MAPAS COGNITIVOS E ELECTRE TRI APLICADOS À CLASSIFICAÇÃO DE GRAUS DE PROXIMIDADE EM ARRANJOS FÍSICOS

Tiago José Menezes Gonçalves
Divisão de Engenharia Mecânica e Aeronáutica
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - e-mail: tiagojmg@yahoo.com.br

Mischel Carmen Neyra Belderrain
Divisão de Engenharia Mecânica e Aeronáutica
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - e-mail: carmen@ita.br

Anderson Ribeiro Correia
Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - e-mail: correia@ita.br

RESUMO

Os Graus de Proximidade (GP's) representam a intensidade em que é desejável ou indesejável a proximidade entre dois centros de trabalho em uma instalação produtiva. Neste sentido, este trabalho propõe a aplicação de Mapas Cognitivos para a determinação dos critérios a serem avaliados na classificação de GP's em um arranjo físico. Além disso, pretendeu-se investigar a aplicação da metodologia proposta por Herrera e Costa (2001) para a classificação dos Graus de Proximidade através da utilização do ELECTRE TRI. Para alcançar estes objetivos, foram aplicadas ambas as metodologias para o levantamento dos critérios e para a determinação dos GP's em um canteiro de obras. Por fim, os resultados das análises foram levados para serem contemplados pelo decisor, possibilitando analisar a validade dos resultados e obter um *feedback* para a conclusão deste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Graus de Proximidade. *Layout*. Mapas Cognitivos.

ABSTRACT

The Degrees of Proximity (DP's) represent the intensity in what's desirable or undesirable the proximity between two work centers in a production plant. Thus, this paper proposes the application of Cognitive Maps to determine the criteria to be evaluated in the classification of DP's in a layout. In addition, we sought to investigate the application of the methodology proposed by Herrera and Costa (2001) for the classification of DP's through the use of ELECTRE TRI. To achieve these goals, both approaches were applied to survey of the criteria and for the determination of DP's in a construction site. Finally, the results of the analysis were taken to be contemplated by the decision maker, allowing assessing the validity of the results and obtain a feedback for the completion of this work.

KEYWORDS: Degrees of Proximity. Layout. Cognitive Maps.

1. Introdução

O arranjo físico de uma instalação de produção (também denominado *layout*) trata-se do posicionamento e dimensionamento de seus centros de trabalho, e seu planejamento tem sido um problema de importância fundamental para os engenheiros industriais (DELMAIRE; LANGEVIN; RIOPEL, 1997).

Segundo Moreira (2009, p. 239), um centro de trabalho pode ser conceituado como qualquer coisa que ocupe espaço: um departamento, uma máquina, uma pessoa ou um grupo de pessoas, uma sala, estações de trabalho, *etc*.

Um dos procedimentos freqüentemente utilizados no planejamento de arranjos físicos é a utilização de Graus de Proximidade (GP's) para expressar o quão desejável ou indesejável é a proximidade entre dois centros de trabalho de uma instalação. De forma geral, os GP's classificam cada par de centros de trabalho de uma instalação em classes que variam de "Proximidade Absolutamente Desejável" até "Proximidade Absolutamente Indesejável", e servem de suporte para a construção do arranjo físico.

Este processo de classificação envolve, muitas vezes, objetivos múltiplos e conflitantes, o que segundo Montibeller (2005) representa aspectos que caracterizam um problema multicritério. Além disso, devido à existência de objetivos de difícil mensuração, como segurança, conforto, conveniência, *etc*., a obtenção dos GP's trata-se de um problema decisório complexo, onde freqüentemente existe a necessidade de se incorporar aspectos subjetivos.

De acordo com Ensslin (1996), a não incorporação desses aspectos subjetivos no processo decisório pode fazer com que o modelo criado para solucionar o problema em questão perca a capacidade de representar a realidade de forma adequada, culminando muitas vezes em tomadas de decisões incoerentes. Essas decisões podem resultar em perdas de eficiência, menor flexibilidade e maiores custos de operação.

Visando analisar objetivos múltiplos e conflitantes, e ao mesmo tempo considerar a subjetividade presente no processo de decisão, a utilização de metodologias Multicritério em Apoio à Decisão – MCDA mostra-se adequada para a resolução do problema de classificação dos GP's. Embora alguns trabalhos tenham investigado a utilização dessas metodologias para a determinação dos GP's (HERRERA; COSTA, 1999, 2001, 2004), a identificação dos critérios a serem avaliados neste processo representa um grande desafio devido à alta complexidade das decisões envolvidas.

Discutindo sobre a tomada de decisões complexas, Shön (1973) afirma que tais decisões são únicas porque envolvem pessoas diferentes, locais diferentes e momentos diferentes, implicando em um processo decisório diferente para cada situação. Além disso, cada decisor possui seu próprio quadro de referência mental, com diferentes valores, objetivos, crenças, relações sociais e de poder, e percebe um mesmo problema de forma diferente (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001, p. 23). Em decorrência, os critérios avaliados na classificação dos GP's variam segundo o quadro de referência mental do decisor, sendo diferentes em situações diferentes.

Neste sentido, este trabalho propõe uma abordagem para a identificação dos critérios relacionados à classificação dos GP's, através da utilização de Mapas Cognitivos para explicitação e incorporação dos valores subjetivos do decisor no processo de tomada de decisão. Além disso, visa investigar a aplicação da abordagem multicritério proposta por Herrera e Costa (2001) para classificação dos GP's de uma instalação de produção.

De maneira breve, este artigo está estruturado na seguinte forma: a seção 2 trata da fundamentação teórica relacionada a arranjos físicos e graus de proximidade; a seção 3 apresenta um panorama geral sobre métodos de estruturação de problemas e mapas cognitivos, assim como uma breve descrição dos passos para sua construção; a seção 4 apresenta o estudo de caso no qual se realizou a utilização de mapas cognitivos para o levantamento dos critérios relevantes para o planejamento de um arranjo físico, assim como o ELECTRE TRI para a obtenção de GP's; e por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais.

