

## MÉTODO MULTICRITÉRIO ELECTRE IV-H PARA PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES EM PROJETOS

**Caroline Maria de Miranda Mota**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Recife – PE

[carolmm@ufpe.br](mailto:carolmm@ufpe.br)

**Adiel Teixeira de Almeida\***

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Recife – PE

[aalmeida@ufpe.br](mailto:aalmeida@ufpe.br)

\* *Corresponding author* / autor para quem as correspondências devem ser encaminhadas

*Recebido em 04/2006; aceito em 05/2007 após 1 revisão*

*Received April 2006; accepted May 2007 after one revision*

### Resumo

Este trabalho está relacionado ao problema de priorização de atividades em projetos de construção. A questão básica a ser tratada é o meio pelo qual pode ser realizada uma priorização das diversas atividades que ocorrem em paralelo em projetos de construção, à luz de múltiplos critérios. Devido às características intrínsecas do problema, foi desenvolvido um método multicritério ELECTRE IV-H, baseado no método ELECTRE IV, apresentando uma nova abordagem para determinação das relações de sobreclassificação. Portanto, este trabalho apresenta uma proposta para lidar com problemas de priorização de atividades em projetos de construção considerando a dificuldade de obtenção de informações para estruturação do problema de decisão, isto é, quando os decisores não podem estabelecer a importância relativa entre os critérios.

**Palavras-chave:** decisão multicritério; ELECTRE; priorização; projetos de construção.

### Abstract

This paper deals with activities prioritization of construction projects. The key question is related to the establishment of activities prioritization procedure in a multiple-project view, considering multiple criteria. Taking into account particular aspects of this problem, a new multicriteria method ELECTRE IV-H (based on ELECTRE IV method) was developed as a new approach to build an outranking relation. Thus, this paper presents this new proposed method to evaluate activities prioritization problem in construction projects, considering the difficulty of obtaining information during the structuring of the decision problem, i.e., when decision-makers can not establish the relative importance among criteria.

**Keywords:** multicriteria decision aid; ELECTRE; prioritization; construction project management.

## 1. Introdução

Este trabalho apresenta um modelo de decisão multicritério desenvolvido para apoiar o processo de gestão de projetos de construção (empreendimentos). A gestão de projetos é reconhecida como uma disciplina que é amplamente estudada por associações, como o PMI (*Project Management Institute*) e a IPMA (*International Project Management Association*), além de associações em geral relacionadas à Engenharia de Produção.

A gestão de projetos abrange as fases de planejamento, que ocorre antes de se iniciar o desenvolvimento do projeto; de execução e controle, que englobam o seu desenvolvimento e acompanhamento, e de finalização, que avalia o resultado do projeto junto ao cliente. Na visão de Maylor (2002), o gerenciamento de projetos inclui planejamento, organização, direção, controle de atividades e motivação de pessoal. Maylor (2002) ainda afirma que, atualmente, o gerenciamento de projetos não está rodeado de teorias, mas é praticamente baseado em várias conclusões que têm sido alcançadas de estudos empíricos.

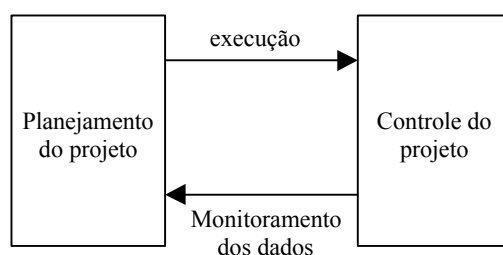
Quando lidamos com a gestão de projetos duas abordagens podem ser adotadas: a visão integrada ou visão localizada. Na visão localizada, cada empreendimento é planejado de forma isolada, sem serem considerados os outros projetos da empresa. Na abordagem integrada, os empreendimentos são gerenciados na visão do conjunto do plano de empreendimentos, isto é, todos os empreendimentos são considerados em conjunto, a serem executados num determinado período. Nesse caso, as estimativas de tempo com base na técnica PERT/CPM são importantes para o estabelecimento dos prazos básicos para as etapas do empreendimento. Esta também é denominada abordagem de múltiplos projetos (Miranda, 2005).

Na visão multi-projetos, é importante que o processo de gestão envolva a priorização de atividades dos projetos da organização com base nos aspectos críticos dos projetos, isto é, daqueles aspectos que contribuem para o insucesso do projeto. Neste caso, faz-se uma ordenação de um conjunto de atividades dos projetos em função da criticidade, em que as primeiras colocadas são aquelas mais críticas, numa visão integrada dos projetos de uma organização.

O problema de gestão de múltiplos projetos pode ser bastante complexo. Além das dificuldades inerentes a cada projeto, soma-se o problema de integrar a gestão do conjunto de projetos em questão. Na análise de múltiplos projetos a complexidade da decisão aumenta, assim como os atores envolvidos no processo de decisão. Quando se considera um plano de projetos de uma organização, cada departamento tem prioridades diferentes em função de suas necessidades específicas. As decisões, nesse caso, devem considerar esses aspectos.

Os problemas de decisão em gestão de projetos têm um contexto bem específico. Essas decisões não são estáticas, isto é, elas mudam, constantemente, durante o ciclo de vida dos projetos. O processo de planejamento e controle de projetos é iterativo, após o início da execução do projeto, pode ser necessário fazer alguns ajustes na programação proposta, ou seja, é preciso fazer um replanejamento, como representado na Figura 1. Isso é devido à natureza incerta dos projetos.

O processo de execução e controle de projetos envolve, além do processo de acompanhamento e controle propriamente dito, um processo de reavaliação e ajustes que implica o replanejamento do projeto ao longo do processo de implementação.



**Figura 1** – Processo iterativo de planejamento e controle de projetos (adaptado de Jüngen & Kowalczyk, 1995).

A priorização de atividades em projetos é importante, pois não é possível gerenciar e monitorar todas as atividades dos projetos com a mesma atenção. Algumas atividades estão mais sujeitas a sofrerem alterações durante a execução do que outras e o gerente dos projetos deve dedicar um maior esforço no monitoramento e controle dessas atividades. Essas decisões de priorização são, então, tomadas repetidamente durante cada fase do projeto. Em outras palavras, a cada etapa do projeto um conjunto de atividades deve ser priorizado e isso irá se repetir diversas vezes durante o ciclo de vida do projeto.

A priorização das atividades do plano de empreendimentos de construção de uma organização em função da criticidade deve considerar diversos fatores, a depender do problema. Exemplos típicos de fatores são: o custo da atividade, a variabilidade da duração, a influencia do clima, mobilização de recursos, necessidade de pessoal qualificado, segurança, dentre outros (Miranda & Almeida, 2002).

Esse processo de gestão de empreendimentos pode ser suportado por métodos de apoio multicritério a decisão, envolvendo o estudo dos aspectos críticos dos projetos, isto é, gerenciar as atividades em função de outros aspectos além do tempo, tais como priorizar atividades de baixa segurança, alto custo, dentre outros aspectos que sejam relevantes para o gerente.

O estudo dos métodos multicritério, para tratar o problema de priorização de atividades em projetos, refletiu na mesma conclusão: precisava-se de uma abordagem simples, de fácil utilização e entendimento por parte dos gerentes dos empreendimentos. Nesse tipo de problema o modelo de decisão deve ser aplicado periodicamente com o objetivo de ordenar as atividades do plano de empreendimentos da organização e para considerar as variações nos desempenhos das atividades durante o ciclo de vida dos projetos.

Para atingir dado objetivo, foi desenvolvido, um novo método multicritério chamado ELECTRE IV-H, que permite ordenar um conjunto de atividades em situações em que é difícil definir uma relação de importância entre os critérios considerados e quando esses critérios são expressos em escalas ordinais.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: o item 2 apresenta uma breve descrição sobre métodos multicritério de apoio a decisão, com ênfase na família ELECTRE. Em seguida faz-se uma explanação sobre o método ELECTRE IV, a fim facilitar a apresentação do novo método proposto. Logo após, é feita a apresentação dos fundamentos do ELECTRE IV-H, destacando suas vantagens em relação ao ELECTRE IV. O item 4 apresenta um estudo de casos em que o ELECTRE IV-H é aplicado ao problema de priorização de atividades em projetos de construção de subestações elétricas. Ao final, faz-se um fechamento do trabalho, destacando-se as principais contribuições.

