

# ESCOLHA DE SERVIÇOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM INFORMAÇÕES PARCIAIS EM INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS

**Jorge Augusto Pessatto Mondadori**

jorgeaugusto.mondadori@gmail.com

**Mischel Carmen Neyra Belderrain**

carmen@ita.br

**Rodrigo José Pires Ferreira**

rodrigo@cdsid.org.br

**Adiel Teixeira de Almeida**

almeida@cdsid.org.br



*Este trabalho tem o objetivo de estruturar um problema de decisão para seleção do mais desejado serviço de eficiência energética em indústrias de alimentos do oeste do Paraná. O problema foi estruturado por meio da metodologia Value Focused Brainstorming e apontou critérios relacionados aos processos, gestão, conhecimento qualidade de energia e equipamentos. As alternativas avaliadas foram serviços de consultoria em otimização, diagnósticos, automação industrial, manutenção, consultoria em normativas e educação. Para a fase de modelagem de preferências, o uso de informações parciais se torna um procedimento atrativo devido da simplicidade cognitiva quando comparado ao uso de informações completas. Neste sentido, o método FITradeoff foi analisado. Após estruturação do problema em conjunto, os decisores utilizaram o método individualmente para identificar o serviço prioritário a ser contratado. Tal método se mostrou eficaz para identificar o espaço dos pesos dos critérios de cada decisor e indicar as alternativas com melhor desempenho.*

## 1. Introdução

A eficiência energética é reconhecida como uma estratégia fundamental para enfrentar três desafios relacionados à energia - mudança climática, segurança energética e desenvolvimento econômico - ao menor custo para a sociedade (BUKARICA & TOMŠIĆ, 2017). Com a crise econômica, os estudos de eficiência energética se tornaram mais relevantes, devido a necessidade de recuperação econômica em um cenário de crescimento do consumo de energia.

Um dos setores com maior participação no produto interno bruto brasileiro é o setor de alimentos. Este segmento representa cerca de 10% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro com faturamento das empresas projetado de R\$ 642,61 bilhões em 2017, representando o setor com o maior valor bruto de produção da indústria de transformação, segundo a ABIA (2018). O setor de alimentos possui crescente demanda, resultante do crescimento da população e de mudanças nos padrões de consumo.

Neste sentido, o desenvolvimento da eficiência energética no setor de alimentos pode impactar positivamente o desenvolvimento econômico do país. Para apoiar a execução de serviços relacionados à eficiência energética, a Agência Nacional de Energia Elétrica possui chamadas de fomento para promover o uso eficiente de energia, por meio de tecnologias educacionais, recursos financeiros e procedimentos regulamentados no Brasil. Especificamente no Paraná, a Companhia Paranaense de Energia Elétrica possui seus próprios programas de apoio. Com o principal objetivo de aumentar a competitividade das indústrias. Portanto, é de extrema importância identificar qual o serviço com maior efetividade para determinada indústria a fim de melhorar sua eficiência energética.

Entretanto, existe uma dificuldade das indústrias em definir um modelo de negócios para prover serviços locais e regionais acerca dos temas de eficiência energética. (KINDSTRÖM; OTTOSSON, 2016; MACEDO & MOTA, 2016).

Modelos e métodos de apoio a decisão multicritério auxiliam decisores durante o processo decisório (GOODWIN; WRIGHT, 2004; DE ALMEIDA, 2013). Estes modelos são mais eficientes se executados em duas fases: a estruturação do problema e a aplicação do método em si (MONTIBELLER; GUMMER; TUMIDEI, 2006). Tais métodos podem ser apoiados

utilizando sistemas de suporte à decisão, com interfaces de usuário para entrada dos dados e leitura das saídas do processo. Além disso, a ação do facilitador envolvido no processo, auxilia na estruturação do processo decisório e na geração das melhores alternativas (MONDADORI, 2015).