2. Arranjo Físico e Graus de Proximidade

De acordo com Moreira (2009, p. 239), a importância das decisões sobre arranjos físicos podem ser fundamentadas em três motivos:

- Elas influenciam na capacidade das instalações e na produtividade das operações;
- Alterações no arranjo físico podem ser dispendiosas em termos de custo, implicando no gasto de elevadas somas de dinheiro;
- Alterações no *layout* podem apresentar dificuldades técnicas e elevados custos para futuras reversões, além de poder causar interrupções no trabalho.

Ao planejar o arranjo físico de uma instalação, devem ser levados em consideração diversos objetivos, tais como otimizar o fluxo de materiais, pessoas e informações (CEDARLEAF, 1997; HERAGU, 2006), otimizar o uso de equipamentos (MUTHER, 1973; TOMPKINS *et al.*, 2010), estimular a utilização ótima da força de trabalho (MOORE, 1971; APPLE, 1963), possibilitar futuras expansões (REED, 1961; CEDARLEAF, 1997; SHETH, 1995), minimizar o impacto na produção durante o período de implantação (TOMPKINS *et al.*, 2010), prover uma simplificação e padronização geral dos processos (MOORE, 1971; APPLE, 1963), promover segurança para os funcionários e proteção para materiais e equipamentos (MUTHER, 1973; SHETH, 1995; HERAGU, 2006), otimizar a utilização do espaço (MOORE, 1971; HERAGU, 2006), *etc.*

A fim de sistematizar o planejamento de arranjos físicos, diversos procedimentos foram desenvolvidos para o planejamento do macro-espaço físico (ver MUTHER, 1955, 1973; REED, 1961; BUFFA; ARMOUR; VOLLMAN, 1964; APPLE, 1972; SEEHOF; EVANS, 1967; LEE; MOORE, 1967; BURBIDGE, 1989; *etc.*).

De acordo com Herrera e Costa (2001), muitos desses métodos envolvem a obtenção de GP's entre os centros de trabalho de uma instalação, citando como exemplo os trabalhos de Seehof e Evans (1967), Muther (1973), Rosenblatt (1979), Dutta e Sahu (1982), Fortenberry e Cox (1985), dentre outros.

O problema de obter os GP's de uma instalação com N centros de trabalho pode ser solucionado através da utilização de uma função GP(m, n) que retorne um indicador do quão desejável ou indesejável é a proximidade entre os centros de trabalho "m" e "n" da instalação, onde $m, n \in \mathbb{Z}^+ / m, n \leq N \wedge m \neq n$.

Visando solucionar esta problemática, Herrera e Costa (2001) propuseram a função (1) para a determinação dos GP's:

$$GP(m, n) = \begin{cases} GI(m, n), \text{ se } GI(m, n) = -4 \\ \text{Caso contrário:} \\ \quad GD(m, n), \text{ se } GD(m, n) + GI(m, n) \geq 0 \\ \quad GI(m, n), \text{ se } GI(m, n) + GD(m, n) < 0 \end{cases} \qquad (1)$$

Onde:

- GD(m, n) é o Grau de Desejabilidade entre as áreas ou estações de trabalho "m" e "n";
- GI(m, n) é o Grau de Indesejabilidade entre as áreas ou estações de trabalho "m" e "n".

Para a obtenção dos GD's e GI's, é solicitado ao decisor que realize Julgamentos de Desejabilidade ($D_j(m, n)$) e de Indesejabilidade ($I_j(m, n)$) à luz de cada critério "j" avaliado. Esses julgamentos representam respectivamente a intensidade em que se procura aproximar ou afastar os centros de trabalho "m" e "n" de uma instalação. Além disso, são atribuídos pesos (ω_j) para especificar a importância relativa a cada critério. Esses passos são realizados através da utilização das escalas ilustradas no quadro 1.

Quadro 1: Escalas de julgamento e ponderação dos critérios

Julgamentos de		Julgamentos de		Peso dos Critérios	
Escala verbal	$D_j(m, n)$	**Escala verbal**	$I_j(m, n)$	**Escala verbal**	ω_j
Absoluta	4	Absoluta	-4	Extremo	4
Alta	3	Alta	-3	Alto	3
Média	2	Média	-2	Médio	2
Baixa	1	Baixa	-1	Baixo	1
Desprezível	0	Desprezível	0	Desprezível	0

Fonte: Adaptado de Herrera e Costa (2001)

Depois de obtidos os D_j's e I_j's para cada par de centros de trabalho "m" e "n", e os pesos dos critérios avaliados, o método ELECTRE TRI (YU, 1992) é utilizado para a classificação dos GD's e GI's em classes conforme ilustrado na Fig. 1, de onde são obtidos os valores para o cálculo dos GP's.

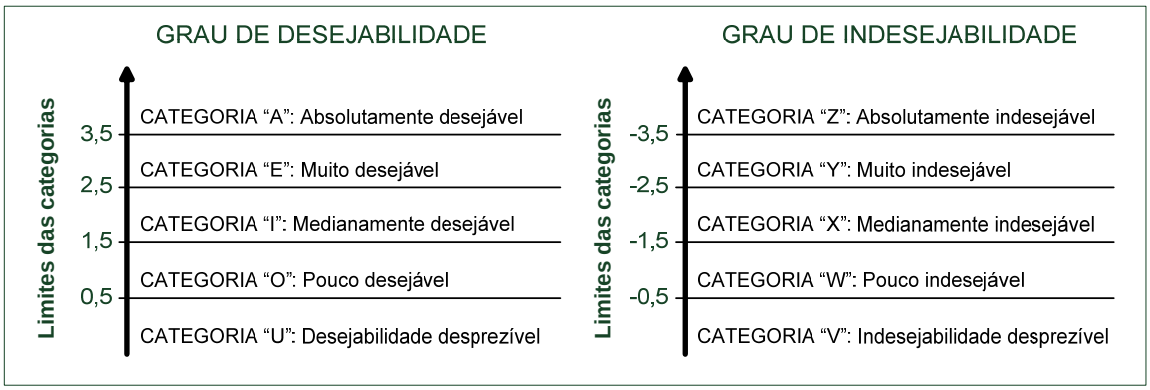


Figura 1: Categorias para classificação dos Graus de Desejabilidade e Indesejabilidade
Fonte: Adaptado de Herrera e Costa (2001)