## 2. Métodos Multicritério de Apoio a Decisão

Os métodos de decisão multicritério podem ser classificados de diversas formas. Neste trabalho, é considerada a visão de Roy (1996), em que os métodos multicritério podem ser divididos em três grandes abordagens, relativamente aos princípios de modelagem de preferências:

- Abordagem do critério único de síntese: consiste em agregar diferentes pontos de vista dentro de uma única função de síntese, que pode ser posteriormente otimizada. Nesse caso, devem-se analisar as condições de agregação da função e de construção do modelo. Como exemplo cita-se a Teoria da Utilidade Multiatributo (Keneey & Raiffa, 1976; Almeida, 2005).
- Abordagem da Sobreclassificação (ou subordinação – termo em inglês: *outranking*): inspirada na Escola Francesa, essa família apóia, em primeiro lugar, a construção de uma relação de Sobreclassificação, que representa as preferências estabelecidas pelo decisor. O segundo passo consiste em explorar a relação de Sobreclassificação de tal forma que ajude o decisor a resolver o seu problema. Exemplos são os métodos da família ELECTRE (Roy, 1996; Belton & Stewart, 2002).
- Abordagem do julgamento Interativo: são métodos que utilizam a abordagem de tentativas e erros e estruturas de programação matemática multiobjetivo (Clímaco *et al.*, 2003).

De acordo com Vincke (1992), os métodos de apoio multicritério a decisão ajudam o decisor a solucionar problemas complexos de decisão, nos quais são considerados vários pontos de vista, freqüentemente contraditórios, em que o aumento do nível de um pode vir acompanhado do decréscimo de outros.

### 2.1 Métodos de Sobreclassificação - Família ELECTRE

Os métodos de Sobreclassificação fundamentam-se na construção de uma relação de sobreclassificação que incorpora as preferências estabelecidas pelo decisor diante dos problemas e das alternativas disponíveis.

Dentre os métodos de Sobreclassificação destacam-se os métodos da família ELECTRE (*Elimination and Choice Translating algorithm*), também denominados métodos de subordinação ou prevalência (termo em inglês: *outranking*), composta pelos métodos ELECTRE I, II, III, IV, IS e TRI.

Os métodos ELECTRE I e ELECTRE II envolvem apenas critérios verdade e são destinados a problemas que envolvem seleção e ordenação de alternativas, respectivamente. Com o desenvolvimento de novos tipos de modelagem de preferências, foram construídos os métodos ELECTRE III, IV, IS e TRI, que inserem na sua estrutura modelagens de preferências mais refinadas. Trata de problemas que são modelados por uma família de pseudocritérios (Vinke, 1992). Os métodos ELECTRE III e IV têm como objetivo ordenar as alternativas da melhor para a pior. O ELECTRE IV por sua vez é destinado a problemas em que não se pode introduzir qualquer ponderação nos critérios.

O ELECTRE TRI é um método multicritério de classificação, isto é, um método que aloca alternativas em categorias pré-definidas (P.β). A alocação de uma alternativa a resulta da comparação de a com perfis definidos de limites das categorias. (Mousseau & Slowinski, 1998).

## 2.2 Métodos Multicritério com Informação Parcial

Atualmente, os estudos sobre métodos multicritério têm enfatizado a construção de modelos com informação parcial (Dias & Clímaco; 1999; Dias *et al.*, 2002; Jacquet-Lagrece & Siskos, 2001; Mousseau & Dias, 2004). Esses modelos são justificados pela dificuldade, por parte do decisor, de se estabelecerem os pesos dos critérios e permitem análises mais refinadas do problema. Nesses casos, o decisor precisa estabelecer, pelo menos, uma ordenação dos critérios.

Os modelos com informação parcial são, em sua maioria, baseados na construção da relação de sobreclassificação (ou subordinação). Ressalta-se o algoritmo VIP Analysis, proposto por Dias & Clímaco (2000), que considera uma agregação aditiva dos critérios. Nesse caso específico, deve-se tomar cuidado ao estabelecer a ordenação inicial dos pesos, pois os pesos, nos modelos aditivos, têm a noção de taxa de substituição, representando a compensação entre os critérios.

Por outro lado, os modelos com informação parcial com base nos métodos de sobreclassificação, geralmente, são mais complexos devido à sua característica não-compensatória. Nesses casos, a verificação da discordância não é considerada, ou é considerada como uma aproximação da definição conceitual.

O método ELECTRE IV, como apresentado anteriormente, foi desenvolvido para tratar casos em que não se pode definir os pesos dos critérios, nem mesmo é considerada uma ordenação deles. Sua estrutura é diferente, pois não calcula índices de concordância e discordância. As relações de sobreclassificação são estabelecidas por referência direta às alternativas. Dessa forma, o método permite o uso de escalas puramente ordinais. Entretanto, a estrutura do método ELECTRE IV foi elaborada para tratar, especificamente, o problema de planejamento urbano apresentado em Hugonnard & Roy (1984).

Um problema em reaplicar o ELECTRE IV em outros problemas está relacionado a sua estrutura rígida com relação ao estabelecimento das relações de sobreclassificação. O decisor não pode escolher o nível de exigência para formar essas relações.

## 3. ELECTRE IV-H: Nova proposta baseada no ELECTRE IV

O método ELECTRE IV-H foi desenvolvido com o intuito de apoiar o processo de priorização de atividades em projetos, sendo adequado aos casos em que não se pode considerar os pesos dos critérios e, em outros casos, quando há apenas critérios representados por escalas ordinais.

O novo método ELECTRE IV-H, baseado no ELECTRE IV (motivo da escolha do nome), tem a intenção de modificar a forma como as relações de sobreclassificação são estabelecidas, de modo a oferecer maior flexibilidade e interação do decisor nas etapas de construção e investigação do problema. O método ELECTRE IV é bastante rígido e não oferece muita interação com o decisor. No entanto, a modificação proposta não foge aos princípios da modelagem da família ELECTRE.

De acordo com Roy (1996), a família ELECTRE baseia-se numa lógica não-compensatória, com poder de veto, usando as noções de concordância e discordância para estabelecer a relação de sobreclassificação entre duas alternativas. Para validar a afirmação  $aSb$  ( $a$  é pelo menos tão boa quanto  $b$ ), devem ser verificadas duas condições: concordância: para uma

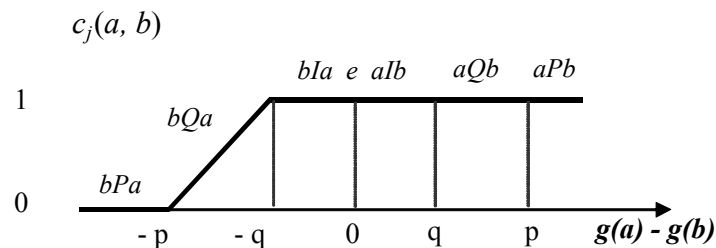
sobreclassificação  $aSb$  ser aceita, a maioria dos critérios devem estar a favor da afirmação  $aSb$ ; e não-discordância: quando a condição de concordância não for atendida, nenhum dos critérios deve opor-se à afirmação  $aSb$ .

Na modelagem de pseudocritério, em que existe a preferência fraca (Q), os princípios de concordância e discordância intra-critério são estabelecidos da seguinte forma:

*Índice de concordância parcial no critério  $j$   $c_j(a, b)$  "j  $\hat{I}$  F:*

- $a$  é pelo menos tão bom quanto  $b$  (de acordo com o critério  $j$ ) se não há, sequer, uma fraca preferência de  $b$  por  $a$ . O valor do índice de concordância é 1.
- De outro lado, se  $b$  é estritamente preferível a  $a$  (em  $j$ ), então  $a$  definitivamente não sobreclassifica  $b$  (de acordo com o critério  $j$ ), isto é,  $c_j(a, b) = 0$ .
- Quando a alternativa  $b$  é fracamente preferível, mas não estritamente preferível a  $a$ , então a evidência fica ambígua, e o valor do índice de concordância recai entre 0 e 1.

