (3)	0,4434 (4)	0,3986 (6)	0,3646 (7)	0,4154 (5)	0,2684 (10)	0,3025 (8)	0,2843 (9)
13	$W_{c8} = (7, 9, 9); W_{c1,c7,c9-c10} = (1, 1, 3)$	0,4880 (1)	0,4795 (2)	0,4453 (4)	0,4670 (3)	0,3986 (6)	0,3973 (7)	0,4154 (5)	0,2950 (9)	0,3359 (8)	0,2578 (10)
14	$W_{c9} = (7, 9, 9); W_{c1,c8,c10} = (1, 1, 3)$	0,4485 (1)	0,4405 (3)	0,4454 (2)	0,3440 (5)	0,3448 (4)	0,3314 (6)	0,3145 (7)	0,2538 (9)	0,2678 (8)	0,2491 (10)
15	$W_{c10} = (7, 9, 9); W_{c1-c9} = (1, 1, 3)$	0,5111 (1)	0,4795 (2)	0,4686 (3)	0,3774 (6)	0,3986 (5)	0,4300 (4)	0,3486 (7)	0,2950 (8)	0,2762 (9)	0,2578 (10)
16	$W_{c1,c3,c10} = (7, 9, 9); W_{c2,c4-c9} = (1, 1, 3)$	0,6061 (1)	0,5808 (2)	0,4421 (5)	0,4417 (6)	0,4584 (4)	0,4824 (3)	0,3940 (7)	0,3533 (8)	0,3182 (9)	0,2981 (10)
17	$W_{c4-c8} = (7, 9, 9); W_{c1-c3,c9-c10} = (1, 1, 3)$	0,5244 (3)	0,4892 (5)	0,4678 (6)	0,5962 (1)	0,4966 (4)	0,4323 (7)	0,5375 (2)	0,3519 (8)	0,3513 (9)	0,3072 (10)
18	$W_{c2,c9} = (7, 9, 9); W_{c1,c3-c8,c10} = (1, 1, 3)$	0,4876 (1)	0,4805 (2)	0,4518 (3)	0,3113 (6)	0,3233 (5)	0,3542 (4)	0,2799 (9)	0,2429 (10)	0,3003 (7)	0,2846 (8)
19	$W_{c1} = (7, 9, 9);$ Demais sem alteração	0,4945 (1)	0,4814 (2)	0,4432 (3)	0,4267 (4)	0,4236 (5)	0,4129 (6)	0,3885 (7)	0,3186 (8)	0,3138 (9)	0,2876 (10)
20	$W_{c1} = (1, 1, 3);$ Demais sem alteração	0,4674 (1)	0,4537 (2)	0,4366 (3)	0,4190 (4)	0,4012 (6)	0,4043 (5)	0,3927 (7)	0,3185 (9)	0,3248 (8)	0,2855 (10)
21	$W_{c2} = (7, 9, 9);$ Demais sem alteração	0,4945 (1)	0,4818 (2)	0,4412 (3)	0,4150 (4)	0,4097 (6)	0,4115 (5)	0,3804 (7)	0,3152 (9)	0,3201 (8)	0,2928 (10)
22	$W_{c2} = (1, 1, 3);$ Demais sem alteração	0,4782 (1)	0,4646 (2)	0,4377 (3)	0,4343 (4)	0,4237 (5)	0,4058 (6)	0,4005 (7)	0,3241 (8)	0,3076 (9)	0,2782 (10)
23	$W_{c3} = (7, 9, 9);$ Demais sem alteração	0,4966 (1)	0,4834 (2)	0,4367 (3)	0,4316 (4)	0,4183 (5)	0,4178 (6)	0,3973 (7)	0,3268 (8)	0,3235 (9)	0,2902 (10)
24	$W_{c3} = (1, 1, 3);$ Demais sem alteração	0,4693 (1)	0,4554 (2)	0,4545 (3)	0,4099 (4)	0,4100 (5)	0,3950 (6)	0,3730 (7)	0,2970 (8)	0,2940 (9)	0,2734 (10)
25	$W_{c4} = (7, 9, 9);$ Demais sem alteração	0,4791 (1)	0,4661 (2)	0,4422 (3)	0,4298 (4)	0,4222 (5)	0,4119 (6)	0,4003 (7)	0,3216 (8)	0,3149 (9)	0,2870 (10)

Tabela 27 – Experimentos de análise de sensibilidade (continuação)

26	$W_{c4} = (1, 1, 3)$ ; Demais sem alteração	0,4990 (1)	0,4852 (2)	0,4355 (3)	0,4082 (4)	0,3997 (6)	0,4032 (5)	0,3660 (7)	0,3068 (9)	0,3145 (8)	0,2848 (10)
27	$W_{c5} = (7, 9, 9)$ ; Demais sem alteração	0,4822 (1)	0,4692 (2)	0,4468 (3)	0,4449 (4)	0,4295 (5)	0,4163 (6)	0,3895 (7)	0,3257 (8)	0,3163 (9)	0,2854 (10)
28	$W_{c5} = (1, 1, 3)$ ; Demais sem alteração	0,4920 (1)	0,4781 (2)	0,4403 (3)	0,4137 (4)	0,4073 (6)	0,4079 (5)	0,3938 (7)	0,3110 (9)	0,3160 (8)	0,2948 (10)
29	$W_{c6} = (7, 9, 9)$ ; Demais sem alteração	0,5043 (1)	0,4833 (2)	0,4320 (4)	0,4388 (3)	0,4223 (5)	0,4163 (6)	0,4140 (7)	0,3279 (8)	0,3246 (9)	0,3065 (10)
30	$W_{c6} = (1, 1, 3)$ ; Demais sem alteração	0,4782 (1)	0,4658 (2)	0,4491 (3)	0,4181 (4)	0,4144 (5)	0,4081 (6)	0,3812 (7)	0,3138 (8)	0,3106 (9)	0,2762 (10)
31	$W_{c7} = (7, 9, 9)$ ; Demais sem alteração	0,5053 (1)	0,4841 (2)	0,4551 (3)	0,4385 (4)	0,4234 (5)	0,4104 (6)	0,4042 (7)	0,3167 (9)	0,3167 (8)	0,2887 (10)
32	$W_{c7} = (1, 1, 3)$ ; Demais sem alteração	0,4786 (1)	0,4662 (2)	0,4350 (5)	0,4171 (4)	0,4153 (6)	0,4160 (5)	0,3803 (7)	0,3280 (8)	0,3165 (9)	0,2867 (10)
33	$W_{c8} = (7, 9, 9)$ ; Demais sem alteração	0,4933 (1)	0,4801 (2)	0,4511 (3)	0,4413 (4)	0,4204 (5)	0,4144 (6)	0,4002 (7)	0,3183 (9)	0,3204 (8)	0,2852 (10)
34	$W_{c8} = (1, 1, 3)$ ; Demais sem alteração	0,4759 (1)	0,4620 (2)	0,4308 (3)	0,4099 (5)	0,4122 (4)	0,4058 (6)	0,3761 (7)	0,3182 (8)	0,3057 (9)	0,2945 (10)
35	$W_{c9} = (7, 9, 9)$ ; Demais sem alteração	0,4812 (1)	0,4681 (2)	0,4449 (3)	0,4200 (4)	0,4130 (5)	0,4063 (6)	0,3859 (7)	0,3157 (8)	0,3128 (9)	0,2848 (10)
36	$W_{c9} = (1, 1, 3)$ ; Demais sem alteração	0,48037 (1)	0,466416 (2)	0,424045 (6)	0,44007 (3)	0,427547 (4)	0,425724 (5)	0,404336 (7)	0,333024 (8)	0,327199 (9)	0,297732 (10)
37	$W_{c10} = (7, 9, 9)$ ; Demais sem alteração	0,4869 (1)	0,4717 (2)	0,4452 (3)	0,4219 (4)	0,4163 (5)	0,4127 (6)	0,3879 (7)	0,3183 (8)	0,3143 (9)	0,2865 (10)
38	$W_{c10} = (1, 1, 3)$ ; Demais sem alteração	0,4595 (1)	0,4533 (2)	0,4148 (4)	0,4281 (3)	0,4079 (5)	0,3899 (7)	0,3921 (6)	0,3182 (9)	0,3253 (8)	0,2959 (10)

### 7.3 VALIDAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

A seleção de uma função objetivo adequada ao problema estudado é fundamental para a efetividade dos modelos matemáticos, visto que diferentes funções-objetivo podem levar a resultados destoantes. O modelo de programação linear inteira utilizado para seleção das estratégias-candidatas utilizou, em sua função objetivo, parâmetros extraídos da aplicação do método TOPSIS: coeficiente de proximidade e distância em relação à solução idealmente positiva. Embora não tragam todos os requisitos de uma função de agregação aditiva, acredita-se que as duas funções objetivo traduzam, para os decisores, de modo razoavelmente intuitivo, a intenção de buscar uma estratégia que concentre os maiores benefícios. Para validar a pertinência desta abordagem, o modelo foi resolvido com duas outras funções objetivo: maximizar VPL e maximizar escores posicionais.