Um dos requisitos para a utilização do método para determinação dos GP's mencionado é o estabelecimento de quais critérios serão incluídos para o julgamento do decisor. Embora os proponentes do método considerem que tais critérios possam ser obtidos de forma arbitrária por um especialista, baseado em seus conhecimentos, os autores deste trabalho consideram que o esforço cognitivo realizado para a explicitação desses critérios não é trivial, fazendo-se necessária a utilização de métodos que permitam avaliar o que realmente é importante para o decisor. Uma das formas de cumprir esta tarefa é através da estruturação do problema, para a qual uma visão geral é apresentada na próxima seção.

3. Estruturação de Problemas e Mapas Cognitivos

A estruturação de um problema trata-se de uma etapa no processo decisório no qual se procura desenvolver uma representação formal que integre os objetivos do problema e os aspectos subjetivos dos atores, através de métodos interativos de aprendizagem que explicitam o sistema de valores (EDEN; JONES; SIMS, 1983).

Os métodos desenvolvidos visando auxiliar neste processo denominam-se Métodos de Estruturação de Problemas (PSM, do inglês *Problem Structuring Methods*), sendo também conhecidos na literatura como *Soft Systems* ou Pesquisa Operacional *Soft*. De acordo com Mingers e Rosenhead (2004), esses métodos providenciam assistência analítica visando esclarecer uma série de situações complexas, e de maneira geral, apresentam as seguintes características:

- Possibilitam que várias alternativas sejam analisadas de forma integrada;
- São cognitivamente acessíveis a atores que não tenham formação de especialistas;

- Operam interativamente, de modo que o modelo utilize o atual estágio de discussão entre os atores;
- Permitem que melhorias locais sejam identificadas e implementadas, ao invés de exigir um ótimo global, o que implicaria em uma fusão de diversos interesses.

Nesta categoria destacam-se métodos tais como a SODA (*Strategic Options and Development Analysis*) (DYSON; O'BRIEN, 1998), o SSM (*Soft Systems Methodology*) (ROSENHEAD; MINGERS, 2001), o SCA (*Strategic Choice Aproach*) (FRIEND; HICKLING, 2005), o VFT (*Value Focused Thinking*) (KEENEY, 1992, 1994), o VSM (*Viable System Methodology*) (BEER, 1972, 1979; ESPEJO; HARNDEN, 1992), *etc.*

Entre os PSM's mais utilizados encontram-se os mapas cognitivos (ver BOUGON; KOMOCAR, 1990; LEE; COURTNEY; O'KEEFE, 1992; CARLSSON; WALDEN, 1997; BORROI; MINOJA; SINATRA, 1998; TEGARDEN; SHEETZ, 2003; EDEN; ACKERMANN, 2004; ÇOBAN; SEÇME, 2005). Um mapa cognitivo trata-se de uma rede de idéias ligadas por setas que representam a forma como uma idéia influencia ou tem implicações sobre outra (EDEN; SPENCER, 1998), e representa um método para a resolução de problemas que se enquadra na Problemática da Descrição ($P.\delta$).

Os métodos para a resolução desta problemática são utilizados para se realizar um levantamento dos aspectos que são considerados essenciais e que devem ser levados em consideração segundo os valores dos decisores (ROY, 2005). De acordo com Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001, p.75-105), a construção de um mapa cognitivo envolve os seguintes passos:

- **Definir um rótulo para o problema:** envolve definir junto aos decisores um rótulo ou nome que descreva o problema a ser abordado. O rótulo deve ser definido de acordo com a forma considerada mais adequada pelos decisores. O facilitador deve escutar os decisores de forma a não interferir, evitando direcionar o rótulo de forma inadequada.
- **Definir os Elementos Primários de Avaliação (EPA's):** deve ser realizado um "*brainstorming*" com o decisor para identificar os objetivos, metas, valores, ações e alternativas. Esses elementos representam os EPA's do problema em questão.
- **Construir conceitos a partir dos EPA's:** os EPA's são orientados a ação para a construção de conceitos. Após fornecer uma perspectiva orientada a ação, pergunta-se ao decisor pelo oposto psicológico, que forma o pólo oposto do conceito. O rótulo de ambos os pólos são então separados por "...", que é lido como "ao invés de". Recomenda-se que o texto de um conceito tenha um máximo de 12 palavras.
- **Construir a hierarquia de conceitos:** a partir de um conceito pergunta-se ao decisor sobre quais os meios para alcançá-lo e quais os fins para os quais se destina, explicitando outros conceitos denominados conceitos meios e conceitos fins. Esses conceitos são ligados por meio de ligações de influência, formando a estrutura do mapa.

Depois de construído, pode-se iniciar a análise do mapa cognitivo através da identificação de seus elementos, conforme o quadro 2.

Dentre os procedimentos de análise mais importantes em um mapa cognitivo encontra-se a identificação dos Pontos de Vista Fundamentais (PVF's). A identificação dos PVF's é importante porque eles constituem os eixos de avaliação do problema decisório em análise. Segundo Ensslin e Montibeller Neto (2008) essa identificação é realizada através do enquadramento do mapa cognitivo, que se trata de um procedimento onde são buscados, em cada ramo do mapa, os conceitos que apresentam as seguintes características:

- Expressam idéias relacionadas aos objetivos estratégicos dos decisores;
- Expressam idéias relacionadas às ações potenciais disponíveis;
- Expressam um ponto de vista ao mesmo tempo essencial e controlável.