A Figura 2 ilustra a definição do índice de concordância  $c_j(a, b)$ , para o caso em que os limiares de preferência  $p$  e indiferença  $q$  são constantes.



**Figura 2** – Definição do índice de concordância  $c_j(a, b)$ .

*Índice de discordância  $d_j(a, b)$  "j  $\hat{I}$  F:*

- a sobreclassificação de  $b$  por  $a$  é vetada ( $a$  não  $S$   $b$ ) se a performance de  $b$  exceder a de  $a$  por uma quantidade maior que o limiar de veto. Roy & Hugonnard (1984) sugerem que o limiar de veto seja duas vezes o limiar de preferência.

As relações intracritérios são definidas pelos índices de concordância parcial e de discordância. Quando se considera a relação intercritério, o estabelecimento da relação de sobreclassificação deixa de ser trivial.

A construção do ELECTRE IV-H requer a definição das novas relações de sobreclassificação forte e fraca. Essas relações devem estar baseadas nos princípios da concordância e discordância descritos acima. Suponha-se a seguinte notação:

$NP(a, b)$  = número de critérios em que  $aPb$

$NQ(a, b)$  = número de critérios em que  $aQb$

$NI(a, b)$  = número de critérios em que  $aIb$

$N = NP(a, b) + NQ(a, b) + NI(a, b) + NQ(b, a) + NP(b, a)$  = número total de critérios

Segundo a definição do índice de concordância, quando  $bPa$  ocorre em um critério  $j$ , então  $a$  não sobreclassifica  $b$  nesse critério. Por outro lado, quando  $bQa$  ocorre em um critério  $j$ , então a sobreclassificação de  $a$  por  $b$ , no critério  $j$ , fica ambígua. Assim, numa visão mais restritiva e considerando-se o todo o conjunto de critérios, caso ocorra, em pelo menos um critério, a relação  $bPa$ , então  $a$  não sobreclassifica  $b$  e, caso ocorra, em pelo menos um critério, a relação  $bQa$ , então será necessária mais informação para definir a sobreclassificação de  $a$  por  $b$ .

### 3.1 Sobreclassificação Forte - $aS^F b$

Diante do que foi exposto acima, fica claro que, numa visão mais restritiva da relação de sobreclassificação, a primeira condição para que  $a$  sobreclassifique fortemente  $b$  é que, para todos os critérios, não ocorra  $bPa$ . Isso pode ser escrito da seguinte forma:

$$- aSb \text{ se } NP(b,a) = 0 \text{ (o inverso não é verdade).} \quad (i)$$

Diferente da primeira condição, as condições seguintes para se definir a relação de sobreclassificação forte não podem ser estabelecidas diretamente. Esse é o caso de quando ocorre a relação  $bQa$ . Para estabelecer as regras necessárias para se verificar essa relação, é preciso reanalisar os conceitos de concordância e discordância nos quais a relação de sobreclassificação é baseada.

Pela definição do índice de concordância parcial, a sobreclassificação de  $b$  por  $a$  ( $aSb$ ) é verificada, com certeza, quando existe  $aPb$  ou  $aQb$  ou  $alb$ , e duvidosa quando existe  $bQa$ . Assim, por essa definição podemos dizer que: os critérios em que existem as relações  $aPb$  ou  $aQb$  ou  $alb$  contribuem totalmente para validar a afirmação  $aSb$ , os critérios em que existe  $bQa$  podem contribuir para validar a afirmação  $aSb$ , e os critérios em que  $bPa$  existe não validam essa afirmação.

- (1) se  $aPb$  ou  $aQb$  ou  $alb \rightarrow$  contribuem totalmente para validar  $aSb$
- (2) se  $bQa \rightarrow$  tem pouca contribuição (dúvida) para validar  $aSb$
- (3) se  $bPa \rightarrow$  contribui para não validar  $aSb$

Segundo o princípio da concordância uma maioria dos critérios deve estar a favor da afirmação  $aSb$ . Então, as condições seguintes devem ser atendidas para ocorrer a sobreclassificação de  $a$  por  $b$  ( $aSb$ ):

$$NP(a,b) + NQ(a,b) + NI(a,b) + 0,5*NQ(b,a) \geq N/2 \quad (ii)$$

Os critérios em que ocorre  $bQa$  são multiplicados por 0,5 pois representam uma dúvida quanto a sobreclassificação de  $a$  por  $b$  (ver Figura 2).

Considerando  $S^F(a,b) = NP(a,b) + NQ(a,b) + NI(a,b) + 0,5*NQ(b,a)$

$$S^F(a,b) \geq S^F(b,a) \quad (iii)$$

A relação (iii) verifica se o número de critérios a favor de  $a$  é maior que o número de critérios a favor de  $b$ . Essa relação também é importante para evitar que se formem circuitos entre as duas alternativas  $a$  e  $b$ , geradas por situações de dúvida entre uma fraca preferência de uma identificada das duas alternativas e indiferença entre elas. Assim:

$NP(a,b) + NQ(a,b) + NI(a,b) + 0,5*NQ(b,a) \geq NP(b,a) + NQ(b,a) + NI(a,b) + 0,5*NQ(a,b)$ ,  
é equivalente a:

$$NP(a,b) + 0,5 NQ(a,b) \geq NP(b,a) + 0,5*NQ(b,a) \quad (iv)$$

Como para primeira condição de sobreclassificação forte  $NP(b,a) = 0$ , então:

$$NP(a,b) + 0,5 NQ(a,b) \geq 0,5*NQ(b,a) \quad (v)$$

Considerando-se,  $SF(a,b) = NP(a,b) + 0,5*NQ(a,b)$ , e  $SF(b,a) = 0,5*NQ(b,a)$

$$SF(a,b) \geq SF(b,a) \quad (vi)$$

A relação (v) é mais restritiva que a relação (ii), sendo necessário apenas verificar a relação (v).

Para a relação de sobreclassificação forte, não há necessidade de se verificar a discordância entre os pares de alternativas, isso porque se se considera que não ocorre  $bPa$ , para todos os critérios, então não pode haver discordância.

Em resumo, a sobreclassificação forte de  $a$  por  $b$  ( $aS^Fb$ ) é definida da seguinte forma:

$$NP(b,a) = 0 \quad (i)$$

$$NP(a,b) + 0,5*NQ(a,b) \geq 0,5*NQ(b,a) \quad (v)$$

Também pode ser escrita como:

$$NP(b,a) = 0 \quad (i)$$

$$SF(a,b) \geq SF(b,a) \quad (vi)$$

Devido à ambigüidade e à natureza imprecisa dos dados, quando  $SF(a,b) \geq SF(b,a)$  não necessariamente implicar dizer que a alternativa  $a$  é melhor que  $b$ . Essa conclusão requer que  $SF(a,b)$  seja substancialmente maior que  $SF(b,a)$ . Assim, sugere-se que a condição (vi) necessária para que uma alternativa  $a$  sobreclassifique fortemente uma alternativa  $b$  seja, agora, dada por:

$$SF(a,b) \geq \lambda^F * SF(b,a) \quad (vii)$$

em que  $\lambda^F$  é definido pelo decisor e deve variar entre  $1 \leq \lambda^F \leq N$ .

$aS^Fb$  ( $a$  sobreclassifica fortemente  $b$ ) se:

$$NP(b,a) = 0 \quad (i)$$

$$SF(a,b) > \lambda^F * SF(b,a), 1 \leq \lambda^F \leq N \quad (vii)$$

### 3.2 Sobreclassificação fraca – $aS_f b$

Diferente da relação de sobreclassificação forte, a relação de sobreclassificação fraca de  $a$  por  $b$  não precisa exigir que não ocorra  $bPa$  para todos os critérios. Assim, seguindo a mesma análise realizada para definir a relação de sobreclassificação forte, é preciso verificar os princípios de concordância e discordância.