A avaliação de portfólios de projetos com base no VPL (valor presente líquido) é prática corrente para avaliação de empreendimentos industriais, inclusive na RPR. A inclusão do VPL como parâmetro da função objetivo possibilita comparações entre as soluções selecionadas com base no conjunto de critérios de sustentabilidade e aquelas geradas tendo por base um único critério econômico. A outra função objetivo proposta, baseada em escores derivados de informações de caráter ordinal, tem sido utilizada em modelos de seleção de portfólios de projetos (STILLWELL, SEAVER; EDWARDS, 1981, HALL et al., 1992), aplicando-se, neste caso, abordagem de *ranking* exponencial, com escores calculados conforme abaixo:

$$E_i = \frac{(N - R_i + 1)^2}{\sum_{i=1}^N (N - R_i + 1)^2}$$

Onde:

$R_i$  : posição da alternativa no ordenamento decrescente das alternativas conforme método *fuzzy* TOPSIS

$N$  : quantidade de alternativas

A solução do modelo nos quatro cenários propostos não gerou alternativas distintas daquelas já identificadas com as funções objetivo originais. No modelo com função objetivo baseada no *ranking* exponencial, os resultados em todos os cenários foram idênticos aos obtidos no modelo com função objetivo baseada na maximização dos escores TOPSIS. Tal situação repetiu-se para o modelo baseado na maximização do VPL nos cenários I e II. Nos cenários III e IV os resultados foram idênticos aos obtidos com a função objetivo “minimizar distâncias para a solução ideal”, considerando, respectivamente, quatro e cinco como quantidade mínima de linhas de negócio (ver ANEXO D).

Os resultados obtidos indicam que as soluções do modelo matemático proposto, baseado em escores derivados da aplicação do método TOPSIS, podem ser consideradas representativas do problema em estudo.

## 8 IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO

Nesta última etapa do trabalho buscou-se consolidar, interpretar, analisar e gerar recomendações relativas à seleção de uma estratégia de reconversão industrial que viabilize a sustentabilidade empresarial da RPR.

Foram avaliadas dez linhas de negócio aplicáveis à RPR, potencialmente viabilizadoras de sua sustentabilidade empresarial. Submetidas à avaliação sob um conjunto de aspectos representativos das dimensões econômica, social e ambiental da Companhia, e considerando a aplicação de metodologia de análise multicritério, as linhas de negócio foram ordenadas conforme seu desempenho em relação aos critérios de análise, respeitados os diferentes graus de importância relativa atribuída aos critérios pelo grupo decisor. Nesta avaliação, os serviços de logística e o tratamento de efluentes e resíduos despontam como as alternativas mais favoráveis. Na condição oposta, ou seja, alternativas menos favoráveis, estão as atividades de refino de petróleo e unidades teste para centros de pesquisa (unidades industriais em escala reduzida para avaliação de novas tecnologias de refino). Já as atividades associadas ao refino, formulação de lubrificantes, e produção e distribuição de solventes, assim como novas oportunidades de produção, tais como biocombustíveis e reciclagem de plásticos, posicionam-se em situação intermediária na avaliação em relação ao conjunto de critérios.

Os serviços de logística e o tratamento de resíduos e efluentes apresentam os melhores desempenhos nos critérios econômicos, com excelentes perspectivas de crescimento e grande potencial de integração e sinergia com atividades desenvolvidas por empresas ligadas aos três grupos controladores. A capacidade atual de tancagem existente na RPR, a localização estratégica junto à área portuária e o amplo acesso aos modais aquaviário, ferroviário e rodoviário reduzem grandemente os riscos empresariais destas linhas de negócio. Conforme estudos internos da RPR, existe uma demanda crescente por serviços desta natureza, principalmente em função de legislações ambientais cada vez mais exigentes. Além disso, quando implementadas em conjunto, requerem baixo volume de investimentos e agregam ótima rentabilidade. Embora com baixa exposição a riscos, apresentam desempenho apenas intermediário em relação aos critérios socioambientais, principalmente em função do baixo impacto deste tipo de atividade na geração de empregos e renda para a região.

As atividades de refino constituem a base da produção atual da RPR, estando diretamente vinculadas à situação de crise existente na Companhia. Do ponto de vista

econômico, apresentam perspectivas muito ruins de crescimento e rentabilidade, sob pressão constante de variáveis macroeconômicas, como câmbio e juros, e do preço do petróleo no mercado internacional, associada à política de preços de combustíveis derivados de petróleo praticada no mercado nacional. Mesmo os contratos de industrialização<sup>3</sup> firmados com a Petrobras, outrora viabilizadores da continuidade operacional da RPR, deixaram de agregar valor significativo às partes envolvidas, perdendo sua atratividade, quer pelo aumento da oferta de derivados no mercado interno, quer pela redução dos preços pagos pelos serviços de refino. O desempenho é igualmente ruim nos aspectos socioambientais, com baixo impacto em praticamente todos os critérios.

Associadas ao refino, a formulação de lubrificantes e a produção e distribuição de solventes são atividades com bom potencial econômico e, dada as atuais condições da planta industrial, baixíssima necessidade de investimentos. A falta de uma marca consolidada no mercado e mercado regional saturado são fatores que aumentam os riscos empresariais da linha de negócio lubrificantes, direcionando-a para um modelo de negócio orientado à prestação de serviços (industrialização). Embora seja o único produtor de pentanos e tenha iniciado a operação de uma nova planta de solventes em 2012, a operacionalização da linha de negócio de solventes especiais enfrenta dificuldades relativas ao fornecimento de matéria-prima adequada e à concorrência de produtos importados, além de ter impacto pouco significativo sobre variáveis socioambientais consideradas. A distribuição de solventes (venda do produto já envasado) apresenta-se como alternativa de ótima rentabilidade e baixos riscos, embora seja penalizada no critério de sinergia com controladores por estabelecer relações de concorrência com empresas do ramo operadas por Petrobras e Braskem.

As linhas de negócio vinculadas a biocombustíveis e reciclagem de plásticos projetam os maiores benefícios socioambientais, notadamente em relação à geração de renda e demanda por pesquisa e inovação, no caso da reciclagem de plásticos, e no retorno de impostos e processos ambientalmente eficientes no caso dos biocombustíveis. Ambas linhas de negócio, porém, caracterizam-se por altos riscos, tanto empresariais, quanto de acidentes com impacto ambiental. No aspecto econômico constituem as duas alternativas de maior volume de investimentos requerido, embora resultando em VPI cerca de 50% menor do que aqueles estimados para as linhas de negócio de logística e tratamento de resíduos e efluentes.

---

<sup>3</sup> Contratos de industrialização de petróleo são acordos através dos quais uma das partes fornece o petróleo a ser processado pela outra parte, tendo direito à integralidade dos derivados produzidos, mediante o pagamento dos serviços de refino.

Aceita a premissa segundo a qual os efeitos (benefícios) de uma determinada estratégia são proporcionais aos efeitos das linhas de negócio que a compõem, os escores TOPSIS calculados para cada uma das estratégias candidatas (E1 a E8) a partir dos valores médios das avaliações obtidas por cada linha de negócio são utilizados para comparações entre as diferentes alternativas. A observação da tabela 19 indica que a estratégia E1, composta por serviços de logística (LOG) e tratamento de resíduos e efluentes (TREF), consta como alternativa mais favorável em três dos quatro parâmetros considerados (geral, econômico e risco). As estratégias E2 e E5, igualmente compostas pelas linhas de negócio LOG e TREF e associadas, respectivamente, à formulação de lubrificantes (LUB) e produção de biocombustíveis (BIO), dividem a segunda posição mais favorável, com a estratégia E8 em sequência.

A estratégia E4 representa, de certa forma, a continuidade das operações atuais da RPR, com atividades de refino (REF\_1), logística (LOG), tratamento de resíduos (TREF), lubrificantes (LUB) e produção e distribuição de solventes especiais (SOLV e DSOL), devidamente ajustadas para superação da situação atual de crise. Na avaliação relativa ao benefício geral esperado ocupa a quinta posição, enquanto que, considerando isoladamente os benefícios econômicos e socioambientais, apresenta-se entre as últimas opções. Por envolver operações conhecidas e completamente dominadas na RPR, esta estratégia foi avaliada com baixos riscos empresariais, apesar das perspectivas de continuidade de um contexto macroeconômico desfavorável. No entanto, os riscos ambientais associados à operação de uma planta industrial antiga, em um centro urbano, posicionam esta estratégia entre aquelas com maior exposição a riscos. De qualquer modo, sob o ponto de vista de uma reconversão industrial, esta alternativa, assim como a E3, enquadra-se como uma estratégia de continuidade, ou seja, no jargão empresarial, “mais do mesmo”.

Em um cenário de baixíssimo investimento (inferior a US\$ 10 milhões), as diferentes análises confirmam que a melhor alternativa é concentrar foco nos serviços de logística e tratamento de resíduos e efluentes, conforme proposto na estratégia E1. No entanto, esta alternativa implica na desativação progressiva de um parque industrial consolidado e, apesar dos problemas, ainda plenamente operacional, gerando questionamentos, tanto no âmbito dos sócios controladores, quanto de forças sociais e políticas do RS.