O objetivo deste trabalho é contribuir na área de seleção de serviços em eficiência energética por meio do *Value Focused Thinking* - VFT (KEENEY, 1992) para estruturação do problema e do procedimento flexível e interativo do método multicritério FITradeoff (ALMEIDA, DE et al., 2016) para escolha das potenciais alternativas.

## 2. Estruturação de problemas e o método FITradeoff

Métodos de estruturação de problemas são utilizados em situações complexas onde é difícil identificar as metas e objetivos a serem atingidos. Alguns exemplos de método são VFT, SSM (*Soft System Methodology*) (NEVES et al., 2009), SCA (*Strategic Choice Approach*) (MINGERS; ROSENHEAD, 2004) e SODA (*Strategic Options Development and Analysis*) (GOODWIN; WRIGHT, 2014). Tais métodos são baseados em modelagem qualitativa, de tal forma a permitir a visualização de diferentes pontos de vista e promovem a participação ativa dos envolvidos.

A utilização do VFT foca nos valores dos envolvidos no processo de estruturação, que relacionam a forma de atuação dos gestores e empresa de forma social e ética. O método permite uma atuação proativa em que oportunidades de decisão emergem e as alternativas são relacionadas diretamente aos valores (MORAIS et al., 2013). O VFB utiliza estas características utilizando ferramenta de *brainstorming* individual antes de consolidar em conjunto com o grupo. Além disso, o VFB apoia a geração de um número maior de alternativas (KEENEY, 2012).

O método FITradeoff (ALMEIDA, DE et al., 2016) supera as inconsistências que costumam acontecer com o método de *tradeoff* tradicional proposto por Keeney e Raiffa (1976). Baseia-se na avaliação do método de apoio à decisão MAVT (*Multiattribute Value Theory*), que é um método multicritério aditivo. A principal vantagem apontada pelo método é que o decisor não precisa fornecer informação completa para o procedimento de *tradeoff* e minimiza o esforço de avaliação durante a etapa de comparações par-a-par.

O método utiliza um sistema de apoio a decisão por meio do qual os decisores podem avaliar os critérios por meio das conseqüências apresentadas na heurística do método. O sistema agrega os valores das alternativas considerando o peso de cada critério. Assim, o objetivo do algoritmo é obter a maximização do valor de desempenho das alternativas.

Ao apresentar as conseqüências ao decisor, a comparação entre os critérios avalia o desempenho intermediário de um critério mais preferido com o desempenho completo de um critério menos preferido, de tal forma a ajustar o espaço de pesos destes critérios, com base em informações parciais que são refinadas em questionamentos sucessivos.

O sistema é capaz de elencar as alternativas potencialmente ótimas de forma interativa, desconsiderando as alternativas dominadas com base nas informações parciais já fornecidas. Após refinamentos sucessivos, o método pode encontrar uma solução ótima única, ou alternativamente, um conjunto de soluções potencialmente ótimas. Adicionalmente, em todas as etapas, o sistema permite a avaliação de resultados intermediários, apresentando gráficos e valores que demonstram o desempenho das alternativas potencialmente ótimas.

### **3. Estruturação do problema de escolha de serviços em eficiência energética**

Conhecido por sua especialidade com educação técnica, o Senai (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) vem estruturando desde 2012 diversos institutos de tecnologia e inovação no país (SENAI, 2014). Estes institutos tem a missão de apoiar as indústrias por meio de serviços especializados. Em conjunto com as ações dos institutos, foram criadas redes temáticas para unir os institutos e seus especialistas, e uma destas redes é a rede de energias renováveis (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2018). O Instituto Senai de Tecnologia de Toledo, no oeste do Paraná, é especializado em alimentos e bebidas (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2018b). Sua atuação em eficiência energética, visa atender o setor industrial por meio de diversos serviços em seu portfólio, com o principal objetivo de reduzir custo e aumentar a eficiência produtiva (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2018c).

Nesta seção considera-se a aplicação do método VFT para a estruturação do problema e a aplicação do método multicritério FITradeoff. Para tal, participaram em conjunto com o facilitador, 4 gestores de indústrias na região atendida pelo Instituto Senai de Tecnologia em Alimentos e Bebidas de Toledo.