Para poder utilizar os PVF's identificados como os eixos de avaliação do problema, deve-se verificar se estes constituem uma família de PVF's, o que ocorre quando são obedecidas as

propriedades de essenciabilidade, controlabilidade, completude, mensurabilidade, operacionalidade, isolabilidade, não-redundância, concisão e compreensibilidade descritas por Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001, p. 140-143).

Por fim, ressalta-se que quando um PVF é muito complexo para ser mensurado diretamente, este pode ser decomposto em pontos de vista de mais fácil mensuração, denominados Pontos de Vista Elementares (PVE's). Essa decomposição permite uma maior inteligibilidade para a realização dos julgamentos e portanto uma melhor avaliação das ações potenciais.

Quadro 2: Elementos Identificados na Análise do Mapa Cognitivo

1	**Conceitos cabeças e rabos:** são respectivamente aqueles conceitos onde somente chegam flechas e aqueles de onde somente saem flechas.
2	**Clusters:** são agrupamentos de conceitos que representam uma mesma área de interesse para o decisor.
3	**Linhas de argumentação:** são cadeias de conceitos hierarquicamente superiores a um conceito rabo e influenciados por ele.
4	**Ramos:** são conjuntos de linhas de argumentação que apresentam preocupações semelhantes em relação ao contexto decisório.
5	**Pontos de Vista Fundamentais (PVF's):** são aspectos considerados pelos decisores como fundamentais para avaliar as ações potenciais.

Fonte: Adaptado de Ensslin e Montibeller Neto (1998a, 1998b)

4. O estudo de caso

Com o intuito de investigar a utilização de mapas cognitivos na determinação dos critérios para a obtenção dos GP's, assim como investigar a aplicação da metodologia proposta por Herrera e Costa (2001), foi realizado um estudo de caso onde essas metodologias foram utilizadas para a determinação dos GP's de um canteiro de obras. Os passos deste estudo estão descritos sucintamente nas próximas seções.

4.1 Construção e análise do mapa cognitivo

Para identificar os critérios relevantes na determinação do arranjo físico, foi realizada uma reunião com o mestre de obras da construção, a partir da qual foi construído um mapa cognitivo. A seguir são apresentados os passos realizados neste processo (conforme descritos na seção 3).

- **Definição do rótulo para o problema:** Após o facilitador solicitar ao decisor um rótulo para o problema, este considerou adequado o rótulo: "O que deve ser considerado ao determinar o *layout* de um canteiro de obras".
- **Definição dos EPA's:** Nesta etapa foi realizado um *"brainstorming"* com o decisor, onde foram identificados os EPA's: segurança, agilidade, conforto, movimentação de material, necessidade de comunicação, nível de ruído, compartilhamento de pessoal, compartilhamento de equipamentos, facilidade de supervisão e interferência de poeira.
- **Construção dos conceitos:** Depois da definição dos EPA's, foi solicitado ao decisor que orientasse cada um deles para ação, obtendo o primeiro pólo do conceito. Logo após, foi perguntado ao decisor pelo oposto psicológico, a partir do qual foi construído o pólo oposto do conceito.
- **Construção da hierarquia de conceitos:** Nesta etapa foram realizadas perguntas ao decisor sobre a forma como chegar aos conceitos identificados e sobre porque os conceitos identificados eram importantes. Essas perguntas foram utilizadas na identificação de outros conceitos e para a construção da hierarquia de conceitos através das ligações de influência (ver apêndice 1).

Depois de construído, o mapa cognitivo foi analisado para a identificação dos PVF's. Primeiramente foram identificados no mapa os conceitos cabeça (C_{12} e C_{14}) e rabo (C_{26}, C_{27}, C_{28}, C_{30}, C_{32}, C_{33}, C_{34} e C_{35}). A partir destes conceitos foram identificadas as linhas de argumentação, os *clusters* e os ramos do mapa, conforme apresentado na Tab. 1.

Numa próxima etapa foi realizado o enquadramento do mapa cognitivo, onde foram identificados os PVF's (C_1, C_7, C_8, C_2, C_{25}). A análise destes conceitos revelou que eles constituem uma família de PVF's, o que possibilitou sua utilização como eixos de avaliação do problema de determinação dos GP's. Os PVF's identificados foram: "segurança", "facilidade de supervisão", "fluxo", "conforto" e "compartilhamento de equipamentos".

Tabela 1: Linhas de argumentação, *clusters* e ramos identificados no mapa cognitivo