Segundo o princípio de concordância, uma maioria dos critérios devem estar a favor da afirmação  $aSb$ . Então, as seguintes condições devem ser atendidas para ocorrer a sobreclassificação fraca de  $a$  por  $b$  ( $aS_f b$ ):

$$NP(a,b) + NQ(a,b) + NI(a,b) + 0,5*NQ(b,a) \geq N/2 \quad (\text{viii})$$

Considerando  $S'f(a,b) = NP(a,b) + NQ(a,b) + NI(a,b) + 0,5*NQ(b,a)$

$$S'f(a,b) \geq S'f(b,a) \quad (\text{ix})$$

Assim como na análise da relação de sobreclassificação forte, a relação (viii) verifica se o número de critérios a favor de  $a$  é maior que o número de critérios a favor de  $b$ . Assim:

$NP(a,b) + NQ(a,b) + NI(a,b) + 0,5*NQ(b,a) \geq NP(b,a) + NQ(b,a) + NI(a,b) + 0,5*NQ(a,b)$ , que é equivalente a:

$$NP(a,b) + 0,5 NQ(a,b) \geq NP(b,a) + 0,5*NQ(b,a) \quad (\text{x})$$

Sendo  $Sf(a,b) = NP(a,b) + 0,5 NQ(a,b)$  e  $Sf(b,a) = NP(b,a) + 0,5*NQ(b,a)$ , então:

$$Sf(a,b) \geq Sf(b,a) \quad (\text{xi})$$

É necessário apenas verificar a relação (xi) por esta ser mais restritiva que a (viii).

Assim como na relação de sobreclassificação forte, devido à ambigüidade e à natureza imprecisa dos dados, para que a alternativa  $a$  seja melhor que  $b$ ,  $Sf(a,b)$  deve ser substancialmente maior que  $Sf(b,a)$ . Assim, sugere-se que a condição (xi) necessária para que uma alternativa  $a$  sobreclassifique fracamente uma alternativa  $b$  seja, agora, dada por:

$$Sf(a,b) \geq \lambda_f * Sf(b,a) \quad (\text{xii})$$

em que  $\lambda_f$  é definido pelo decisor e deve variar entre  $1 \leq \lambda_f \leq \lambda^F$ .

Para estabelecer a relação de sobreclassificação fraca, é necessário verificar também o princípio da discordância. Para duas alternativas  $a$  e  $b$ , caso em apenas um critério, a diferença de avaliação de  $b$  por  $a$  for maior que o veto, então a sobreclassificação de  $a$  por  $b$  é invalidada. A discordância é verificada pela relação (xii), abaixo.

$$\forall j \in C, \quad g_j(b) - g_j(a) < v[g_j(a)], \quad \text{em que } C \text{ é o conjunto de critérios} \quad (\text{xii})$$

$aS_f b$  ( $a$  sobreclassifica fracamente  $b$ ) se:

$$Sf(a,b) > \lambda_f * Sf(b,a), \quad 1 \leq \lambda_f \leq \lambda^F \quad (\text{ix})$$

$$g_j(b) - g_j(a) < v[g_j(a)], \quad \forall j \in C \quad (\text{viii})$$

Com essa mudança, o decisor tem maior liberdade para definir um modelo mais restritivo ou não, por meio da definição dos limiares de sobreclassificação forte -  $\lambda^F$  e fraco -  $\lambda_f$ , estando ainda de acordo com os princípios de sobreclassificação.

Definidas as relações de sobreclassificação forte e fraca, a ordenação das atividades é encontrada por meio do processo de destilação do ELECTRE III. São definidas duas preordens que levam a uma ordem parcial.

Dentro dessa visão, o objetivo do ELECTRE IV-H é propor uma ordem parcial que servirá como guia para a ordenação final feita pelo decisor, o que naturalmente deve ser uma preordem completa.

#### 4. Estudo de Caso

A fim de ilustrar a aplicação do novo modelo, é apresentada a aplicação do ELECTRE IV-H para um problema de construção de subestações elétricas.

##### 4.1 Problema de gestão de projetos com o ELECTRE IV-H: construção de subestações

Neste item é apresentada uma simulação da aplicação do método ELECTRE IV-H ao problema de construção de subestações elétricas.

O estudo de caso refere-se ao processo de planejamento de construção de subestações elétricas, atendendo a múltiplos critérios, envolvendo prazos, custos e aspectos relacionados ao desempenho futuro da organização. O estudo envolve uma visão integrada dos empreendimentos da organização, no entanto, para fins de ilustração é apresentado apenas um empreendimento (Almeida, 2003; Miranda & Almeida, 2003; Almeida *et al.*, 2001; Miranda *et al.*, 2001).

Em geral, o processo de construção de uma subestação elétrica envolve a participação de vários departamentos, tais como o departamento de planejamento, o de operações, o de manutenção, o de automação, o de suprimentos, dentre outros. Esse processo pode, ainda, envolver a participação de outras organizações externas, como um contrato terceirizado para executar parte do empreendimento.

A estruturação do problema envolveu o levantamento dos macroprocessos do projeto, sendo realizado por meio de entrevistas com o gerente geral do projeto, permitindo construir uma estrutura com uma visão geral do empreendimento. Após esse primeiro levantamento, as relações entre os processos levantados foram revisadas com o apoio da equipe do projeto, envolvendo os departamentos de planejamento, de operações, de manutenção, de automação e de suprimentos.

Esse levantamento resultou nos seguintes macroprocessos básicos:

- Planejamento da subestação: no planejamento são considerados os aspectos da qualidade do fornecimento de energia, as exigências ambientais, o crescimento do mercado com a previsão de incremento de novos clientes, além de um plano específico de renovação de equipamentos e instalações, em função dos indicadores de qualidade de energia que se deseja assegurar.
- Projeto da subestação: consiste na elaboração de estudos, desenhos executivos, especificações técnicas, listas de materiais e equipamentos, planilha de custos e quantitativos, cronograma físico-financeiro e demais informações que viabilizam a correta execução da obra.
- Construção da subestação: trata-se do processo de execução das obras com base nos projetos executados na etapa anterior. Esta etapa pode ser realizada por terceiros, porém deve ser controlada, periodicamente, mediante a fiscalização da obediência ao projeto executivo e suas especificações, e no que se refere aos aspectos qualitativos, quantitativos e de segurança do pessoal e das instalações.

- Comissionamento da subestação: corresponde a etapa final da implantação do empreendimento, quando é verificado o cumprimento integral das especificações técnicas e dos projetos executivos na fase de construção. Ao mesmo tempo, esse processo possibilita que as equipes de operação e manutenção se estruturam adequadamente para realizar tais serviços, a partir do momento em que as instalações forem efetivamente energizadas.
- Suprimento da subestação: etapa responsável pela contratação de bens e serviços e pela gestão de materiais.

A definição desses processos permitiu a construção do diagrama do processo global da subestação, que serviu como base para identificação das atividades do projeto em estudo. Essas atividades estão apresentadas nas duas primeiras colunas da Tabela 2.

A programação das atividades foi determinada com apoio da ferramenta *Ms Project*, a partir do diagrama global dos processos básicos. Foram identificadas 36 atividades para representar o processo de construção de subestações elétricas. As durações médias e relações de precedência foram determinadas a partir da visão dos macroprocessos e mediante a aplicação da técnica PERT.

As estimativas de tempo baseadas na técnica PERT são obtidas por meio de entrevistas com membros da equipe do projeto, sendo definidos os três pontos da distribuição beta que representam, cada um, as estimativas Otimista, Mais Provável e Pessimista. Essas estimativas são baseadas na experiência do pessoal envolvido no projeto.

Os critérios de análise do problema de construção da subestação são apresentados na Tabela 1. Esses critérios foram definidos pelo gerente do projeto.