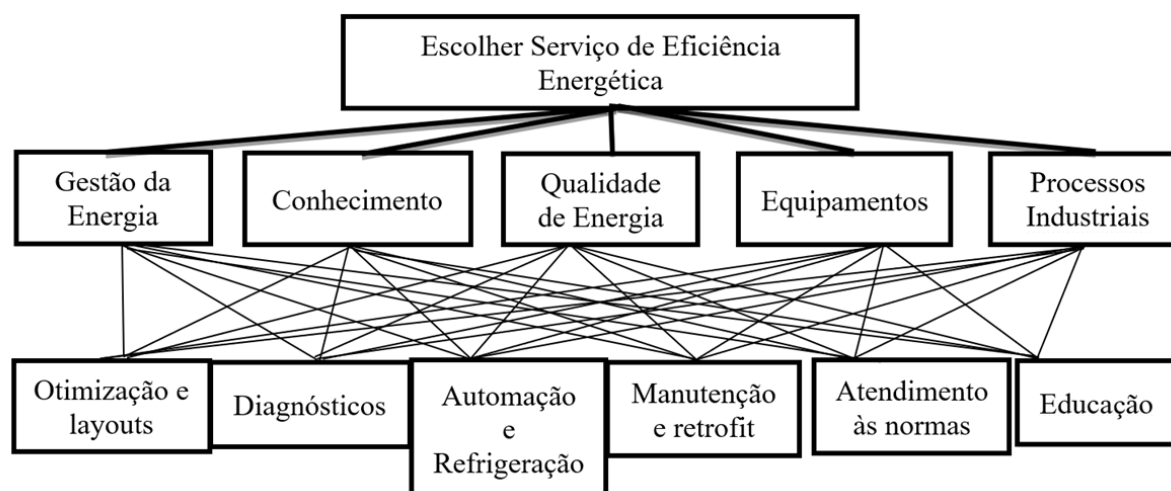
Na fase de estruturação do problema, o facilitador elencou valores que relacionavam todas as empresas. Os valores foram aceitos por unanimidade pelos decisores e são: Produtividade, Melhoria de eficiência de processo, Saúde e segurança do trabalhador, competitividade igualitária e conformidade com as normas regulamentadoras nacionais. Utilizando a técnica proposta pelo VFB, estabelece-se o, *brainstorming*, já agregado de todos os decisores, apresentado na tabela 1.

Tabela 1 –Resultados do VFB

Critério	Comentário
Falta de conhecimento	Educação de gestão energética Eventos, congressos e aulas
Perda de Processo	Identificar vazamento de ar comprimido Alteração de layout produtivo
Qualidade de energia	Medição de qualidade Fornecimento de relatórios de qualidade
Redução na fatura de energia	Identificar desperdício de energia Auxílio na negociação de contratos
Sistema de regeneração	Identificar possibilidades de reuso de energia Trabalhar com acumulação térmica
Procedimentos de segurança Gestão	Estar em conformidade com normas Software de gestão energética Integrar custos e processos produtivos
Dimensionamento inadequado	Diagnosticar equipamentos sub ou sobre dimensionados Propor boas práticas de dimensionamento
Melhoria de processo	Otimização de processos Mudança de layout de fabricação
Equipamentos ultrapassados	Melhorar sistemas de refrigeração Auxiliar em melhoria e <i>retrofit</i>
Controle de demanda	Identificar cargas principais Otimizar o uso das maiores cargas
Conhecimento de manutenção	Eliminar práticas erradas de manutenção Melhorar o conhecimento técnico
Ruído elétrico	Identificar perdas em equipamentos elétricos Melhorar a redução de ruídos na planta
Problemas com automação	Identificar uso errado de algoritmos de controle Integrar sistemas de automação e gestão

A partir do *brainstorming*, o facilitador gerou os critérios e alternativas, e validou com os decisores, formando a estrutura hierárquica multicritério apresentado na Figura 1. Os critérios se relacionam aos itens identificados na etapa do VFB, estando em conformidade com o pensamento dos decisores focado nos valores. As alternativas apresentam serviços que podem ser oferecidos pelo Senai para as indústrias.