As estratégias E2 e E5 preveem a expansão da alternativa E1 através da agregação de uma outra linha de negócio. Na estratégia E2 a RPR mantém e expande a atividade de formulação de lubrificantes, com baixo investimento inicial, direcionando-se para a prestação de serviços de misturas, tendo em vista que dois dos grupos controladores são produtores de



lubrificantes e, portanto, clientes potenciais deste serviço. A estratégia E5, por sua vez, prevê um grande investimento na implementação de uma planta para produção de biocombustíveis, utilizando parte das instalações industriais atuais. Embora sejam reconhecidas como tendência de futuro, as tecnologias para conversão de biomassa em biocombustíveis ainda não estão consolidadas, com diversas iniciativas em andamento, especialmente na Europa, como por exemplo a conversão para biorefinaria da refinaria de petróleo da ENI em Veneza. Além da questão tecnológica, persistem outras incertezas que afetam a viabilidade econômica de grandes plantas de biocombustíveis, de modo que as decisões empresariais dependerão da formalização de políticas públicas de incentivo à implantação de biorrefinarias no Brasil em suas diferentes concepções, dependendo da matéria-prima e dos produtos envolvidos. De qualquer forma, a produção de biocombustíveis apresenta ótima expectativa de desempenho em relação ao retorno em impostos, decorrente do desenvolvimento de uma complexa cadeia produtiva na região, além de implementar sinergias com os controladores e impactos muito positivos no aspecto socioambiental.

A estratégia E8 engloba as linhas de negócio que compõem a estratégia E2 (LOG, TREF e LUB) acrescidas da produção de biocombustíveis (BIO) e reciclagem de plásticos (REC). Com o maior volume de investimentos requerido entre todas as alternativas, a estratégia E8 ocupa, simultaneamente, a primeira posição no *ranking* dos benefícios socioambientais e a última posição relativa à robustez frente a riscos. Esta condição, longe de ser contraditória, é consequência da presença das linhas de negócio de biocombustíveis e reciclagem de plásticos, de grande impacto na cadeia produtiva regional, mas sujeita a incertezas, tanto tecnológicas, como comerciais. Ainda mais incipiente que a conversão de biomassa, as tecnologias de reciclagem de plásticos, especialmente aquelas orientadas à produção de combustíveis (*plastic-to-fuel*) ainda constituem significativo risco empresarial. Em função das incertezas envolvidas, a implementação desta estratégia somente faria sentido em um cenário de radical mudança societária, no qual o grupo controlador, associado a um programa governamental específico, tivesse acesso a fontes de financiamento de longo prazo e fossem construídas articulações sociais e políticas que minimizassem os riscos empresariais envolvidos.

Os resultados deste estudo indicam a existência de uma ordenação clara e consistente das estratégias de reconversão industrial, na qual a estratégia E1 é a mais favorável, seguida das estratégias E5, E2 e E8. No entanto, com base nas diversas análises realizadas ao longo deste trabalho e na expectativa de atingir, simultaneamente, a maximização dos benefícios econômicos e socioambientais, além de um adequado balanceamento das linhas de negócio

em termos de aporte de recursos, rentabilidade e riscos, a adoção da estratégia E1 deve ser vista com reservas. A concentração do negócio em apenas duas atividades e, principalmente, a desativação de grande parte do parque industrial atual, é fator de risco que, talvez, não tenha sido adequadamente endereçado no estudo. Embora as linhas de negócio em logística e tratamento de resíduos e efluentes garantam um bom conjunto de benefícios e baixa exposição a riscos, alguns dos resultados obtidos neste estudo indicam que a associação com o negócio de biocombustíveis e lubrificantes (estratégia E5) pode agregar ganhos significativos, tanto para a RPR, quanto para o desenvolvimento regional. As estratégias E1 e E5, portanto, resultam como recomendações deste estudo.

Mais relevante que uma recomendação final, o resultado deste trabalho é constituído de um conjunto de artefatos cognitivos a ser explorado com vistas à tomada de decisão. Ao propor uma forma estruturada de apresentar o problema e analisar alternativas de solução, este estudo provê uma base sobre a qual os decisores podem desenvolver e reforçar suas próprias convicções e, assim, encaminhar uma boa solução.

## 9 CONCLUSÕES

A seleção de uma estratégia de reconversão industrial de uma companhia com a história e a relevância regional da Refinaria de Petróleo Riograndense é, antes de mais nada, um processo complexo. As incertezas envolvidas, a existência de critérios potencialmente conflitantes e a necessidade de compatibilizar diferentes perspectivas e interesses constituem ambiente propício à utilização de métodos formais e estruturados de suporte à decisão.

Ao longo deste estudo foram identificadas as linhas de negócio aplicáveis ao contexto atual e futuro da RPR, bem como definidos os critérios a serem utilizados para avaliação da sustentabilidade empresarial da solução proposta. Com base na matriz de decisão constituída pelo desempenho das linhas de negócio sob cada um dos critérios e pela importância relativa de cada critério, foi aplicado método *fuzzy* TOPSIS para análise e ordenação das linhas de negócio. Através da combinação das linhas de negócios, respeitadas as restrições técnicas e considerando as sinergias decorrentes da interdependência, foram identificadas as melhores estratégias candidatas à implementação na refinaria. Finalmente, o desempenho global de cada estratégia candidata, juntamente com informações complementares de natureza econômica, foi analisado de modo a gerar os elementos necessários para subsidiar a seleção da melhor estratégia de reconversão.

Por tratar-se de um caso real, o desenvolvimento deste estudo adequou-se a algumas condições específicas do processo de planejamento da RPR, especialmente em relação ao cronograma e ao estágio das avaliações de cada linha de negócio. Cabe destacar que a RPR, na data de conclusão deste estudo, ainda está em meio a prospecções, análises e negociações estratégicas em relação à sua reconversão industrial.

No entanto, os resultados obtidos neste estudo com a aplicação do método *fuzzy* TOPSIS, associada a modelos de programação matemática e ferramentas gráficas demonstraram a pertinência da abordagem proposta no sentido de facilitar o entendimento e a exploração da situação problema e, assim, oferecer um adequado suporte à tomada de decisão. Computacionalmente simples e envolvendo conceitos que, de certa forma, refletem a racionalidade normalmente aplicada às decisões empresariais, o modelo proposto resultou compreensível para os decisores, facilitando o entendimento e aceitação dos resultados. A implementação através de *software* de planilha eletrônica permite, ainda, que o modelo possa ser explorado diretamente pelos atores envolvidos no processo de decisão, tornando-o dinâmico e adequado à avaliação de diferentes cenários.

Na realização desta dissertação algumas definições foram incorporadas ao escopo do estudo para fins de simplificação. A avaliação da estratégia de reconversão focou-se, basicamente, nos aspectos industriais do problema, sem avançar sobre questões de governança corporativa ou possibilidades de alterações na composição societária da Companhia. Não foram considerados, igualmente, impactos relativos a variáveis externas (não-controladas), tais como alterações de legislação e contexto macroeconômico.

Adicionalmente, a opção por utilizar um espectro mais amplo de alternativas, considerando linhas de negócio ainda em estágio incipiente de análise, foi determinante para a seleção dos critérios, com forte predominância de aspectos qualitativos, na medida em que dados numéricos mais detalhados não estavam igualmente disponíveis em relação a todas as linhas de negócio.

Entre as limitações relacionadas a aspectos metodológicos, podem ser citadas a identificação de potenciais sinergias restrita à análise entre pares de linhas de negócio (interação binária), a utilização do modelo de programação linear com apenas uma função objetivo para identificação das estratégias candidatas e o mecanismo de avaliação das estratégias através da média aritmética das avaliações de suas respectivas linhas de negócio.

A representatividade do modelo em relação a situações reais em empresas pode ser incrementada a partir de extensões a este estudo, incluindo a exploração de técnicas que possam ser associadas ao método *fuzzy* TOPSIS no sentido de prover maior poder de discriminação entre as alternativas analisadas, aplicação de matriz de influência para avaliar a forma e intensidade com que um componente (por exemplo, linha de negócio) aumenta ou reduz seu desempenho na interação com outros, incorporação de fatores que ponderem o caráter probabilístico de variáveis de ambiente (não controladas pelo decisor) e que afetam as consequências de cada alternativa e novos algoritmos para agregação do desempenho das alternativas a partir do desempenho individual de seus componentes .