Clusters	Ramos	Linhas de Argumentação	Seqüências de Conceitos
Segurança	B_1	A_1	$C_{30} \rightarrow C_1 \rightarrow C_{11} \rightarrow C_{12}$
		A_2	$C_{30} \rightarrow C_1 \rightarrow C_{11} \rightarrow C_{13} \rightarrow C_{14}$
Custo	B_2	A_3	$C_{26} \rightarrow C_8 \rightarrow C_5 \rightarrow C_{16} \rightarrow C_{14}$
	B_3	A_4	$C_{28} \rightarrow C_6 \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{16} \rightarrow C_{14}$
		A_5	$C_{28} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{16} \rightarrow C_{14}$
		A_6	$C_{28} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{25} \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{16} \rightarrow C_{14}$
		A_7	$C_{28} \rightarrow C_6 \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{24} \rightarrow C_{14}$
		A_8	$C_{28} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{24} \rightarrow C_{14}$
		A_9	$C_{28} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{25} \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{24} \rightarrow C_{14}$
		A_{10}	$C_{28} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{25} \rightarrow C_9 \rightarrow C_{20} \rightarrow C_{21}$
		A_{11}	$C_{33} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{24} \rightarrow C_{14}$
		A_{12}	$C_{33} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{25} \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{24} \rightarrow C_{14}$
		A_{13}	$C_{33} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{25} \rightarrow C_9 \rightarrow C_{20} \rightarrow C_{21} \rightarrow$
		A_{14}	$C_{33} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{16} \rightarrow C_{14}$
		A_{15}	$C_{33} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{25} \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{16} \rightarrow C_{14}$
		A_{16}	$C_{32} \rightarrow C_3 \rightarrow C_{25} \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{24} \rightarrow C_{14}$
		A_{17}	$C_{32} \rightarrow C_3 \rightarrow C_{25} \rightarrow C_9 \rightarrow C_{20} \rightarrow C_{21} \rightarrow C_{14}$
		A_{18}	$C_{32} \rightarrow C3 \rightarrow C_{25} \rightarrow C_{19} \rightarrow C_{16} \rightarrow C_{14}$
	B_4	A_{19}	$C_{34} \rightarrow C_4 \rightarrow C_2 \rightarrow C_{16} \rightarrow C_{14}$
		A_{20}	$C_{34} \rightarrow C_4 \rightarrow C_2 \rightarrow C_{17} \rightarrow C_{18} \rightarrow C_{16} \rightarrow$
		A_{21}	$C_{35} \rightarrow C_{10} \rightarrow C_2 \rightarrow C_{16} \rightarrow C_{14}$
		A_{22}	$C_{35} \rightarrow C_{10} \rightarrow C_2 \rightarrow C_{17} \rightarrow C_{18} \rightarrow C_{16} \rightarrow$
	B_5	A_{23}	$C_{27} \rightarrow C_7 \rightarrow C_{22} \rightarrow C_{16} \rightarrow C_{14}$
		A_{24}	$C_{27} \rightarrow C_7 \rightarrow C_{23} \rightarrow C_{14}$

Fonte: Elaborado pelos autores

Com o intuito de aumentar a inteligibilidade dos julgamentos e facilitar sua realização pelo decisor, optou-se por decompor os PVF's "fluxo" e "conforto" em PVE's, realizando-se a análise do mapa cognitivo com o auxílio do decisor. A análise do mapa mostrou que o decisor percebia o PVF "fluxo" como constituído por dois PVE's: "fluxo de materiais" (através das ligações de influência $C_{32} \rightarrow C_3 \rightarrow C_{25}$) e "fluxo de pessoas" ($C_{28} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{25}$ e $C_{28} \rightarrow C_{29} \rightarrow C_{25}$). Da mesma forma, o PVF "conforto" foi analisado junto ao decisor e dividido em "nível de ruído" ($C_{34} \rightarrow C_4 \rightarrow C_2$) e "nível de poeira" ($C_{35} \rightarrow C_{10} \rightarrow C_2$).

Neste sentido, os seguintes critérios foram explicitados com a utilização do mapa cognitivo: "fluxo de pessoas", "fluxo de materiais", "supervisão", "compartilhamento de equipamentos", "segurança", "nível de ruído" e "nível de poeira". Estes critérios foram utilizados na classificação dos GD's e GI's, conforme apresentado na próxima seção.

4.2 Determinação dos graus de proximidade

Visando determinar os GP's da instalação estudada foi realizado um levantamento de seus centros de trabalho, os quais contabilizaram poucos devido às características inerentes ao estágio inicial da obra. Os centros de trabalho presentes na instalação foram: (1) máquina policorte, (2) depósito de aço, (3) depósito de cimento/brita, (4) depósito de areia, (5) bancada dobra-aço e (6) depósito de entulho.

Como uma primeira etapa para a determinação dos GP's, realizou-se o processo de classificação dos GD's e GI's a partir dos critérios identificado na análise do mapa cognitivo. Para classificar os GD's foram utilizados os critérios: "fluxo de pessoas", "fluxo de materiais", "supervisão" e "compartilhamento de equipamentos". Os critérios "segurança", "nível de ruído" e "nível de poeira" foram utilizados para classificar os GI's.

Primeiramente, foi solicitado ao decisor que realizasse os Julgamentos de Desejabilidade ($D_j(m, n)$) e Indesejabilidade ($I_j(m, n)$) para cada par de centros de trabalho e que atribuísse pesos (ω_j) referentes a cada critério, utilizando-se como base as escalas apresentadas no quadro 1.

Após a obtenção desses dados, o método ELECTRE TRI foi utilizado para realizar a classificação dos GD's e GI's em categorias apresentando perfis que variam de 0,5 a 3,5 (para GD's) e de -0,5 a -3,5 (para GI's), conforme apresentado na Fig. 1. Para essa classificação utilizou-se os parâmetros propostos por Herrera e Costa (2001), com limite de corte = 0,76, limite de preferência = 0,1 e limite de indiferença = 0,1.

Devido à ocorrência de muitas incomparabilidades na classificação dos GD's e GI's (isto é, diferenças entre os resultados obtidos com o procedimento de classificação otimista e pessimista do ELECTRE TRI), foi solicitado ao decisor que realizasse uma revisão de seus julgamentos. Depois de revisados, esses julgamentos foram novamente utilizados para a classificação dos GD's e GI's, alcançando-se uma redução no número de incomparabilidades cujo resultado foi considerado satisfatório para este trabalho.

Conforme pode ser observado na Tab. 2, após a revisão dos julgamentos pelo decisor a existência de incomparabilidades ocorreu somente na classificação dos GI's. Para solucionar este problema, o resultado de ambos os procedimentos de classificação (otimista e pessimista) foram levados para serem avaliados pelo decisor, o qual afirmou que a classificação realizada pelo procedimento pessimista refletia mais adequadamente suas percepções. Em conseqüência disso, na ocorrência de incomparabilidades somente os resultados do procedimento pessimista do ELECTRE TRI foram utilizados neste trabalho.

Depois de realizada a classificação dos GD's e GI's, foi realizada a determinação dos GP's através da utilização da fórmula (1). Para tanto, foram atribuídos valores numéricos para cada categoria ilustrada na Fig. 1.