Figura 1 –Estrutura hierárquica multicritério



#### 4. Aplicação do Método FITradeoff

Para iniciar o método, os decisores avaliaram as alternativas individualmente utilizando a matriz de consequência gerada pelo sistema. Cada gestor ordenou os critérios. A Tabela 2 relaciona os critérios e seus significados, enquanto a Tabela 3 apresenta as alternativas e serviços relacionados.

Tabela 2 – Identificação de critérios.

Critérios	Identificação	Significado
Gestão de Energia	C1	Avalia as alternativas no aspecto gerencial de seu uso
Conhecimento	C2	Relaciona a importância do conhecimento dos usuários de energia
Qualidade de Energia	C3	Como as alternativas podem impactar a qualidade de energia que alimenta o processo produtivo
Equipamentos	C4	Engloba todas as funções de equipamentos, desde sua posição no processo até conhecimentos de operação
Processos Industriais	C5	Como os processos industriais influenciam nas questões de eficiência energética

Tabela 3 – Identificação de alternativas.

Alternativas	Identificação	Significado
Otimização e Layouts	1	Serviços aplicados à manufatura enxuta e consultoria técnica
Diagnósticos	2	Serviços de análise de energia e diagnósticos de qualidade e coogeração
Automação e Refrigeração	3	Serviços de programação e parametrização de sistemas de automação e refrigeração industrial
Manutenção e <i>retrofit</i>	4	Serviços de manutenção e projeto de <i>retrofit</i> de máquinas industriais
Atendimento às normas	5	Consultoria para atendimento de normas nacionais e internacionais
Educação	6	Serviços de educação básica, técnica e tecnológica

#### 4.1. Aplicação na indústria 1

O decisor 1 avaliou as alternativas conforme sua preferência:  $C1 > C2 > C3 > C4 > C5$ . O método não encontrou uma solução ótima imediatamente e a Tabela 4 apresenta os ciclos executados na elicitación flexível e interativa. CA e CB representam as conseqüências A e B apresentadas pelo sistema, e D é a coluna que apresenta a escolha do decisor. A última coluna apresenta as alternativas potencialmente ótimas.

Tabela 4 – Ciclo decisório para o Decisor 1.

Ciclo	CA	CB	D	Não dominadas
1	0,5*C1	C5	CA	1, 5
2	0,5*C1	C2	CB	1, 5
3	0,5*C2	C3	CB	1, 5
4	0,5*C3	C4	CB	1, 5
5	0,5*C4	C5	CA	1, 5
6	0,75*C1	C2	CA	5

Para exemplificar a escolha das conseqüências, a Figura 2 representa a interface do sistema, observando no canto inferior direito quais alternativas ainda são potencialmente ótimas. A Figura 3 apresenta resultados parciais para o decisor 1 por meio de um gráfico de radar, indicando com cores azul e laranja as alternativas potencialmente ótimas e o quanto são

influenciadas por cada um dos 5 critérios. Após 6 ciclos do procedimento heurístico, o decisor 1 apontou Educação como a melhor alternativa de serviços a ser implementado na Indústria 1.