## REFERÊNCIAS

- ALIMORADI, Ali; YUSSUF, Rosnah M.; ZULKIFLI, Norzima. A hybrid model for remanufacturing facility location problem in a closed-loop supply chain. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 4, n. 1, p. 16-23, 2011.
- ALINEZHAD, Alireza; AMINI, Abbas. Sensitivity analysis of TOPSIS technique: The results of change in the weight of one attribute on the final ranking of alternatives. **Journal of Optimization in Industrial Engineering**, v. 7, p. 23-28, 2011.
- ALMEIDA, Adiel T.; DUARTE, Marina. A multi-criteria decision model for selecting project portfolio with consideration being given to a new concept for synergies. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 2, p. 301-318, 2011.
- AMIRI, Morteza P. Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. **Expert Systems with Applications**, v. 37, p. 6218-6224, 2010.
- ARCHER, Norm P.; GHASEMZADEH, Fereidoun. An integrated framework for project portfolio selection. **International Journal of Project Management**, v. 17, n. 4, p. 207-216, 1999.
- ARENALES, Marcos, *et al.* **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2007.
- ASCOUGH, James. C. *et al.* Key criteria and selection of sensitivity analysis methods applied to natural resource models. *In: Modsim 2005 International Congress on Modeling and Simulation. Modeling and Simulation Society of Australia*, Melbourne, 2005.
- AWASTHI, Anjal; CHAUHAN, Satyaveer S. A hybrid approach integrating Affinity Diagram, AHP and fuzzy TOPSIS for sustainable city logistics planning. **Applied Mathematical Modelling**, v. 36, p. 573–584, 2012.
- AWASTHI, Anjal; CHAUHAN, Satyaveer S.; OMRANI, Hichem. Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems. **Expert Systems with Applications**, v. 38, p. 12270–12280, 2011.
- AZAPAGIC, Adisa; PERDAN, Slobodan. Indicators of sustainable development for industry: a general framework. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 78, n. 4, p. 243-261, 2000.
- BADRI, Hossein; HEJAZI, Taha H.; AFGHAHI, Babak. Selection of multiphase governmental projects, related contractors and master planning under fuzzy environment. *In: World Congress on Engineering*, 2010, Londres. Proceedings... Londres: WCE, 2010, v. 3.
- BANA E COSTA, Carlos A.; VANSNICK, Jean-Claude. Uma nova abordagem ao problema da construção de uma função de valor cardinal: MACBETH. **Investigação Operacional**, v. 15, p.15-35, 1995.
- BASTIANI, Samantha *et al.* Project ranking-based portfolio selection using evolutionary multiobjective optimization of a vector proxy impact measure. *In: Eureka-2013 Fourth*

**International Workshop on Knowledge Discovery, Knowledge Management and Decision Support**, 2013, Mazatlan. Proceedings... Mazatlan: Eureka, 2013.

BEHZADIAN *et al.* A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 17, p. 13051-13069, 2012.

BELTON, Valerie; STEWART, Theodor. Problem structuring and multiple criteria decision analysis. *In*: GRECO, Salvatore, EHRGOTT, Matthias, FIGUEIRA, Jose R. **Trends in multiple criteria decision analysis**. NY: Springer, 2010.

BELTON, Valerie; STEWART, Theodor. **Multiple criteria decision analysis: An integrated approach**. Springer, 2002.

BELTON, Valerie; HODGKIN, Julie. Facilitators, decision makers, DIY, users: Is intelligent multicriteria decision support for all feasible or desirable? **European Journal of Operational Research**, v. 113, n. 2, p. 247-260, 1999

BELTON, Valerie. A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function. **European Journal of Operational Research**, v. 26, n. 1, p. 7-21, 1986.

BOUYSSOU, Denis, *et al.* **Evaluation and decision models with multiple criteria: Stepping stones for the analyst**. Springer, 2006.

BOUYSSOU, Denis. Outranking relations: do they have special properties? **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 5, n. 2, p. 99-111, 1996.

BOUYSSOU *et al.* A manifesto for the new MCDA era. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 2, n. 3, p. 125-127, 1993.

BOUYSSOU, Denis. Building criteria: A prerequisite for MCDA. *In*: BANA E COSTA, Carlos (Ed.). **Readings in multiple criteria decision aid**, Berlin: Springer, 1990, p. 58-80.

BRANS, Jean P.; VINCKE, Philippe; MARESCHAL, Bertrand. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, n. 2, p. 228-238, 1986.

BRIGGS, Thomas F.; KUNSCH Pierre L.; MARESCHAL, Bertrand. Nuclear waste management: An application of the multicriteria PROMETHEE methods. **European Journal of Operational Research**, v. 44, p. 1-10, 1990.

BUCKLEY, James J. Fuzzy hierarchical analysis. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 17, n. 3, p. 233-247, 1985.

BUSTOS, Pablo. Crise e reorganização econômica na América Latina: uma passagem histórica. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 20, n. 3, p. 93-109, 1992.

CALILI, Rodrigo F. *et al.* Estudo de modelos decisórios para escolha de alternativas de usinas geradoras de energia elétrica: utilização dos métodos multicritério TOPSIS, ELECTRE e

AHP. *In: 4th International Conference On Industrial Engineering and Industrial Management*, 2010, San Sebastian.

CAMPOS, Vanessa R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. 2011. 175f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CARDOZO, Soraia A. **Guerra fiscal no Brasil e alterações das estruturas produtivas estaduais desde os anos 1990**. 2010. 330f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico), Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

CARON, Franco; FUMAGALLI, Mauro; RIGAMONTI, Alvaro. Engineering and contracting projects: A value at risk based approach to portfolio balancing. **International Journal of Project Management**, v. 25, p. 569-578, 2007.

CARR, Chris; KOLEHMAINEN, Katja; MITCHELL, Falconer. Strategic investment decision making practices: A contextual approach. **Management Accounting Research**, v. 21, p. 167-184, 2010.

CASTEL-BRANCO, Carlos Nuno. Indústria e industrialização em Moçambique: Análise da situação actual e linhas estratégicas de desenvolvimento. *In: I Quaderni della Cooperazione Italiana*, v. 3, 2003.

YEH, Chung H.; DENG, Hepu. A practical approach to fuzzy utilities comparison in fuzzy multicriteria analysis. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 35, p. 179–194, 2004.

CHAVES, Maria C.C. *et al.* Uso integrado de dois métodos de apoio à decisão multicritério: VIP Analysis e MACBETH. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 2, n. 2, p. 89-99, 2010.

CHEN, Chen T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, n. 1, p. 1-9, 2000.

COOPER, Robert; EDGETT, Scott; KLEINSCHMIDT, Elko. Portfolio management for new product development: results of an industry practices study. **R&D Management**, v. 31, n. 4, p. 361-380, 2001.

DE MONTIS, Andrea, *et al.* Assessing the quality of different MCDA methods. **Alternatives for Environmental Valuation**, p. 99-184, 2004.

DIAS, Ana F.M. **Análise de robustez do modelo multicritério aditivo na problemática de portfólio**. 2012. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

DIETRICH, Perttu; LEHTONEN, Paivi. Successful management of strategic intentions through multiple projects – Reflections from empirical study. **International Journal of Project Management**, v. 23, p. 386–391, 2005.

DINIZ, Clélio C. O Papel das Inovações e das Instituições no Desenvolvimento Local. *In: XXIX Encontro Nacional de Pós-graduação em Economia*, 2001, Salvador.

DUTRA, Camila C.; RIBEIRO, José L. D.; CARVALHO, Marly M. An economic–probabilistic model for project selection and prioritization. **International Journal of Project Management**, *in press*, 2014.

DYLLICK, Thomas; HOCKERTS, Kai. Beyond the business case for corporate sustainability. **Business Strategy and the Environment**, v. 11, n. 2, p. 130-141, 2002.

EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 60, p. 306-325, 1994.

ELKINGTON, John. Accounting for the triple bottom line. **Measuring Business Excellence**, v. 2, p. 18 – 22, 1998.

ERTUĞRUL, İrfan. Fuzzy group decision making for the selection of facility location. **Group Decision and Negotiation**, v. 20, n. 6, p. 725-740, 2011.

FERREIRA, Luciano; SANTI, Éverton; BORENSTEIN, Denis. A TOPSIS based approach for evaluating alternatives in Fuzzy-Electre environments. *In: XLVSBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2013, Natal. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0205.pdf>>. Acessado em: 10 jan. 2014.

FIGUEIRA *et al.* ELECTRE methods: Main features and recent developments. *In: ZOPOUNIDIS, C.; PARDALOS, P. M. (Eds.). Handbook of Multicriteria Analysis*. Berlin: Springer, 2010.

FIGUEIRA, Jose R.; ROY, Bernard. A note on the paper, “ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods, by Wang and Triantaphyllou, Omega (2008)”. **OMEGA**, v. 37, p. 731–733, 2009.

FIGUEIRA, José; MOUSSEAU, Vincent; ROY, Bernard. ELECTRE methods. *In: Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. New York: Springer, 2005. p. 133-153.

FISHBURN, Peter C.; LAVALLE, Irving H. Binary interactions and subset choice. **European Journal of Operational Research**, v. 92, p. 182-192, 1996.

FOX, Edward G.; BAKER, Norman R.; BRYANT, John L. Economic models for R and D project selection in the presence of project interactions. **Management Science**, v. 30, n. 7, p. 890-902, 1984.

FREIRE, João R. D.; JARDIM, Flávio P. O futuro da indústria petroquímica gaúcha. **REAd: Revista Eletrônica de Administração**, v. 6, n. 4, 2000.

FRENCH, Simon. Modelling, making inferences and making decisions: The roles of sensitivity analysis. **Top**, v. 11, n. 2, p. 229-251, 2003.