Para os GD's foram atribuídos valores inteiros que variaram de "0", para a categoria "U", até "4", para a categoria "A". Em relação aos GI's foram atribuídos valores inteiros que variaram de "0", para a categoria "V", até "-4", para a categoria "Z". A mesma relação foi utilizada de forma inversa para classificar os GP's obtidos com a utilização da fórmula (1), conforme os resultados apresentados na Fig. 2.

Tabela 2: Classificação dos GD's e GI's pelo ELECTRE TRI

	Otimista		Pessimista		Final	
(m, n)	**GD(m, n)**	**GI(m, n)**	**GD(m, n)**	**GI(m, n)**	**GD(m, n)**	**GI(m, n)**
(1, 2)	A	W	A	W	A	W
(1, 3)	U	W	U	W	U	W
(1, 4)	U	W	U	W	U	W
(1, 5)	A	Y	A	Y	A	Y
(1, 6)	O	W	O	W	O	W
(2, 3)	U	W	U	W	U	W
(2, 4)	U	W	U	W	U	W
(2, 5)	A	W	A	W	A	W
(2, 6)	U	W	U	W	U	W
(3, 4)	U	W	U	W	U	W
(3, 5)	U	W	U	W	U	W
(3, 6)	U	W	U	W	U	W
(4, 5)	U	W	U	X	U	X
(4, 6)	U	W	U	W	U	W
(5, 6)	O	W	O	Y	O	Y

Fonte: Elaborado pelos autores

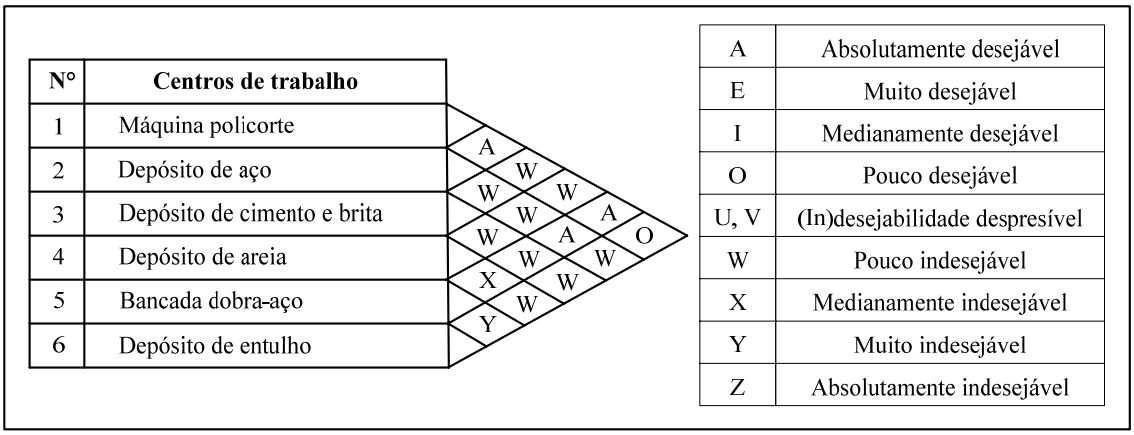


Figura 2: Classificação dos Graus de Proximidade (GP)
Fonte: Elaborado pelos autores

5. Considerações finais

Neste trabalho buscou-se investigar a aplicação de mapas cognitivos para a explicitação dos critérios utilizados para se determinar os GP's entre os centros de trabalho de uma instalação de produção. Além do objetivo anterior, buscou-se investigar a aplicação do método ELECTRE TRI na classificação dos GP's, conforme a metodologia proposta por Herrera e Costa (2001).

A utilização de mapas cognitivos para o levantamento de critérios para a determinação de GP's mostrou-se promissora, possibilitando não somente explicitar os aspectos considerados fundamentais pelo decisor para a resolução do problema, como também consistiu em um processo de aprendizagem no qual o decisor foi estimulado a pensar sobre o próprio problema.

Em relação à aplicação da abordagem proposta por Herreira e Costa (2001), ressalta-se como uma vantagem em sua utilização a possibilidade de se considerar os aspectos subjetivos relacionados ao problema e o reconhecimento de múltiplos critérios, o que permite a divisão do problema e conseqüentemente a realização de julgamentos de forma mais inteligível. Além disso, em vista de que os GP's são aplicados de forma genérica para o planejamento de arranjos físicos,

esta abordagem pode ser utilizada em qualquer tipo de instalação produtiva, fornecendo grande flexibilidade em seu uso.

Por outro lado, foi observado que esta abordagem apresenta como desvantagem a necessidade de se efetuar um número muito grande de julgamentos. Para que os GD's e GI's sejam classificados, é necessário solicitar ao decisor que realize julgamentos em relação a cada critério, para todas as combinações possíveis de centros de trabalho existentes na instalação. Sendo "α" e "β" respectivamente os números de critérios avaliados para a classificação dos GD's e GI's, o número de julgamentos necessários é dado conforme a equação (2):

$$\psi(\alpha, \beta, N) = \binom{N}{2}(\alpha + \beta) \qquad (2)$$

Utilizando-se como exemplo este trabalho, com N = 6, $\alpha = 4$ e $\beta = 3$, foi necessária a realização de 105 julgamentos pelo decisor. Caso a instalação em análise fosse constituída por 30 centros de trabalho, considerando o mesmo número de critérios seria necessária a realização de 2160 julgamentos, o que torna esta metodologia inadequada para instalações com elevado número de centros de trabalho.

Em relação à percepção dos resultados pelo decisor, este se mostrou satisfeito com os resultados apresentados e afirmou que muitos dos critérios identificados com a utilização do mapa cognitivo vieram ao encontro de aspectos já identificados intuitivamente por ele, como a segurança e o fluxo de materiais e pessoas. Além disso, a classificação dos GP's foi levada ao parecer do decisor, o qual ratificou sua concordância com tais classificações, o que se trata de um indicador da validade deste trabalho.