**Tabela 1** – Aspectos Críticos do Projeto SE.

<b>Crítérios</b>	<b>Descrição</b>	<b>Escala</b>
Folga	A folga das atividades é a margem permitida de atraso da atividade. Quanto menor, mais atenção requer a atividade.	Quantitativa
Mobilização de Recurso	Dificuldade na mobilização de recursos, isto é, de reunir e alocar os recursos necessários à execução da atividade. Quanto maior, mais atenção requer a atividade.	Qualitativa crescente (1;3;5;7;9)
Desvio Padrão	Representa variância das atividades. Quanto maior a variância, maior atenção no gerenciamento, pois significa que há menos informações sobre as atividades.	Quantitativa
Custo	Custo total de execução das atividades. Quanto maior o custo, maior a atenção no gerenciamento.	Quantitativa
Grau de Impacto	O grau de impacto no comissionamento representa a possibilidade de a atividade apresentar seus problemas na fase de comissionamento. Quanto maior o valor, maior o impacto.	Qualitativa crescente (1;3;5;7;9)

As avaliações de cada um dos critérios para cada uma das atividades são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2** – Avaliação das atividades para cada uma dos critérios do projeto – SE.

Atividade	Desvio Padrão	Folga	Custo	Mobilização de Recurso	Impacto no Comissionamento
<b>A1 Início</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>A2 Projeto da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A3 Relação de compras	3,333	129,9	572	3	1
A4 Escolha do terreno	7,767	22,73	1144	3	1
A5 Projeto básico	4,433	21	5720	1	1
A6 Aquisição do terreno (negociação)	3,067	52,97	1144	3	1
A7 Projeto Executivo Telecomunicação	2,233	22,73	11440	3	7
A8 Projeto executivo civil	3,333	26,1	11440	3	1
A9 Projeto executivo eletromecânico	3,333	23,83	11440	3	7
A10 Projeto executivo MPCC	6,1	21	11440	5	9
A11 Especificação de contrato de serviço	2,767	21	1144	3	7
<b>A12 Suprimento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A13 Aquisição do componente	6,1	129,9	114.405	7	5
A14 Formalização da aquisição do terreno	16,67	52,97	114.405	1	1
A15 Contratação da construção	4,433	21	114.405	7	1
<b>A16 Construção da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A17 Terraplanagem	2,233	21	57202	3	1
A18 Instalação da Malha de terra	2,2	29,9	57202	7	3
<b>A19 Fim (terraple e malha terr)</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A20 Bases	2,767	43,77	57202	3	1
A21 Casa de comando	3,9	36,57	114405	3	1
A22 Via de acesso	6,1	56,37	34321	1	1
A23 Canaletas	3,867	21	11440	1	3
A24 Equipamentos	3,9	41,57	993032	7	9
A25 Montagem do MPCC	7,233	21	302028	9	9
A26 Barramentos	5	59,1	91524	3	3
<b>A27 Comissionamento da subestação</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A28 Comissionamento Malha de terra	0,5	92,83	22881	1	1
A29 Comissionamento de equipamentos	1,167	41,57	22881	3	1
A30 Comissionamento do MPCC	0,833	21	22881	7	1
A31 Comissionamento final	0,667	21	22881	7	1
<b>A32 Fim -</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

#### 4.1.1 Aplicação do Método ELECTRE IV-H

Inicialmente o método ELECTRE IV-H pode ser utilizado para se ter uma visão geral das atividades mais críticas do empreendimento. As atividades são ordenadas da mais crítica para a menos crítica. Em outras palavras, a aplicação do método ELECTRE IV-H permitirá ordenar as atividades do projeto em função da sua necessidade de maior atenção gerencial, isto é, as atividades posicionadas nas primeiras posições merecem uma atenção especial, podendo ser mais detalhadas as tarefas que compõem essas atividades. Assim, nessa etapa, é interessante que o modelo seja aplicado momento antes de se iniciar a execução das atividades, para que se possam avaliar quais atividades devem ter seu processo de gerenciamento diferenciado.

Em outra etapa, o método ELECTRE IV-H deve ser aplicado periodicamente com o objetivo de ordenar as atividades do plano de empreendimentos da organização e para considerar as variações nos desempenhos das atividades durante o ciclo de vida dos projetos.

Estabelecidos os aspectos críticos da construção de subestações, e determinado os valores de cada uma das atividades nos respectivos critérios, o método ELECTRE IV-H pode ser aplicado na etapa inicial do processo de gestão.

O decisor precisa definir os parâmetros do modelo, que são os limiares de preferência  $p[g_j(a)]$ , indiferença  $q[g_j(a)]$  e de sobreclassificação  $\lambda F$  e  $\lambda f$ .

A Tabela 3 apresenta os valores dos limiares de preferência  $p[g_j(a)]$ , indiferença  $q[g_j(a)]$  e de veto. O limiar de veto é igual a duas vezes o limiar de preferência.

**Tabela 3** – Limiares de preferência e indiferença.

Critério	Desvio Padrão	Folga	Custo	Mobilização de Recurso	Impacto no Comissionamento
$q[g_j(a)]$	$0,1 * g_j(a)$	$0,1 * g_j(a)$	$0,1 * g_j(a)$	1	1
$P[g_j(a)]$	$0,1 * g_j(a)$	$0,1 * g_j(a)$	$0,1 * g_j(a)$	3	3

No caso dos critérios qualitativos (mobilização de recursos e impacto no comissionamento), o decisor poderia definir uma tabela com as atividades consideradas indiferentes e preferíveis. No entanto, é apresentado um valor fixo a fim de simplificar a aplicação.

Como análise inicial, foram estabelecidos os valores,  $\lambda F = \lambda f = 2$ , no entanto o gerente está livre para variar esses índices e analisar os resultados. Definidos os valores dos parâmetros passa-se a etapa de investigação em que é efetuada a ordenação das atividades críticas.

As Tabelas A3 e A4 do anexo apresentam as alternativas sobreclassificadas fortemente e fracamente, respectivamente.

Pela relação de sobreclassificação forte, a alternativa com a maior qualificação é a A25 (Montagem do MPCC), com qualificação 22. Percebe-se também que essa alternativa não foi sobreclassificada por nenhuma outra, pois sua fraqueza é 0. Isso mostra que essa alternativa é realmente crítica e merece uma atenção especial no gerenciamento de sua execução. Retirando-se essa alternativa do processo, a segunda colocada é a alternativa A15 (Contratação da construção) e, logo em seguida encontra-se a alternativa A10 (Projeto executivo MPCC), como terceira colocada. A quarta posição é formada pelas alternativas A9

(Projeto executivo eletromecânico), A14 (Formalização da aquisição do terreno), A17 (Terraplanagem) e A24 (Equipamentos). Essa equivalência não se desfez pela análise da relação de sobreclassificação fraca. Em resumo, a ordenação descendente para  $\lambda F = \lambda f = 2$ , pode ser visualizada na Tabela 4.