FREY, Christopher H.; MOKHTARI, Amirhossein; ZHENG, Junyu. **Recommended practice regarding selection, application, and interpretation of sensitivity analysis methods applied to food safety process risk models**, 2004. Disponível em: <<http://www.ce.ncsu.edu/risk/Phase3Final.pdf>>. Acessado em: 01 ago. 2013.

GHAPANCHI *et al.* A methodology for selecting portfolios of projects with interactions and under uncertainty. **International Journal of Project Management**, v. 30, p. 791–803, 2012.

GHASEMZADEH, Fereidoun; ARCHER, Norman P. Project portfolio selection through decision support. **Decision Support Systems**, v. 29, n. 1, p. 73-88, 2000.

GHISI, Marcos Angeli; MERLO, Edgard Monforte; NAGANO, Marcelo Seido. A Mensuração da importância de atributos em serviços: Uma comparação de escalas. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 7, n. 2, 2006.

GOMES, Luiz F. A. M.; GOMES, Carlos F. S. **Tomada de decisão gerencial: Enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2012.

GOMES, Luiz F. A. M.; GOMES, Carlos F. S.; RANGEL, Luis A. D. A comparison of the applications of TODIM and THOR to an importante environmental problem. *In*: **XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2011, Ubatuba. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2011/pdf/87187.pdf>> Acesso em: 08 set. 2013.

GOMES, Carlos F. S.; CHAVES, Maria C. Uso de planilha eletrônica para implementação da lógica nebulosa em problemas de formulação linear multiobjetivo. **ENGEVISTA**, v. 14, n. 2, 2011.

GOMES, Luis F. A. M.; RANGEL, Luis A. D. An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties. **European Journal of Operational Research**, v. 193, p. 204–211, 2009.

GONÇALVES, Robson R. Perspectivas para a implementação de uma política industrial no Brasil. **Revista de Economia Política**, v. 18, n. 3, p. 84-99, 1998.

GUITOUNI, Adel; MARTEL, Jean M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. **European Journal of Operational Research**, v. 109, n. 2, p. 501-521, 1998.

HALL, Nicholas G. *et al.* A model for making project funding decisions at the National Cancer Institute. **Operations Research**, v. 40, n. 6, p. 1040-1052, 1992.

HASSINK, Robert; SHIN, Dong H. The restructuring of old industrial areas in Europe and Asia. **Environment and Planning**, v. 37, n. 4, p. 571-580, 2005.

HO, William. Integrated analytic hierarchy process and its applications: A literature review. **European Journal of operational Research**, v. 186, n. 1, p. 211-228, 2008.

HOBBS, Benjamin F. Does choice of multicriteria method matter? An experiment in water resources planning. **Water Resources Research**, v. 28, n. 7, p. 1767-1779, 1992.

HODGKINSON, Gerard P. The role of strategy workshops in strategy development processes: Formality, communication, co-ordination and inclusion. **Long Range Planning**, v. 39, p. 479-496, 2006.

HOWARD, Ronald A. Decision Analysis: Practice and Promise. **Management Science**, v. 34, n. 6, p. 679-695, 1998.

HUANG, Yeu S.; LI, Wei H. A study on aggregation of TOPSIS ideal solutions for group decision-making. **Group Decision and Negotiation**, v. 21, n. 4, p. 461-473, 2012.

HWANG, Ching L.; YOON, Paul K., **Multiple-attribute decision making: Methods and applications**. Berlin: Springer, 1981.

ISHIZAKA, Alessio; LABIB, Ashraf. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. **Expert Systems with Applications**, v. 38, p. 14336–14345, 2011.

JANIC, Milan; REGGIANI, Aura. An application of the multiple criteria decision making (MCDM) analysis to the selection of a new hub airport. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 2, n. 2, p. 113-141, 2002.

KABLI, Mohammad R. **A multi-attribute decision making methodology for selecting new R&D projects portfolio with a case study of Saudi oil refining industry..2009**. 260f. (Thesis Doctor of Philosophy) – School of Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering, University of Nottingham, Nottingham, 2009.

KAHRAMAN, Cengiz *et al.* Fuzzy multi-criteria evaluation of industrial robotic systems. **Computers & Industrial Engineering**, v. 52, p. 414–433, 2007.

KANNAN, Devika; JABBOUR, Ana B. L. S.; JABBOUR, Charbel J. C. Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. **European Journal of Operational Research**, v. 233, n. 2, p. 432-447, 2014.

KARNI, Reuven; SANCHEZ, Pedro; TUMMALA, Rao V. M. A comparative study of multiattribute decision making methodologies. **Theory and Decision**, v. 29, n. 3, p. 203-222, 1990.

KAYA, Tolga; KAHRAMAN, Cengiz. Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 6, p. 6577-6585, 2011.

KEARNS, Grover S. A multi-objective, multi-criteria approach for evaluating IT investments: results from two case studies. **Information Resources Management Journal**, v. 17, n. 1, p. 37-62, 2004.

KEENEY, Ralph L.; GREGORY, Robin S. Selecting attributes to measure the achievement of objectives. **Operations Research**, v. 53, n. 1, p. 1-11, 2005.

KEENEY, Ralph L.; RAIFFA, Howard. **Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs**. Cambridge: University Press, 1993.

LACERDA, Rogerio T. O.; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra R. Um estudo de caso sobre gerenciamento de portfólio de projetos e apoio à decisão multicritério. **Revista Gestão Industrial**, v. 6, n. 1, 2010.

LIMA JUNIOR, Francisco R. **Comparação entre os métodos Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores**. 2013. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

LOPES, Yuri G.; ALMEIDA, Adiel T. A multicriteria decision model for selecting a portfolio of oil and gas exploration projects. **Pesquisa Operacional**, v. 33, n. 3, p. 417-441, 2013.

MALCZEWSKI, Jacek. **GIS and Multi-Criteria Decision Analysis**. New York: JohnWiley & Sons, 1999.

MAVROTAS, George; DIAKOULAKI, Danae; KOURENTZIS, Athanasios. Selection among ranked projects under segmentation, policy and logical constraints. **European Journal of Operational Research**, v. 187, p. 177-192, 2008.

MAVROTAS, G.; DIAKOULAKI, D.; CALOGHIROU, Y. Project prioritization under policy restrictions: A combination of MCDA with 0–1 programming. **European Journal of Operational Research**, v. 171, p. 296-308, 2006.

MAZLOMI, Aliakbar; YUSUFF, R. M. On the use of MCDM technique for identifying key technology: a case of auto company. *In: Proceedings of the international multi conference of engineers and computer scientists*. 2011.

MCGAHAN, Anita M. How industries change. **Harvard Business Review**, v. 82, n. 10, 2004.

MENDOZA, G. A.; MARTINS, H. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. **Forest Ecology and Management**, v. 230, n. 1, p. 1-22, 2006.

MIAN, M. A. **Project economics and decision analysis**. Tulsa: PennWell, 2011.

MIRANDA, Caroline M. G.; ALMEIDA, Adiel T. Visão multicritério da avaliação de programas de pós-graduação pela CAPES: O caso da área engenharia III baseado nos métodos ELECTRE II e MAUT. **Gestão e Produção**, v. 11, n. 1, p. 51-64, 2004.

MOMENI, Mansour *et al.* A fuzzy TOPSIS-based approach to maintenance strategy selection. **Middle-East Journal of Scientific Research**, v. 8, n. 3, p. 699-706, 2011.

NICHOLS, David; VON HIPPEL, David; STEWART, Theo. Planning Approaches – Annexes. **Pretoria: World Commission on Dams**, 2000. Disponível em: <[http://s3.amazonaws.com/zanran\\_storage/www.dams.org/ContentPages/9052814.pdf](http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.dams.org/ContentPages/9052814.pdf)>. Acessado em: 05 out. 2013.

OLIVEIRA, Tiago; PRONI, Marcelo. Grande empresa industrial, reestruturação produtiva e a dinâmica recente do emprego formal no Brasil. **Revista Gestão Industrial**, v. 3, n. 3, 2007.

OLSON, David L. *et al.* Consistency and accuracy in decision aids: Experiments with four multiattribute systems. **Decision Sciences**, v. 26, p. 723-748, 1995.

OPRICOVIC, Serafim; TZENG, Gwo H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. **European Journal of Operational Research**, v. 156, p. 445-455, 2004.

PADOVANI, Marisa; CARVALHO, Marli M. D. E.; MUSCAT, Antonio R. N. Seleção e alocação de recursos em portfólio de projetos: estudo de caso no setor químico. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 1, p. 157-180, 2010.

PENIWATI, Kirti. Criteria for evaluating group decision-making methods. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 46, n. 7, p. 935-947, 2007.

PORTER, Michael E. What is strategy? **Harvard Business Review**, v. 74 p. 61-78. 1996.

RABBANI, Masoud; BAJESTANI, Aramoon M.; KHOSHKHOU, Baharian G. A multi-objective particle swarm optimization for project selection problem. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 1, p. 315-321, 2010.

REMER, Donald S.; NIETO, Armando P. A compendium and comparison of 25 project evaluation techniques. Part 1: Net present value and rate of return methods. **International Journal of Production Economics**, v. 42, p. 79-96, 1995.