Por fim, ressalta-se que o estudo realizado neste trabalho consistiu em uma abordagem muito particular ao sistema analisado, sendo que a aplicação desta metodologia em instalações produtivas de tipos diferentes daquela aqui apresentada poderá fornecer resultados mais conclusivos, contribuindo inclusive para a verificação dos resultados aqui obtidos.

Referências

APPLE, J. M. **Material handling systems design**. New York: Ronald Press, 1972. 656 p.

_____. **Plant layout and materials handling.** 2. ed. New York: Ronald Press, 1963. 447 p.

BEER, S. **Brain of the firm**: the managerial cybernetics of organization. London: Penguin Press, 1972. 320 p.

_____. **The heart of enterprise**. Chichester: Wiley, 1979. 596 p.

BORROI, M.; MINOJA, M.; SINATRA, A. The relationship between cognitive maps, industry complexity and strategies implemented: The case of the carpi textile-clothing industrial system. **Journal of Management and Governance**, v. 2, n. 3, p. 233-266, sept. 1998.

BOUGON, M. G.; KOMOCAR, J. M. Directing strategic change: a dynamic wholistic approach. In: HUFF, A. S. **Mapping strategic thought**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 444 p.

BUFFA, E. S.; ARMOUR, G. C.; VOLLMAN, T. E. Allocating Facilities with CRAFT. **Harvard. Business Review**, v. 42, n. 2, p. 136-158, mar-apr. 1964.

BURBIDGE, J. L. **Production Planning**. Oxford: Oxford University Press, 1989. 416 p.

CARLSSON, C.; WALDEN, P. Cognitive maps and a hyperknowledge support system in strategic management. **Group Decision and Negotiation**, v. 6, n. 1, p. 7-36, jan. 1997.

ÇOBAN, O.; SEÇME, G. Prediction of socio-economical consequences of privatization at the firm level with fuzzy cognitive mapping. **Information Science**, v. 169, n. 1, p. 131-154, jan. 2005.

DELMAIRE, H.; LANGEVIN, A.; RIOPEL, D. Skeleton-based facility layout design using genetic algorithms. **Annals of Operations Research**, v. 69, n. 85, p. 85-104, 1997.

DUTTA, K.; SAHU, S. A multigoal heuristic for facilities design problems: MUGHAL. **International Journal of Production Research**, v. 20, n. 2, p. 147-154, 1982.

DYSON, R. G.; O'BRIEN, F. A. **Strategic Development**: Methods and Models. Chichester: John Wiley & Sons, 1998. 346 p.

EDEN, C.; ACKERMANN, F. Cognitive mapping expert views for policy analysis in the public sector. **European Journal of Operational Research**, v. 152, n. 3, p. 615-630, feb. 2004.

EDEN, C.; JONES, S.; SIMS, D. **Messing about in problems**: an informal structured approach to their identification and management. Oxford: Pergamon Press, 1983. 124 p.

EDEN, C.; SPENCER, J. C. **Managerial and organizational cognitions**: Theory, methods and research. London: Sage, 1998. 257 p.

ENSSLIN, S. R. **A estruturação no processo decisório de problemas multicritérios complexos**. Florianópolis, SC: UFSC: 1996. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G. Mapas cognitivos no apoio à decisão. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 18., 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1998a, p. 1-9.

_____. Quais critérios deve-se considerar em uma avaliação. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 18., 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1998b, p. 1-9.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão:** Metodologias para estruturação de problemas e avaliação de alternativas. Florianópolis: Insular, 2001. 296 p.

ESPEJO, R.; HARNDEN, R. **The viable system model**: interpretations and applications of Stafford Beer's VSM. Chichester: Wiley, 1992. 488 p.

FORTENBERRY, J.; COX, J. Multiple criteria approach to the facilities layout problem. **International Journal of Production Research**, v. 23, n. 4, p. 777-782, 1985.

FRIEND, J.; HICKLING, A. **Planning under pressure:** The strategic choice approach. 3. ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 412 p.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da decisão**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 116 p.

HERAGU, S. S. **Facilities design.** 2. ed. Lincoln: Iuniverse, 2006. 628 p.

HERRERA, W. D. M.; COSTA, H. G. Contribuições da análise multicritério à obtenção de graus de proximidade para arranjos físicos. **Produto & Produção**, Rio Grande do Sul, v. 5, n. 3, p. 46-61, out. 2001.

_____. O método Electre III aplicado ao desenvolvimento de arranjos físicos. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 19., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1999, p. 1-13.

_____. Uso da análise multicritério no apoio ao desenvolvimento de arranjos físicos. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2., 2004, Niterói. **Anais...** Niterói, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2004, p. 1-18.

KEENEY, R. L. Creativity in decision making with value-focused thinking. **Sloan Management Review**, v. 35, n. 4, p. 33-41, summer 1994.

_____. **Value-focused thinking**: A path to creative decisionmaking. Cambridge: Harvard University Press, 1992. 432 p.

LEE, R. C.; MOORE, J. M. CORELAP – computerized relationship layout planning. **Journal of Industrial Engineering**, v. 18, n. 3, p. 195-200, 1967.

LEE, S.; COURTNEY, J. F.; O'KEEFE, R. M. A system for organizational learning using cognitive maps. **Omega**, v. 20, n. 1, p. 23-36, jan. 1992.

MINGERS, J.; ROSENHEAD, J. Problem structuring methods in action. **European Journal of Operational Research**, v. 152, p. 530-554, 2004.

MONTIBELLER, G. From (end to) a new generation of multi-criteria decision analysis: an introduction to the field and a personal view on its future. In: YOR Conference, 14., Birmingham. **Anais…** Birmingham, The Operational Research Society, 2005. p. 17-30.

MOORE, J. M. **Plant layout and design.** 5. ed. New York: MacMillan Publishing Company Inc, 1971. 566 p.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 624 p.

MUTHER, R**. Practical plant layout**. New York: McGraw-hill, 1955. 363 p.