Figura 2–Interface de escolha do FITradeoff

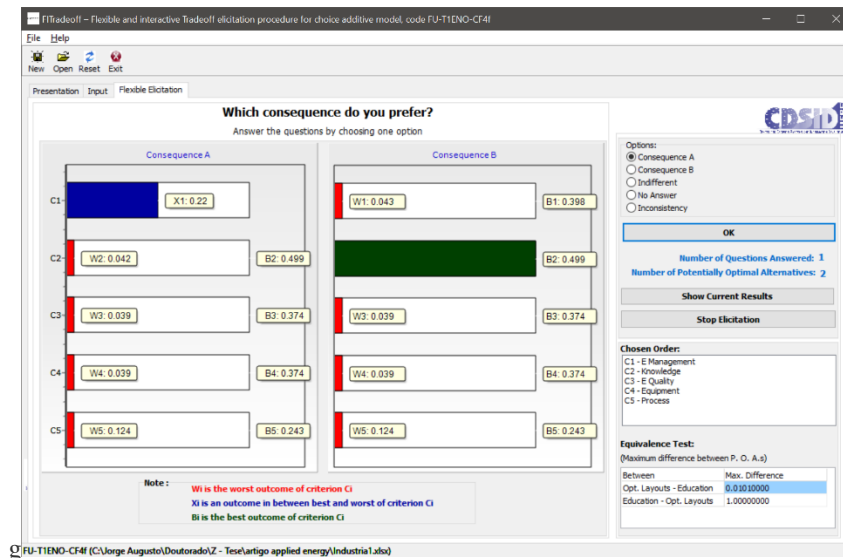
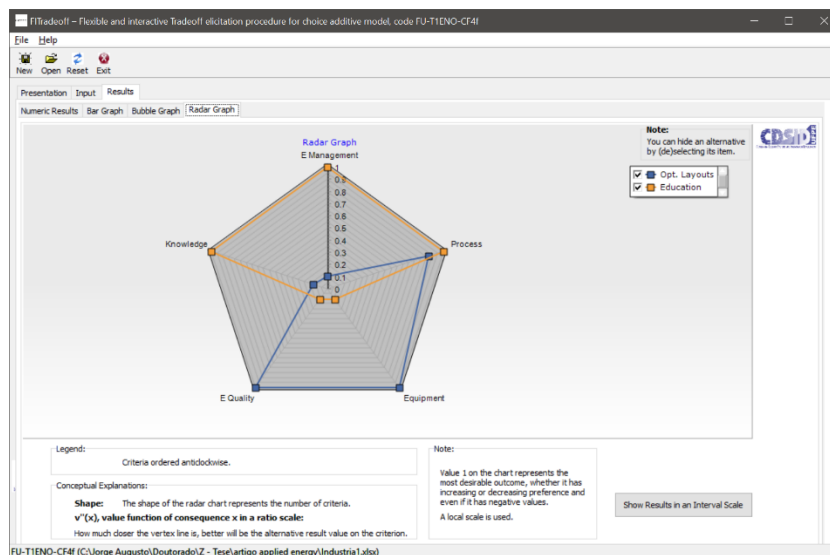


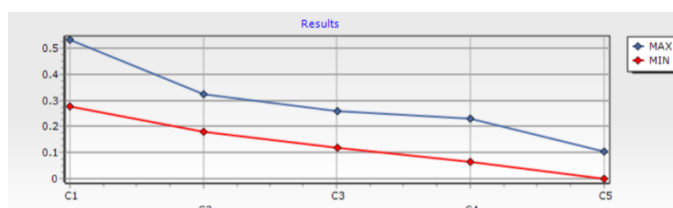
Figura 3 – Apresentação do gráfico radar de resultados parciais



O sistema do FITradeoff também apresenta os resultados, com o espaço dos pesos dos critérios em uma planilha para análise. Além disso os valores finais são apresentados por meio gráfico para cada critério. A Figura 4 apresenta os resultados de *tradeoff* para o decisor 1. O gráfico apresenta os valores mínimo e máximo de cada critério.

Figura 4 – Espaço de pesos final para o Decisor 1





## 4.2 Aplicação na indústria 2

O decisor 2 avaliou particularmente as alternativas e selecionou a seguinte ordem de critérios: C5>C4>C3>C2>C1. A Tabela 5 apresenta os ciclos de decisão do Decisor 2.

Tabela 5 – Ciclo decisório para o Decisor 2.