RIBEIRO, Marco A. **75 anos de refino de petróleo no Brasil**. Refinaria de Petróleo Riograndense. Rio Grande, 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 48.956, de 28 de março de 2012. Institui a Política Setorial como elemento necessário ao desenvolvimento industrial do Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, RS, 29 mar. 2012.

RIO GRANDE DO SUL, Assembléia Legislativa. **Relatório final da subcomissão da Refinaria de Petróleo Ipiranga**. Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/download/SubIpirangaII/ipirangaII.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2013.

ROY, Bernard; VINCKE, Philippe. Multicriteria analysis: survey and new directions. **European Journal of Operational Research**, v. 8, n. 3, p. 207-218, 1981.

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. Boston: Springer, 2012.

SADEGHZADEH, Keivan; SALEHI, Mohammad B. Mathematical analysis of fuel cell strategic technologies development solutions in the automotive industry by the TOPSIS multi-criteria decision making method. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n. 20, p. 13272-13280, 2011.

SAFARI, Mohsen *et al.* Using fuzzy TOPSIS method for mineral processing plant site selection. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 5, n. 5, p. 1011-1019, 2011.

SAGHAFIAN, Soroush; HEJAZI, Reza. Multi-criteria group decision making using a modified Fuzzy TOPSIS. *In: Proceedings of the 2005 International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, 2005*, Viena.

SAVITZ, Andrew W.; WEBER, Karl. The sustainability sweet spot. **Environmental Quality Management**, v. 17, n. 2, p. 17-28, 2007.

SHIH, Hsu S.; SHYUR, Huan J.; LEE, Stanley. An extension of TOPSIS for group decision making. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 45, n. 7, p. 801-813, 2007.

SOLAK, Senay et al. Optimization of R&D project portfolios under endogenous uncertainty. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 1, p. 420-433, 2010.

STEURER, Reinhard et al. Corporations, stakeholders and sustainable development I: a theoretical exploration of business–society relations. **Journal of Business Ethics**, v. 61, n. 3, p. 263-281, 2005.

STEWART, Theodor J. Integrating problem analysis and algorithmic development in MCDA. *In: Evolutionary Multi-Criterion Optimization*. Berlin: Springer, 2013.

STEWART, Theodor J.; LOSA, Fabio B. Towards reconciling outranking and value measurement practice. **European Journal of Operational Research**, v. 145, n. 3, p. 645-659, 2003.

STEWART, Theodor J. Decision-making approaches. **Encyclopedia of Information Systems**, v. 1, p. 535-549, 2003.

STEWART, Theodor J. A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice. **Omega**, v. 20, n. 5, p. 569-586, 1992.

STILLWELL, William G.; SEAVER, David A.; EDWARDS, Ward. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. **Organizational Behavior and Human Performance**, v. 28, n. 1, p. 62-77, 1981.

TANI, Steven N.; PARNELL, Gregory S. Design creative alternatives. *In: TANI, Steven N.; PARNELL, Gregory S.; JOHNSON, Eric. Handbook of Decision Analysis*, v. 4, p. 149-165, 2013.

TREGOE, Benjamin B.; ZIMMERMAN, John W. **Top management strategy: What it is and how to make it work**. New York: Simon and Schuster, 1980.

TUFTE, Edward R. **The visual display of quantitative information**. Cheshire: Graphics Press, 2011.

VETSCHERA, Rudolf; ALMEIDA, Adiel T. A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. **Computers & Operations Research**, v. 39, n. 5, p. 1010-1020, 2012.

WEY, Wann M.; WU, Kuei Y. Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 46, n. 7, p. 985-1000, 2007.

WU, Cheng S.; LIN, Chin T; LEE, Chuan. Optimal marketing strategy: A decision-making with ANP and TOPSIS. **International Journal of Production Economics**, v. 127, n. 1, p. 190-196, 2010.

WU, Ming C.; CHEN, Ting Y. The ELECTRE multicriteria analysis approach based on Atanassov's intuitionistic fuzzy sets. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 10, p. 12318-12327, 2011.

YOON, Paul K.; HWANG, Ching-Lai. **Multiple attribute decision making: an introduction**. SAGE Publications, Incorporated, 1995.

ZADEH, Lotfi A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. **Information Sciences**, v. 8, p. 199-249, 1975.

ZADEH, Lotfi A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZAMCOPÉ, Fábio C.; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra R. Construção de um modelo para avaliação da sustentabilidade corporativa. **Produção**, v. 22, n. 3, p. 477-489, 2012.

ZANAKIS, Stelios H. *et al.* Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. **European Journal of Operational Research**, v. 107, n. 3, p. 507-529, 1998.

ZHOU, Shun; ZHANG, Yong; BAO, XiangTai. Methodology of location selection for biofuel refinery based on fuzzy TOPSIS. *In: Automation and Logistics (ICAL), 2012 IEEE International Conference on.* IEEE, 2012. p. 431-436.

ZIMMERMANN, Hans. J. Cognitive sciences, decision technology, and fuzzy sets. **Information Sciences**, v. 57, p. 287-295, 1991.

## ANEXO A – QUADRO DE LINHAS DE NEGÓCIO

COD	NEGÓCIO	ATIVIDADE	INVESTIMENTOS	PRODUTO	MAT PRIMA	MERCADO	RELAÇÃO COM CONTROLADORES	TECNOLOGIA
REF01	Processamento Condensados utilizando apenas Unidades de Destilação	REFINO	ALTO	COMBUSTÍVEIS	CONDENSADO	PARC SUL RS	INDEPENDENCIA	EXISTENTE
REF02	Processamento de Petróleo Selecionado utilizando todas as Unidades	REFINO	MUITO ALTO	COMBUSTÍVEIS	PETROLEO SELEC	MERCOSUL	INDEPENDENCIA	EXISTENTE
UTC	Unidade de teste para Centros de Pesquisa	REFINO	MUITO BAIXO	PREST SERVICOS	NÃO-APLICÁVEL	NICHO	CLIENTE	P&D
LOG	Serviços de Armazenagem	LOGÍSTICA	BAIXO	PREST SERVICOS	NÃO-APLICÁVEL	NICHO	CLIENTE	EXISTENTE
EFL	Tratamento de Efluentes	TRAT.RESÍDUOS	BAIXO	PREST SERVICOS	RESÍDUO OLEOSO	NICHO	CLIENTE	EXISTENTE
SOLV	Solventes Especiais	REFINO	MUITO BAIXO	SOLVENTES ESPEC	LCO / NAFTA	NACIONAL	PARCERIA	P&D
REPR	Reprocessamento de Resíduos	TRAT.RESÍDUOS	BAIXO	PREST SERVICOS	NÃO-APLICÁVEL	MERCOSUL	INDEPENDENCIA	P&D
DSOL	Distribuição de Solventes	DISTRIBUIÇÃO	MUITO BAIXO	SOLVENTES	NÃO-APLICÁVEL	MERCOSUL	CONCORRENCIA	EXISTENTE
LUB	Formulação de Lubrificantes	REFINO	MUITO BAIXO	LUBRIFICANTES	SUB-PRODUTO	MERCOSUL	FORNECEDOR	EXISTENTE
BIO01	Biocombustíveis	BIO PROCES	ALTO	BIO DIESEL	RENOVÁVEL	RS	FORNECEDOR	ADQUIRIR
BIO02	Biocombustíveis - Grande Escala	BIO PROCES	MUITO ALTO	BIO COMBUSTÍVEIS	RENOVÁVEL	SUL	INDEPENDENCIA	P&D
REC	Reciclagem de Plástico	RECICLAGEM	MUITO ALTO	INSUMO	RESÍDUO SÓLIDO	PARC SUL RS	INDEPENDENCIA	P&D

## ANEXO B – QUADRO IDENTIDADE DOS CRITÉRIOS

### CRITÉRIO **RENTABILIDADE**

Dimensão: Agregar valor para Controladores

Descrição: Medida do resultado operacional estimado sobre o montante total de investimento requerido

Justificativa: Mede a eficiência da utilização dos fatores de produção, possibilitando comparar os resultados econômicos das diferentes LINHAS DE NEGÓCIO, ponderadas conforme o porte dos investimentos requeridos.

### Parâmetros de Avaliação

$$\text{Rentabilidade} = \frac{\text{Valor Presente Líquido}}{\text{Valor Presente de Investimentos}} = \frac{VPL}{VPI}$$

### Observação:

O valor presente líquido das linhas de negócio foi calculado conforme equação abaixo, considerando um horizonte temporal de 10 anos:

$$VPL = \sum \frac{S_t}{(1 + i_d)^t} - VPI$$

Onde:

$S_t$  = estimativa de fluxo de caixa líquido anual ao final do ano  $t$

$VPI$  = valor presente do investimento

$i_d$  = taxa de desconto

Para fins de simplificação, o fluxo de caixa anual médio (FCA) de cada linha de negócio foi calculado da seguinte forma:

$$FCA = \frac{VPL + VPI}{10}$$



**CRITÉRIO SINERGIA COM CONTROLADORES**

Dimensão: Agregar valor para Controladores

Descrição: Alinhamento dos processos de negócio propostos aos interesses de um ou mais controladores.