**Tabela 4** – Ordenação descendente  $\lambda F = \lambda f = 2$ .

Posição	Nome da Alternativa
1º-	A25 - Montagem do MPCC
2º-	A15 - Contratação construção SE
3º-	A10 - Projeto executivo MPCC
4º-	A9 - Projeto executivo eletromecânico A14 - Formalização da aquisição do terreno A17 - Terraplanagem A24 - Equipamentos
5º-	A20 - Bases
6º-	A21 - Casa de comando
7º-	A23 - Canaletas A26 - Barramentos
8º-	A22 - Via de acesso
9º-	A18 - Instalação da Malha de terra
10º-	A4 - Escolha do terreno A5 - Projeto básico A8 - Projeto executivo civil A30 - Comissionamento do MPCC
11º-	A7 - Projeto Executivo Telecomunicação
12º-	A11 - Especificação de contrato de serviço A13 - Aquisição dos componentes SE A29 - Comissionamento de equipamentos A31 - Comissionamento SE
13º-	A6 - Aquisição do terreno (negociação)
14º-	A3 - Relação de compras A28 - Comissionamento Malha de terra

A ordenação ascendente apresentou um resultado um pouco diferente. Esse resultado pode ser visualizado na Tabela 5. As atividades A14 (Formalização da aquisição do terreno), A24 (Equipamentos) e A25 (Montagem do MPCC) foram colocadas na primeira posição, estando as três, consideradas equivalentes para esta ordenação. Em seguida, têm-se as atividades: A4 (Escolha do terreno), A13 (Aquisição dos componentes) e A15 (Contratação da construção). As atividades A4 e A13 foram posicionadas no 10º e no 13º lugar, respectivamente, na ordenação descendente. Essas duas atividades são sobreclassificadas fortemente apenas pela atividade A25. A atividade A4 sobreclassifica fortemente duas atividades, e a atividade A13 sobreclassifica apenas uma atividade. Assim, essas atividades foram posicionadas diferentemente nas duas ordenações, por haver poucas relações de sobreclassificação entre essas atividades e as outras.

**Tabela 5** – Ordenação ascendente  $\lambda F = \lambda f = 2$ .

Posição	Nome da Atividade
1°-	A14 Formalização da aquisição do terreno A24 Equipamentos A25 Montagem do MPCC
2°-	A4 Escolha do terreno A13 Aquisição dos componentes SE A15 Contratação construção SE
3°-	A10 Projeto executivo MPCC
4°-	A9 Projeto executivo eletromecânico A17 Terraplanagem A26 Barramentos
5°-	A7 Projeto Executivo Telecomunicação A22 Via de acesso A30 Comissionamento do MPCC
6°-	A21 Casa de comando
7°-	A18 Instalação da Malha de terra A23 Canaletas
8°-	A5 Projeto básico A11 Especificação de contrato de serviço A31 Comissionamento SE
9°-	A8 Projeto executivo civil
10°-	A20 Bases
11°-	A29 Comissionamento de equipamentos
12°-	A28 Comissionamento Malha de terra
13°-	A6 Aquisição do terreno (negociação)
14°-	A3 Relação de compras

Como resultado final tem-se uma preordem parcial, com a presença de incomparabilidade entre as atividades, como no caso das atividades A14 e A24 que são incomparáveis a A10 e A15; A26 que está melhor colocada que A22, mas ambas são incomparáveis a A2, entre outros casos. Essa incomparabilidade é percebida quando as alternativas não são capazes de sobreclassificar outras e são sobreclassificadas por poucas. Apesar das incomparabilidades, o decisor deve ser capaz de definir uma ordenação final para as primeiras colocadas. Em outros métodos multicritério (modelagem tradicional) a incomparabilidade é tratada como indiferença.

#### 4.1.2 Análise de sensibilidade

Para verificar o comportamento do modelo, procurou-se variar o valor do limiar de sobreclassificação fraco para verificar se algumas equivalências formadas nas ordenações anteriores poderiam ser desmanchadas.

Variando  $\lambda f$  de 2 para 1, temos a seguinte ordenação descendente (Tabela 6):

**Tabela 6** – Ordenação decendente  $\lambda F = 2$  e  $\lambda f = 1$ .

Posição	Nome da Alternativa
1º-	A25 - Montagem do MPCC
2º-	A15 - Contratação construção SE
3º-	A10 - Projeto executivo MPCC
4º-	A9 - Projeto executivo eletromecânico A14 - Formalização da aquisição do terreno A17 - Terraplenagem A24 - Equipamentos
5º-	A20 - Bases
6º-	A21 - Casa de comando
7º-	A23 - Canaletas A26 - Barramentos
8º-	A22 - Via de acesso
9º-	A18 - Instalação da Malha de terra
10º-	A4 - Escolha do terreno A5 - Projeto básico A8 - Projeto executivo civil A30 - Comissionamento do MPCC
11º-	A7 - Projeto Executivo Telecomunicação
12º-	A31 - Comissionamento SE
13º-	A11 - Especificação de contrato de serviço A13 - Aquisição dos componentes SE A29 - Comissionamento de equipamentos
14º-	A6 - Aquisição do terreno (negociação)
15º-	A3 - Relação de compras A28 - Comissionamento Malha de terra

Para um valor menos exigente do limiar de sobreclassificação fraco, apenas a atividade A31 foi diferenciada das atividades A11, A13 e A29, na ordenação decendente.

Para a ordenação ascendente, variando  $\lambda f$  de 2 para 1, temos as seguintes diferenças nas equivalências (Tabela 7):

**Tabela 7** – Ordenação ascendente  $\lambda F = 2$  e  $\lambda f = 1$ .

Posição	Nome da Atividade
1º-	A14 Formalização da aquisição do terreno A24 Equipamentos A25 Montagem do MPCC
2º-	A4 Escolha do terreno
3º-	A13 Aquisição dos componentes SE A15 Contratação construção SE
4º-	A10 Projeto executivo MPCC
5º-	A9 Projeto executivo eletromecânico A17 Terraplenagem A26 Barramentos



6º-	A30	Comissionamento do MPCC
7º-	A7	Projeto Executivo Telecomunicação
	A22	Via de acesso
8º-	A21	Casa de comando
9º-	A18	Instalação da Malha de terra
10º-	A23	Canaletas
11º-	A11	Especificação de contrato de serviço
12º-	A5	Projeto básico
	A31	Comissionamento SE
13º-	A8	Projeto executivo civil
14º-	A20	Bases
15º-	A29	Comissionamento de equipamentos
16º-	A28	Comissionamento Malha de terra
17º-	A6	Aquisição do terreno (negociação)
18º-	A3	Relação de compras

Para um valor menos exigente do limiar de sobreclassificação fraco, na ordenação ascendente, a atividade A4 se diferenciou das atividades A13 e A15, a A30 não ficou mais equivalente a A7 e A22. As atividades A18 e A23 também não ficaram equivalentes e por fim, A11 se diferenciou de A5 e A31.

A análise do problema de gestão para o problema de construção de subestações com o uso do método ELECTRE IV-H mostrou-se coerente com os resultados esperados. Conclui-se que, as duas ordenações estabelecidas pelo novo método provêm mais informações ao decisor, permitindo identificar as atividades de difícil comparação e analisar melhor o problema pela variação dos limiares, relaxando ou restringindo a relação de sobreclassificação fraca.

Nesse caso, cabe ao decisor uma análise final para escolher as atividades que devem ser gerenciadas com mais atenção, definindo um limite de atividades consideradas mais críticas. Isso é necessário porque o resultado do problema é uma ordenação das atividades em função da sua criticidade e não uma seleção das atividades mais críticas.

## 5. Conclusão

Neste trabalho, foi apresentado um modelo multicritério para tratar o problema de priorização de atividades em projetos por meio da análise dos fatores considerados críticos, numa visão integrada dos empreendimentos. A literatura, por sua vez, apresenta relativamente poucos estudos relacionados ao uso de uma abordagem multicritério para o tratamento da gestão de projetos. Muitos estudos relatam experiências vividas por equipes de projetos relacionados, basicamente, ao contexto de energia elétrica e de construção civil. De uma maneira geral, esses estudos ressaltam as mesmas questões: a necessidade de educação em gestão de projetos e de integração da equipe, permitindo uma boa comunicação entre os membros.

Os aspectos críticos do projeto variam de projeto para projeto e devem ser avaliados de forma a identificar as atividades que apresentam maior chance de falhar, sendo essas as atividades realmente críticas. Devido ao longo período de vida dos projetos, as incertezas aumentam e, conseqüentemente, as falhas tendem a ocorrer com maior freqüência. Dessa forma, o monitoramento, por meio da identificação das atividades críticas, e replanejamentos necessários durante a execução dos projetos podem contribuir de forma mais realista para o tratamento da incerteza na gestão de projetos.

O método multicritério ELECTRE IV-H foi desenvolvido para tratar este problema de priorização de atividades em projetos, onde se considera a dificuldade dos gerentes em se estabelecer os pesos dos critérios.