Ciclo	CA	CB	D	Não dominadas
1	0,5*C5	C1	CA	1, 5
2	0,5*C5	C4	CB	1, 5
3	0,5*C4	C3	CA	1, 5
4	0,5*C3	C2	CB	1, 5
5	0,5*C4	C5	CA	1, 5
6	0,75*C5	C4	CB	1, 5
7	0,25*C4	C3	CB	1, 5
8	0,75*C3	C2	CA	1, 5
9	0,25*C2	C1	CB	1, 5
10	0,875*C5	C4	CA	1, 5
11	0,375*C4	C3	CA	1, 5
12	0,625*C3	C2	CB	1, 5
13	0,375*C2	C1	CB	1, 5
14	0,9375*C5	C4	CA	1, 5
15	0,3125*C4	C3	CB	1, 5
16	0,6725*C3	C2	CB	1, 5
17	0,4375*C2	C1	CB	1, 5
18	0,90625*C1	C2	CA	5

Após 18 ciclos o sistema apresentou a alternativa Educação como o melhor serviço a ser implementado pela Indústria 2.

## 4.3. Aplicação na indústria 3

O decisor 3 avaliou particularmente as alternativas e selecionou a seguinte ordem de critérios: C1>C3>C2>C4>C5. A Tabela 6 apresenta os ciclos de decisão do Decisor 3.

Tabela 6 – Ciclo decisório para o Decisor 3.

Ciclo	CA	CB	D	Não dominadas
1	0,5*C1	C5	CA	1, 5
2	0,5*C1	C3	CA	5

Após apenas 2 ciclos do método o resultado apresentado foi Serviços educacionais como melhor escolha para a Indústria 3.

#### 4.4. Aplicação na indústria 4

O decisor 4 avaliou particularmente as alternativas e selecionou a seguinte ordem de critérios: C5>C4>C2>C3>C1. A Tabela 7 apresenta os ciclos de decisão do Decisor 4.

Tabela 7 – Ciclo decisório para o Decisor 4.

Ciclo	C A	C B	D	Não dominadas
1	0,5*C5	C1	C A	1, 5
2	0,5*C5	C4	C A	1, 5
3	0,5*C4	C2	C B	1, 5
4	0,5*C2	C3	C B	1, 5
5	0,5*C3	C1	C A	5

Para a indústria 4, após 5 ciclos, a melhor alternativa para atender às necessidades de serviços em eficiência energética é a abordagem educacional.

#### 4.5. Propostas às indústrias

Com base nos resultados individuais de cada decisor, para cada indústria, a unidade educacional foi acionada para propor serviços relacionados a eficiência energética. Os cursos oferecidos primariamente visam conscientizar os trabalhadores sobre os fatores que impactam o uso de energia, de forma a obter maior eficiência em relação à energia elétrica e térmica.

Todas as empresas aderiram aos programas de aprendizagem industrial, e formaram, em conjunto com o sindicato local, duas turmas de nível técnico, uma de Automação Industrial e outra Alimentos e bebidas. Em ambos os cursos, as disciplinas versaram sobre o tema eficiência energética, tanto em conceitos de equipamentos quanto de processo e produto. Cita-se também que outras indústrias aderiram ao programa, formando 80, no total, novos profissionais capacitados para a indústria da região.

## 5. Conclusões

A proposta deste artigo foi construir um modelo multicritério de tomada de decisão utilizando os métodos de estruturação de problemas VFT e VFB. Uma vez estruturado o problema, os decisores avaliaram individualmente as alternativas perante os critérios e ordenaram sua preferência conforme o método FITradeoff. Posteriormente, cada um identificou por meio do *tradeoff* flexível e interativo qual o melhor serviço a ser implantado na indústria sob sua gestão para melhorar a eficiência energética.

O uso de métodos de estruturação de problemas auxilia o entendimento de um problema complexo quando alternativas e critérios não são claros para os indivíduos envolvidos e impactados pelo problema. Nesta aplicação, utilizou-se o VFB para elencar uma lista, que posteriormente foi adequada pelo facilitador em uma estrutura hierárquica de alternativas e critérios, validada pelos decisores.