Justificativa: Embora a composição societária atual conduza a uma gestão independente, a natureza e as condições de operação da RPR podem acarretar impactos aos controladores, tanto em relação à imagem, quanto em aspectos relativos à sua cadeia logística.

**Parâmetros de Avaliação**

Péssimo: Relação de concorrência direta com um ou mais controladores, sem outros benefícios diretos ou indiretos aos demais controladores.

Ruim: Não estabelece qualquer relação de complementariedade com cadeias logísticas dos controladores.

Razoável: Potencial de integração com cadeia logística de um ou mais controladores.

Bom: Integração, pelo menos parcial, com a cadeia logística de um, ou mais, controladores. Contribui para reforçar imagem dos controladores em relação a compromissos com o desenvolvimento sustentável.

Ótimo: Integração com a cadeia logística de um, ou mais, controladores, estabelecendo relações de complementariedade entre atividades. Contribui fortemente para reforçar imagem dos controladores em relação a compromissos com o desenvolvimento sustentável.

**CRITÉRIO EXPECTATIVA DE CRESCIMENTO**

Dimensão: Agregar valor para Controladores

Descrição: Potencial de crescimento do lucro econômico (expansão dos negócios) a partir dos investimentos projetados. Perspectiva de obtenção de vantagens competitivas (diferenciação tecnológica ou do modelo de negócio) em um mercado já consolidado ou promissor (mercado em expansão), considerando a dinâmica da evolução temporal da situação econômico-financeira.

Justificativa: Robustez do negócio em relação a condições para crescimento do faturamento: demanda, concorrência e tecnologia.

**Parâmetros de Avaliação:**

Péssimo: investimentos de longa maturação ou com resultados incertos no curto prazo, sem garantias de obtenção de matéria-prima (incerteza de preço e disponibilidade) ou grandemente dependente de variáveis macroeconômicas,

Ruim: investimentos de longa maturação com perspectivas de resultados frágeis no ciclo inicial e curva de crescimento lenta em função de dificuldades de mercado, tais como incapacidade de repassar aos preços dos produtos eventuais flutuações nos custos de matéria-prima e insumos.

Razoável: investimentos de longa maturação. Flexibilidade gerencial para contornar variações nas condições de mercado (possibilidade de contratos de longo prazo, acordos multilaterais envolvendo fornecedores, clientes e poder público ou ainda ajustes dinâmicos da configuração do negócio (ex: ampliação da produção).

Bom: independente do ciclo de maturação dos investimentos, mercado consumidor e de matéria-prima consolidado e estável, garantindo resultados iniciais suficientes para garantir continuidade das operações.

Ótimo: independente do ciclo de maturação dos investimentos, resultados iniciais satisfatórios, com perspectiva de obtenção (e manutenção) de vantagens competitivas que assegurem rentabilidade superior, tais como grande facilidade de acesso a matéria-prima e insumos.

**CRITÉRIO EXPOSIÇÃO A RISCOS EMPRESARIAIS**

**Dimensão:** Agregar valor para Controladores

**Descrição:** Identificação dos riscos tecnológicos e empresariais (processos internos e mercado) que possam comprometer a implementação da alternativa.

**Justificativa:** A adoção de tecnologias não consolidadas, processos de negócio com baixa maturidade organizacional e sujeitos a condições de mercados instáveis aumentam os riscos do empreendimento não lograr os resultados esperados em seu plano de negócio. Adicionalmente, dada as restrições de aporte de capital próprio, a realização de investimentos dependerá de financiamento externo, cujas taxas de juros e condições de amortização dependem da natureza do projeto de investimento.

**Parâmetros de Avaliação:**

**Muito Alta:** Adoção de tecnologias incipientes, associado a baixo conhecimento do mercado, com dúvidas em relação a potencial de demanda e perspectiva real de novos entrantes e produtos substitutos. Sem possibilidades de acesso a fontes especiais de financiamento.

**Alta:** Linha de negócio não tradicional na empresa (baixa maturidade organizacional). Mercado incerto, mas com pouca ameaça de novos entrantes. Mínimas possibilidades de acesso a linhas de crédito de longo prazo a juros reduzidos (projetos de investimentos não se enquadram em programas oficiais de incentivos),

**Média:** Adoção de Tecnologias ainda não completamente afirmadas. Existência de boas perspectivas de mercado e acesso a linhas de crédito de longo prazo e juros reduzidos (programas oficiais), embora a viabilização do financiamento dependa de negociações complexas.

**Baixa:** Adoção de Tecnologias consolidadas. Existência (ou facilidade de obtenção) de know-how para desenvolvimento da linha de negócio. Com boas perspectivas de acesso a linhas de crédito de longo prazo e juros subsidiados, além de incentivos fiscais, contemplando parte significativa dos projetos de investimento.

**Muito Baixa:** Adoção de Tecnologias consolidadas. Possibilidade de obter vantagem competitiva significativa. Com amplas condições de acesso a linhas de crédito de longo prazo, carência estendida e juros subsidiados, além de incentivos fiscais.

**CRITÉRIO GERAÇÃO DE RENDA**

**Dimensão :** Contribuir para o desenvolvimento regional:

**Descrição:** Impacto sobre a geração de empregos diretos e indiretos, através da aquisição de produtos e serviços no mercado regional, incluindo insumos específicos, insumos produtivos não especializados, serviços de manutenção de equipamentos e estruturas produtivas e serviços gerais.

**Justificativa:** Grandes empreendimentos industriais potencializam a constituição de cadeias produtivas mais completas, viabilizando estruturas produtivas regionais com maior capacidade de geração de empregos e renda.

**Parâmetros de Avaliação**

**Péssimo:** Eliminação ou redução significativa dos empregos relacionados às atuais atividades de RPR. Sem expectativa de aquisições de insumos e serviços no mercado regional.

**Ruim:** Redução de postos de trabalho na RPR, sem expectativa de geração de empregos indiretos em função do baixo volume de aquisições de insumos e serviços no mercado local e regional.

**Razoável:** Manutenção no nível atual de emprego na RPR, ou reduções de postos diretos compensados por melhor nível de renda associado aos empregos mantidos. Volume médio de aquisições de insumos e serviços no mercado local e regional.

**Bom:** Aumento dos empregos (diretos e indiretos) relacionados às atividades da RPR, e/ou aumento do volume de aquisições de insumos e serviços no mercado local e regional.

**Ótimo:** Geração de postos de trabalho (diretos e/ou indiretos) com maior exigência de qualificação a partir do aumento significativo de aquisições de insumos e serviços no mercado local e regional, com impacto sistêmico na estrutura da cadeia produtiva local.

**CRITÉRIO RETORNO EM IMPOSTOS**

Dimensão : Contribuir para o desenvolvimento regional:

Descrição: Volume de recursos relativos a receita tributária e transferências intergovernamentais destinados ao município de Rio Grande e ao estado do Rio Grande do Sul em função das atividades da nova RPR.

Justificativa: Maiores receitas possibilitam maior nível de investimento por estados e municípios, ampliando serviços e infra-estrutura.

**Parâmetros de Avaliação**

Péssimo: Baixo volume de produtos e/ou serviços comercializados com nenhuma (ou muito baixa) repercussão na arrecadação direta ou indireta de tributos.

Ruim: Estrutura de produção / comercialização resulta em baixa repercussão na arrecadação direta ou indireta de tributos para a região.

Razoável: Atividade fortemente sustentada em benefícios fiscais. Incremento potencial de atividades relacionadas à cadeia logística e serviços complementares com impacto na arrecadação de tributos na região.

Bom: Aumento na arrecadação de tributos e transferências municipais e estaduais.

Ótimo: Impacto significativo sobre arrecadação de impostos e transferências relacionadas às atividades da RPR, assim como decorrentes de efeitos multiplicadores sobre a economia da região.

**CRITÉRIO PESQUISA E INOVAÇÃO**

Dimensão : Contribuir para o desenvolvimento regional

Descrição: Oportunidades de interação com unidades acadêmicas para fins de transferência de conhecimento e fomento à inovação.

Justificativa: A interação entre sistema produtivo e produtores do conhecimento (universidade e escolas técnicas) é um grande desafio para a consolidação dos esforços de inovação na economia brasileira. Embora o país disponha de cada um dos elementos, não consegue aproximá-los de modo a construir sinergias.

**Parâmetros de Avaliação**

**Péssimo:** processos produtivos de baixa intensidade tecnológica, envolvendo mão-de-obra com baixa qualificação, operando em mercado maduro, sem foco em inovação e, portanto, sem interesse em desenvolver projetos de colaboração com a Universidade.

**Ruim:** natureza dos processos produtivos envolvidos oferece poucas oportunidades de interação com universidades e escolas técnicas.

**Razoável:** processos produtivos baseados em tecnologias consolidadas, requerendo mão de obra e serviços especializados e, portanto, com potencial interesse em fomentar interação com Universidades e escolas técnicas da região para cursos de formação.

**Bom:** processos produtivos baseados em tecnologias consolidadas, inseridos em mercados dinâmicos e competitivos, com potencial interesse em estabelecer projetos de pesquisa e qualificação de pessoal com Universidades e escolas técnicas da região.