Recentemente, as aplicações de modelos multicritério têm relatado essa dificuldade de estabelecimento da importância relativa entre critérios, o que resultou em vários estudos dedicados ao tema (Dias & Clímaco, 1999; Dias *et al.*, 2002; Jacquet-Lagrece & Siskos, 2001; Mousseau & Dias, 2004).

O método ELECTRE IV-H foi aplicado ao problema de construção de subestações elétricas, envolvendo, no processo de decisão, vários departamentos da organização. O resultado da aplicação de tal método mostrou-se coerente e permitiu analisar de forma mais criteriosa o processo de gestão de empreendimentos.

O modelo desenvolvido para o planejamento e gestão de empreendimentos requer envolvimento de toda a equipe do projeto e uma integração dos órgãos da empresa. A aplicação do modelo consome tempo e energia da equipe e requerem uma grande dedicação para atualização das informações e realização das constantes avaliações. Nesse sentido, o desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão e sistemas de integração para facilitar a comunicação entre as equipes é fundamental para aplicação do modelo proposto.

O método ELECTRE IV-H pode ser adaptado para aplicação noutros contextos, sendo destinado a problemas de ordenação com informação parcial, com o objetivo de aumentar a interação do decisor na construção e exploração das relações de sobreclassificação.

### **Agradecimentos**

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio do CNPq.

### **Referências Bibliográficas**

- (1) Almeida, A.T. de; Santos, R.B. & Miranda, C.M.G. de (2001). Choices In Project Management Based On Multicriteria Aid. **In:** *INFORMS International Conference*, Hawaii.
- (2) Almeida, A.T. de (2003). Processo de Planejamento e Gestão de Empreendimentos com Avaliação Multicritério. Relatório do Projeto RHAE/CNPq.
- (3) Almeida, A.T. de (2005). Modelagem Multicritério para Seleção de Intervalos de Manutenção Preventiva Baseada na Teoria da Utilidade Multiatributo. *Pesquisa Operacional*, **25**(1), 69-81.
- (4) Almeida, A.T. & Costa, A.P.C.S. (2003). *Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. Livro Organizado, Ed. Universitária, Recife, v.XIV.
- (5) Belton, V. & Stewart, J. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis – an Integrated Approach*. Kluwer Academic Publishers, London.
- (6) Clímaco, J.N.; Antunes, C.H. & Alves, M.J.G. (2003). *Programação Linear Multiobjetivo: do modelo de programação linear multiobjetivo à consideração explícita de várias funções objetivo*. Imprensa da Universidade de Coimbra.
- (7) Dias, L.C. & Clímaco, J.N. (1999). On computing ELECTRE's credibility indices under partial information. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, **8**(2), 74-92.
- (8) Dias, L.C. & Clímaco, J.N. (2000). Additive aggregation with variable interdependent parameters: the VIP analysis software. *Journal of the Operational Research Society*, **51**, 1070-1082.

- (9) Dias, L.C.; Mousseau, V.; Figueira, J. & Clímaco, J. (2002). An aggregation/disaggregation approach to obtain robust conclusions with ELECTRE TRI. *European Journal of Operational Research*, **138**(2), 332-348.
- (10) Gomes, L.F.A.M.; Gomes, C.F.S. & Almeida, A.T. de (2002). *Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério*. Atlas, São Paulo.
- (11) Hugonnard, J. & Roy, B. (1984). Ranking of suburban line extension projects for the Paris metro system by multicriteria method. *Transportation Research*, **16**, 301-312.
- (12) Jacquet-Lagrez, E. & Siskos, Y. (2001). Preference disaggregation, 20 years of MCDA experience. *European Journal of Operational Research*, **130**(2), 233-245.
- (13) Jüngen, F.J. & Kowalczyk, W. (1995). An Intelligent interactive Project Management Support System. *European Journal of Operations Research*, **84**(1), 60-81.
- (14) Keeney, R.L. & Raiffa, H. (1976). *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. John Wiley & Sons.
- (15) Maylor, H. (2002). *Project Management*. Paperback, July.
- (16) Miranda, C.M. & Almeida, A.T. (2003). Gestão de Empreendimentos de Construção Civil com Avaliação Multicritério. In: *Qualidade e Inovação em Serviços: Contribuições da Engenharia de Produção*. Universitária, Recife, 23-43.
- (17) Miranda, C.M. (2005). Modelagem multicritério em gerenciamento de projetos. Recife, 2005. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção.
- (18) Miranda, C.M.; Ferreira, R.J.; Gusmão, A.P. & Almeida, A.T. de (2004a). Sistema de apoio a decisão para seleção de atividades críticas no gerenciamento de projetos com avaliação multicritério. *Revista Produção on-line*, 1-8.
- (19) Miranda, C.M.; Alencar, L.H. & Almeida, A.T. de (2004b). Project management based on multicriteria evaluation – selection of critical activities. *Review of Business Research, Washington*, **01**, 01-11.
- (20) Miranda, C.M. & Almeida, A.T. de (2002). Seleção de Atividades Críticas em Projetos com Avaliação Multicritério. *XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, 1-14.
- (21) Mousseau, V. & Slowinski, R. (1998). Inferring an ELECTRE TRI Model from Assignment Examples. *Journal of Global Optimisation*, **12**, 157-174.
- (22) Mousseau, V. & Dias, L. (2004). Valued outranking relations in ELECTRE providing manageable disaggregation procedures. *European Journal of Operational Research*, **156**, 467-482.
- (23) Roy, B. (1978). ELECTRE III: Algorithme de Classement Basé Sur Une Représentation Floue Des Préférences en Présence de Critères Multiples. *Cahiers du CERO*, **20**(1), 3-24. *Apud* Vincke (1992).
- (24) Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology Goes Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers.
- (25) Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- (26) Vincke, P. (1992). *Multicriteria decision-aid*. Wiley, Bruxelles.

ANEXO

Tabela A3 – Alternativas sobreclassificadas fortemente para  $\lambda F = 2$ .

Alternativas	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A13	A14	A15	A17	A18	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A28	A29	A30	A31	
Alternativas fortemente sobreclassificadas por a alternativa A4 é sobreclassificada pela alternativa A25. Por exemplo:	A4			A4																						
	A5			A5																						
	A6																									
	A7									A7																
	A8				A8																					
	A9			A9	A9	A9			A9										A9							
	A10		A10	A10	A10	A10	A10		A10										A10							
	A11				A11																					
	A13																									
	A14				A14											A14		A14					A14	A14		
	A15		A15	A15	A15	A15								A15	A15	A15	A15		A15			A15	A15	A15	A15	A15
	A17														A17	A17							A17	A17	A17	A17
	A18																							A18	A18	
	A20				A20																			A20	A20	
	A21				A21										A21	A21								A21	A21	
	A22				A22																			A22		
	A23			A23	A23		A23																			
	A24				A24											A24	A24							A24	A24	
	A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25		A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25			A25	A25	A25	A25	A25
	A26				A26														A26					A26		
																								A29		
																								A30		A30
																								A31		
	Força – Q+	0	2	2	1	1	2	6	8	2	1	6	14	6	2	4	6	3	4	6	22	4	0	1	2	1
	Fraqueza – Q-	17	1	4	15	3	5	2	1	4	1	0	1	2	4	6	3	3	4	0	0	2	13	8	3	4
	Qualificação	-17	1	-2	-14	-2	-3	4	7	-2	0	6	13	4	-2	-2	3	0	0	6	22	2	-13	-7	-1	-3

Tabela A4 – Alternativas sobreclassificadas fracamente  $\lambda f = 2$ .