_____. **Systematic layout planning**. 2. ed. Boston: Cahners Books, 1973. 360 p.

REED, R. **Plant layout: factors, principles, and techniques.** Homewood: R.D. Irwin Inc., 1961. 459 p.

ROSENBLATT, M. J. The facilities layout problem: a multi-goal approach. **International Journal of Production Research**, v. 17, n. 4, p. 323-332, 1979.

ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. **Rational analysis for a problematic world revisited**: Problem structuring methods for complexity, uncertainty and conflict. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons: 2001. 384 p.

ROSENHEAD, J. Past, present and future of problem structuring methods. **Journal of Operational Research Society**, v. 57, p. 759-765, 2006.

ROY, B. **Paradigms and challenges**. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple-criteria decision analysis. state of the art surveys**. New York: Springer, 2005. 1085 p.

SEEHOF, J. M.; EVANS, W. O. Automated layout design program. **Journal of Industrial Engineering**, v. 18, n. 12, p. 690-695, 1967.

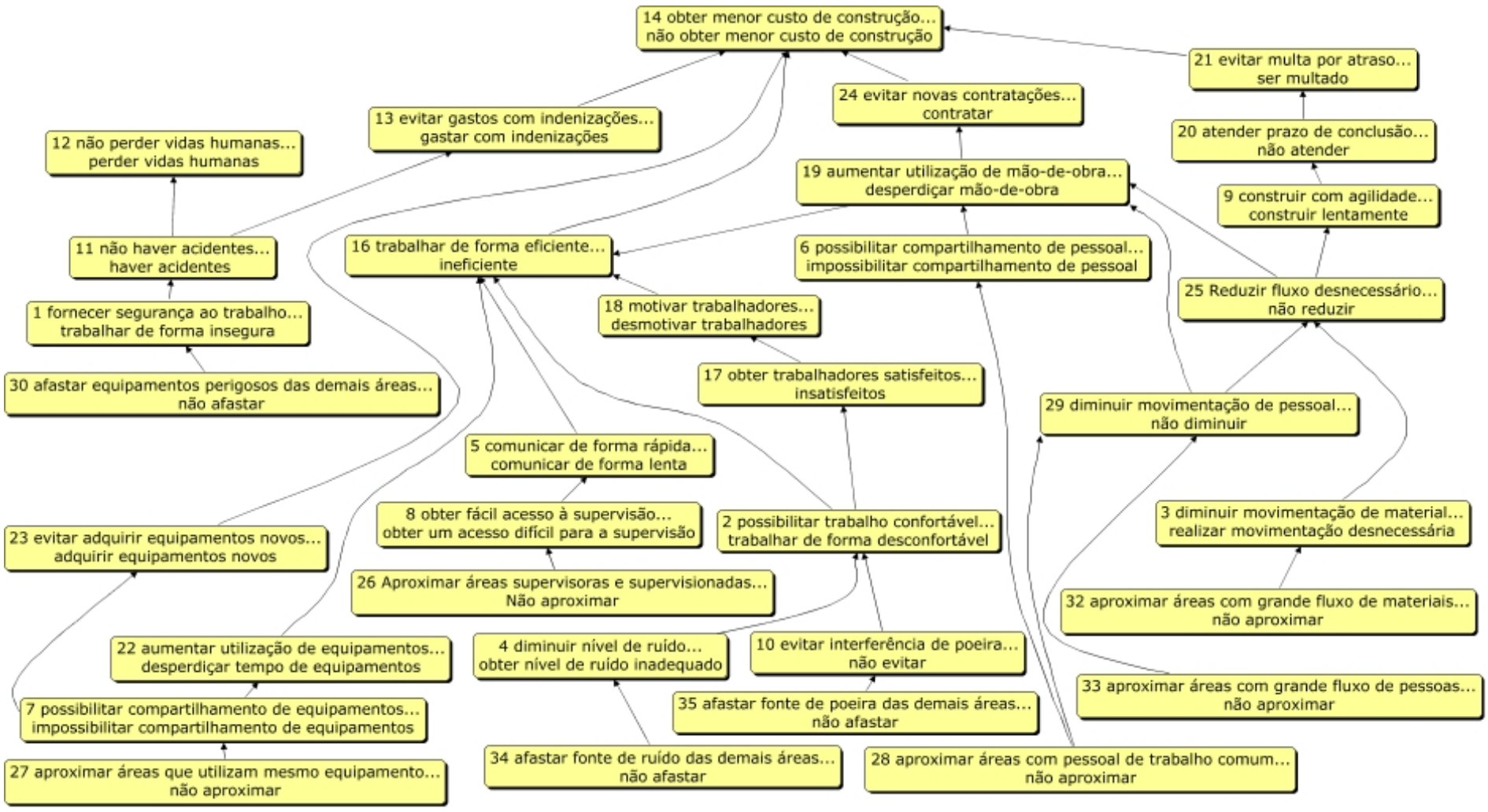
SHETH, V. S. **Facilities planning and materials handlings:** methods and requirements. New York: N. Dekker, 1995. 441 p.

SHÖN, D. **Beyond the stable state**. New York: Norton, 1973. 254 p.

TEGARDEN, D. P.; SHEETZ, S. D. Group cognitive mapping: a methodology and system for capturing and evaluating managerial and organizational cognition. **Omega**, v. 31, n. 2, p. 113-125, apr. 2003.

TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A.; BOZER, Y. A.; TANCHOCO, J. M. A. **Facilities Planning**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2010. 854 p.

YU, W. **Aide Multicritère à La Décision Dans le Cadre de la Problématique du TRI :** Concepts, Méthodes et Applications. Paris, França: Université Paris-Dauphine, 1992. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Université Paris Dauphine, 1992.

ZAWADZKI, M.; GELADO, W. H.; BELDERRAIN, M. C. N. Aplicação de mapas cognitivos para a descrição do problema de produção bibliográfica em um programa de pós-graduação. In: Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA, 14., 2008, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2008, p. 1-12.

Apêndice 1: Mapa cognitivo