**Ótimo:** processos produtivos de alta intensidade tecnológica, requerendo mão-de-obra especializada, operando em mercado dinâmico e competitivo, com foco em inovação e, portanto, com grande interesse em desenvolver projetos de colaboração com Universidades e Escolas Técnicas.

**CRITÉRIOS PROCESSOS INDUSTRIAIS EFICIENTES E NÃO POLUENTES.**

Dimensão : Responsabilidade ambiental

Descrição: Características dos principais processos industriais em relação à geração e tratamento de resíduos, intensidade do uso de recursos naturais e eficiência energética.

Justificativa: Grande parte das preocupações que envolvem a indústria química referem-se à contaminação ambiental através de emissões aéreas e efluentes líquidos, necessidade de adoção de práticas para o uso racional e eficiente de recursos naturais (principalmente água) e o controle das emissões de gases de efeito estufa pelos sistemas de utilidades (energia).

**Parâmetros de Avaliação**

Péssimo: os processos industriais aplicados caracterizam-se por alto consumo específico de energia e geração de resíduos de alta toxicidade, requerendo complexos processos de tratamento para garantir atendimento aos limites legais.

Ruim: os processos industriais aplicados caracterizam-se por alto consumo específico de energia e geração de resíduos de moderada toxicidade.

Razoável: processo industrial com baixo consumo específico de energia e uso intensivo de água. Os resíduos gerados podem ser mantidos dentro dos limites legais mediante tratamento adequado.

Bom: processo industrial com baixo consumo específico de energia e uso pouco intensivo de água. Os resíduos gerados nos processos industriais são tratados por tecnologias consolidadas, garantindo níveis de contaminação bastante inferiores aos limites definidos pelos órgãos ambientais.

Ótimo: os processos industriais aplicados caracterizam-se por alta eficiência energética e baixo nível de geração de poluentes. Otimização do uso de água através de reciclagem e alto percentual de devolução de água em condições pelo menos iguais à de captação.

**CRITÉRIO RISCOS DE ACIDENTES INDUSTRIAIS COM IMPACTO AMBIENTAL.**

Dimensão : Responsabilidade ambiental

Descrição: Identificação de instalação industrial que manipula, produz, armazena ou descarta substâncias consideradas perigosas, sujeita a acidentes maiores (incêndio, explosão ou emissões de grande magnitude) implicando em grave perigo para os trabalhadores, população ou meio ambiente.

Justificativa: A localização geográfica da RPR e o histórico de grandes acidentes envolvendo indústrias químicas no mundo, justificam a preocupação em minimizar riscos associados à manipulação e produção de substâncias perigosas, de modo a evitar danos de grandes proporções à população e ao meio ambiente.

**Parâmetros de Avaliação**

Péssimo: processos industriais de alto risco de acidentes com alto potencial de impacto sobre a saúde humana e meio ambiente.

Ruim: processos industriais com médio risco de acidentes e alto potencial de impacto sobre a saúde humana e meio ambiente.

Razoável: processos industriais com médio risco de acidentes e baixo potencial de impacto sobre a saúde humana e meio ambiente.

Bom: processos industriais com baixo risco de acidentes e baixo potencial de impacto sobre a saúde humana e meio ambiente.

Ótimo: processos industriais com baixo risco de acidentes, e muito baixo potencial de impacto sobre a saúde humana e meio ambiente



**CRITÉRIOS TECNOLOGIAS LIMPAS E PRODUTOS AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEIS**

Dimensão : Responsabilidade ambiental

Descrição: Características da matéria-prima requerida e utilização de tecnologias industriais que viabilizem o uso de matérias-primas de fontes renováveis, biodegradáveis ou resultantes de reciclagem, assim como produção de produtos com potencial de re-utilização ou reciclagem após o uso.

Justificativa: O caráter sustentável de um empreendimento industrial não depende unicamente da eficiência dos processos de tratamento de emissões e efluentes, mas principalmente de decisões estratégicas relativas à seleção de matéria-prima e concepção de produto. Utilização de matérias-primas com carga tóxica exigem controles rígidos no transporte, armazenamento, utilização e descarte, representando riscos de impactos negativos sobre o meio ambiente e a saúde e segurança dos trabalhadores

**Parâmetros de Avaliação**

Péssimo: Produtos requerem matérias primas com altas cargas tóxicas e apresentam características muito agressivas ao meio ambiente, necessitando extrema cautela no transporte, armazenamento e utilização, não podendo, após o uso, ser reciclados ou reutilizados de forma segura.

Ruim: Uso de matérias primas com conteúdo tóxico e processos de tratamento pouco eficiente. Após ciclo de utilização, produtos representam ameaça ao meio ambiente, não podendo ser reciclados ou reutilizados de forma segura

Razoável: Uso de matérias primas com conteúdo tóxico e processos de tratamento consolidados e eficientes. Após ciclo de utilização, produtos, embora representem ameaça ao meio ambiente, são parcialmente recicláveis ou reutilizáveis.

Bom: Uso de matérias primas com baixo conteúdo tóxico e processos de tratamento consolidados e eficientes. Após ciclo de utilização, produtos representam baixa ameaça ao meio ambiente, sendo parcialmente recicláveis ou reutilizáveis. Parte da produção envolve processos reciclagem de materiais ou tratamento de efluentes de terceiros.

Ótimo: produção de produtos não agressivos ao meio ambiente e que podem ser reciclados ou reutilizados de forma segura.

## ANEXO C – FORMULARIO PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS

### Critérios para Avaliação das Alternativas

#### MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS

NOME: \_\_\_\_\_

Orientações:

- 1) Avaliação individual;
- 2) Considerar os DESCRITORES de cada critério;
- 3) Ordenar os critérios, em ordem crescente de importância em relação ao objetivo de “assegurar a continuidade empresarial sustentável da RPR”;
- 4) Ao critério “1” será atribuída importância “Muito baixa”;
- 5) Ao critério “10” será atribuída importância “Muito alta”;
- 6) Os demais critérios serão classificados de modo a representar os respectivos níveis de importância relativa, utilizando a escala abaixo:

Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muita alta
-------------	-------	-------	------	------------

Critério	Ordem	Importância
Expectativa de Crescimento		
Geração de Renda		
Pesquisa e Inovação		
Processos industriais não-poluentes		
Rentabilidade		
Retorno em Impostos		
Riscos de acidentes com impacto ambiental		
Riscos Empresariais e Tecnológicos		
Sinergia com Controladores		
Tecn e produtos ambientalmente sustentáveis		

ANEXO D – RESULTADOS DO MODELO PLI

CENAR	min_LN	OBJ	REF_1	REF_1C	REF_2	UTC	LOG	LOG_D	LOG_E	LOG_DE	TREF	TREF_D	SOLV	DSOL	LUB	LUB_A	BIO	BIO_B	REC	REC_B	VPI	FCA	VPN	RENT	QTD_LN	RESULT	
1	2	MAX_TOP	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	38,60	8,89	50,31	1,30	6	E3	
1	2	MIN_DIST	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8,00	5,20	44,00	5,50	2	E1	
1	3	MIN_DIST	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	10,00	5,61	46,10	4,61	3	D	
1	4	MIN_DIST	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	38,00	8,30	45,00	1,18	4	S	
1	5	MIN_DIST	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	38,50	8,88	50,30	1,31	5	S	
1	6	MIN_DIST	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	38,60	8,89	50,31	1,30	6	D	
2	2	MAX_TOP	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	10,00	5,61	46,10	4,61	3	E2	
2	3	MIN_DIST	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8,00	5,20	44,00	5,50	2	D	
2	3	MIN_DIST	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10,00	5,61	46,10	4,61	3	D	
2	4	MIN_DIST																									
2	5	MIN_DIST																									
2	6	MIN_DIST																									
3	2	MAX_TOP	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	55,50	11,94	63,90	1,15	6	E4	
3	2	MIN_DIST	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	65,00	10,31	38,10	0,59	2	E6	
3	3	MIN_DIST	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	58,00	12,00	62,00	1,07	3	S	
3	4	MIN_DIST	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	60,00	12,41	64,10	1,07	4	E5	
3	5	MIN_DIST	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	53,50	11,53	61,80	1,16	5	S	
3	6	MIN_DIST	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	55,50	11,94	63,90	1,15	6	D	
4	2	MAX_TOP	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	85,60	15,83	72,71	0,85	8	E7	
4	2	MIN_DIST	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	65,00	10,31	38,10	0,59	2	D	
4	3	MIN_DIST	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	58,00	12,00	62,00	1,07	3	D	
4	4	MIN_DIST	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	60,00	12,41	64,10	1,07	4	D	
4	5	MIN_DIST	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	113,00	19,09	77,90	0,69	5	E8	
4	6	MIN_DIST	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	55,50	11,94	63,90	1,15	6	D	
		MAXTOP	Função objetivo: maximizar a soma dos escores TOPSIS																								
		MIN_DIST	Função objetivo: Minimizar a separação em relação às soluções ideais positivas																								
		RESULT	E1 a E8	Estratégias selecionadas																							
			D	Solução em duplicidade																							
			S	Solução similar																							
			I	Solução inviável																							