Um método de análise multicritério apóia a avaliação de alternativas geradas pela estruturação de problemas a fim de atingir o objetivo fundamental do processo de decisão. O FITradeoff, em particular, reduz o esforço cognitivo e a quantidade de questionamentos que envolvem escolha dos decisores. Nesta aplicação, os decisores participaram individualmente do processo de *tradeoff* flexível e interativo. Assim, pode-se avaliar qual a melhor alternativa para cada indústria de forma particular. A convergência ocasional culminou em uma proposta educacional em conjunto para atendimento educacional à estas indústrias, que careciam de conhecimento específico quanto às normas, métodos, processos e gestão energética. Dados estes resultados coincidentes, sugere-se para trabalhos futuros o uso de métodos de Pesquisa Operacional Comportamental (BOR – *Behavioural Operational Research*) para investigar casos em que decisores distintos chegam aos mesmos resultados finais, mesmo que com avaliações iniciais e ordenamento de critérios diferentes.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o CDSID (*Center for Decision Systems and Information Development*) por ter fornecido o *software* FITradeoff, ao CNPq e ao Sistema Fiep.

## REFERÊNCIAS

ABIA. **Dados sobre o Faturamento da Indústria da Alimentação de 2010 a 2017**. Disponível em: <<https://www.abia.org.br/vsn/anexos/faturamento2017.pdf>>. Acesso em 10 de maio de 2018.

BUKARICA, V., TOMŠIĆ, Ž. Energy efficiency policy evaluation by moving from techno-economic towards whole society perspective on energy efficiency market **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 70, pp. 968-975, 2017.

DE ALMEIDA, A. T. et al. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, no 1, p. 179–191, 2016.

DE ALMEIDA, A. T. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**. Editora Atlas, 2013.

GOODWIN, P.; WRIGHT, G. **Decision Analysis for Management Judgement**. Chichester: Wiley and Sons, 3 edição, 2004.

KEENEY, R. L. Value-focused brainstorming. **Decision Analysis**, v. 9, no 4, p. 303–313, 2012.

KEENEY, R. L. **Value-Focused Thinking**. Londres: Harvard University Press, 1992.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision Analysis with Multiple Conflicting Objectives**. Wiley & Sons, New York, 1976

KINDSTRÖM, D.; OTTOSON, M. Local and Regional Energy Companies Offering Energy Services: Key activities and implications for the business Model. **Applied Energy**. v. 171, p. 491-500, 2016.

MACEDO, P. P., MOTA, C. M. M. Aplicação do método FITradeoff no apoio à tomada de decisão: adequação a lei de eficiência energética brasileira, **Anais do XLVIII SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2016.

MINGERS, J.; ROSENHEAD, J. Problem structuring methods in action. **European Journal of Operational Research**, v. 152, no 3, p. 530–554, 2004.

MONDADORI, J. A. P. **A Framework to Support Online Collaboration in Multi-Criteria Decision Processes**. Dissertação de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2015.

MONTIBELLER, G.; GUMMER, H.; TUMIDEI, D. Combining Scenario Planning and Multi-Criteria Decision Analysis in Practice. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**. v. 14, p. 5-20, 2006.

MORAIS, D. C. et al. Using value-focused thinking in Brazil. **Pesquisa Operacional**, v. 33, no 1, p. 73–88, 2013.

NEVES, L. P. et al. Structuring an MCDA model using SSM: A case study in energy efficiency. **European Journal of Operational Research**, v. 199, no 3, p. 834–845, 2009.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Energia**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/senai/canais/inovacao-e-tecnologia/institutos-senai-de-tecnologia/energia/>> Acesso em 24 jun. 2018.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Institutos de Tecnologia: Alimentos e Bebidas**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/senai/canais/inovacao-e-tecnologia/institutos-senai-de-tecnologia/alimentos-e-bebidas/>> Acesso em 24 jun. 2018.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Soluções em Renováveis e Energéticas**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/senai/canais/inovacao-e-tecnologia/solucoes-para-industria/solucoes-em-renovaveis-e-energeticas/>> Acesso em 24 jun. 2018.

SENAI, Departamento Regional do Paraná. **Senai 70 anos: 70 anos de educação, tecnologia e inovação**. Curitiba: Senai, 2014.