Alternativas	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A13	A14	A15	A17	A18	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A28	A29	A30	A31	
Alternativas fracamente sobreclassificadas por a alternativa A3 é sobreclassificada pelas alternativas listadas na coluna (A4, A5, ..., A25 e A26)	A4			A4																						
	A5			A5																						
	A6																									
	A7		A7	A7						A7														A7	A7	
	A8				A8																			A8	A8	
	A9		A9	A9	A9	A9			A9											A9				A9	A9	
	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10		A10											A10				A10	A10	A10
	A11				A11																					
	A13																							A13		
	A14				A14											A14		A14					A14	A14		
	A15		A15	A15	A15	A15			A15					A15	A15	A15	A15	A15	A15			A15	A15	A15	A15	A15
	A17				A17										A17	A17								A17	A17	A17
	A18				A18																			A18	A18	A18
	A20				A20																			A20	A20	
	A21				A21										A21	A21		A21						A21	A21	
	A22				A22																			A22		
	A23			A23	A23		A23																	A23		
	A24				A24							A24			A24	A24	A24	A24					A24	A24	A24	
	A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25		A25	A25	A25	A25	A25	A25	A25			A25	A25	A25	A25	A25
	A26				A26											A26	A26							A26	A26	
																								A29		
																								A30		A30
																								A31		
	Força – Q+	0	2	2	1	6	4	9	13	2	2	6	16	8	6	4	7	3	5	10	22	6	0	1	2	1
	Fraqueza – Q-	20	2	6	18	3	5	2	1	5	2	0	1	2	5	7	3	6	4	0	0	3	19	13	5	6
	Qualificação	-20	0	-4	-17	3	-1	7	12	-3	0	6	15	6	1	-3	4	-3	1	10	22	3	-19	-12	-3	-5

## ANEXO

**A1. Aplicação do ELECTRE IV e ELECTRE IV-H para o problema de planejamento urbano.**

O problema apresentado por Roy & Hugonnard (1984) consiste em ranquear (ordenar) 12 possíveis extensões do sistema de metrô de Paris. A Tabela A3 apresenta as possíveis alternativas e os seis critérios de avaliação do problema. Dois dos critérios considerados, G5 e G6, são puramente qualitativos, de tal forma que o valor das alternativas nesses critérios representa o número na ordenação de 1 a 12, em ordem decrescente de interesse das alternativas. Os limiares de preferência e indiferença considerados também estão apresentados na Tabela A4. O limiar de veto é igual a duas vezes o limiar de preferência.

**Tabela A3** – Valores das alternativas para cada uma dos critérios de avaliação.

Alt/crit	G1 População (por Km)	G2 Tráfego diário (por Km)	G3 Custo (por Km)	G4 Taxa de retorno	G5 Org. sistema de trânsito	G6 Efeito na urbanização
1	82900	26500	270	8,7	1	1
4	32800	11600	180	6,4	9	9
5	12500	7100	110	4,6	2	2
7N	33100	11500	140	14,1	3	7
7s	24000	11200	160	12	8	5
8	17100	4000	40	11,8	12	3
9	14200	3700	130	3,9	7	10
10	29200	7500	120	6	11	12
11	24600	7200	160	3,7	10	11
13b	37650	10400	130	12,2	3	8
13N	17400	4600	170	3,7	5	6
13s	14100	3000	90	5,8	6	4

Fonte: Roy &amp; Hugonnard (1984)

**Tabela A4** – Limiares de preferência e indiferença.

Critério	g1	g2	g3	g4	g5	g6
q (g(a))	0.10*g1(a)	0.15*g2(a)	0.10*g2(a)	1	tab	tab
p (g(a))	0.25*g1(a)	0.30*g2(a)	0.25*g2(a)	2.5	3	3

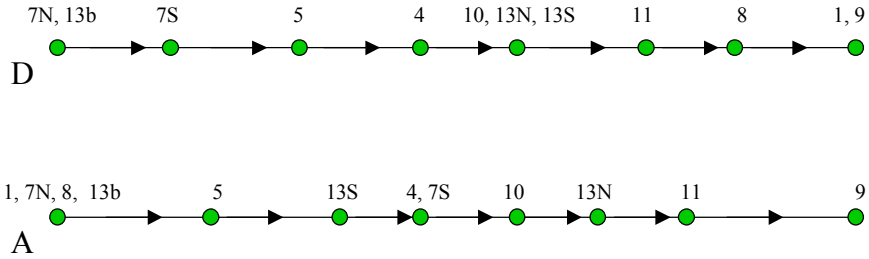
Tabela de Indiferença

Para **g5** (1,2,3);(5,6,7);(8,9,10);(11,12)Para **g6** (1,2,3);(4, 5,6);(7, 8,9);(10,11,12)

Fonte: Roy &amp; Hugonnard (1984)

**A1.1. Resultado da aplicação com o ELECTRE IV**

A aplicação do ELECTRE IV resultou nas duas preordens que podem ser visualizadas na Figura A2.



**Figura A2** – Resultado das destilações descendente D, e ascendente A, para o ELECTRE IV.

**A1.2. Resultado da aplicação com o ELECTRE IV-H**

Para a aplicação do novo modelo e cálculo das relações de sobreclassificação os limiares  $\lambda_F$  e  $\lambda_f$  foram como definidos inicialmente como  $\lambda_F = \lambda_f = 1,5$ . Pela definição do modelo  $\lambda_F$  deve ser maior que 1 e menor que o número de critérios, isto é, menor que 6 e  $\lambda_f$  deve ser menor ou igual a  $\lambda_F$ . As Tabelas A5 e A6 apresentam as relações de sobreclassificação forte e fraca.

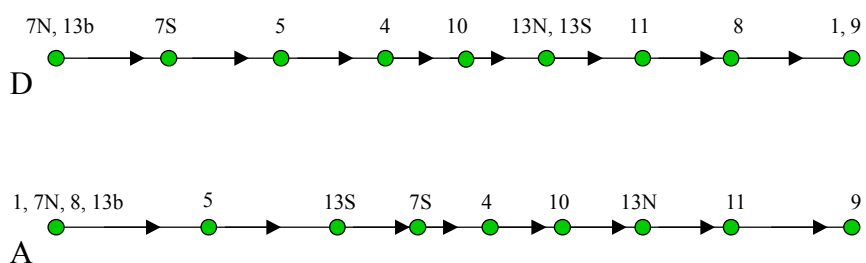
O resultado da aplicação do ELECTRE IV-H para  $\lambda_F$  e  $\lambda_f = 1,5$ , na destilação descendente, não considerou uma equivalência entre a alternativa 10 e as alternativas 13N e 13s, como no caso do ELECTRE IV (ver Figura A2). Já na destilação ascendente, não foi verificada equivalência entre as alternativas 4 e 7s, ficando a alternativa 7s em posição prioritária em relação à 4. O resultado das duas preordens do ELECTRE IV-H pode ser visualizado na Figura A3.

**Tabela A5** – Alternativas sobreclassificadas fortemente e qualificação inicial -  $\lambda_F = 1,5$ .

Alternativas	1	4	5	7N	7s	8	9	10	11	13b	13N	13s
		11	9	4	9			11	9	4	9	9
			13s	7S	11					7s		
Alternativas				9	13N						9	
Sobreclassificadas				10							10	
Fortemente				11							11	
				13N							13N	
$Q^+$	0	1	2	6	3	0	0	1	1	6	1	1
$Q^-$	0	2	0	0	2	0	7	2	5	0	3	1
$Q = Q^+ - Q^-$	0	-1	2	6	1	0	-7	-1	-4	6	-2	0

**Tabela A6** – Alternativas sobreclassificadas fracamente para  $\lambda f = 1,5$ .

Alternativas	1	4	5	7N	7s	8	9	10	11	13b	13N	13s
	4	9	9	4	4	9		11	9	4	9	9
		10	11	5	9	13s		13N		5		11
Alternativas		11	13N	7S	10					7s		
Sobreclassificadas		13N	13s	9	11					9		
Fracamente				10	13N					10		
				11						11		
				13N						13N		
										13s		



**Figura A3** – Resultado das destilações descendente D, e ascendente A, para o ELECTRE IV-H.

O resultado final será uma preordem parcial, com a presença de incomparabilidade entre as alternativas, como é o caso das alternativas 1 e 8.