ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Método Multicritério ELECTRE III para ordenação de métodos de compressão de projeto

ELECTRE III multi-criteria method for sorting project compression methods

Andreia Cardoso Alves

Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | andreiacardoso_eng@hotmail.com

Vanessa Ribeiro Campos

Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | vanessa.campos@ufc.br

Resumo

O trabalho está relacionado com um problema de ordenação de quatro métodos de compressão de projetos, a saber: *fast tracking*, superlotação, horas extras e *shift work*. O uso destes métodos visa reduzir o prazo de projetos da construção civil ou recuperar prazo de projetos que apresentem atraso. Esta pesquisa utiliza o caso real de uma subestação coletora de energia 34,5/230kV e busca apresentar uma ordenação do melhor para o pior método de compressão de projetos, tendo em vista as preferências de um decisor. Os quatro métodos foram avaliados à luz dos critérios de produtividade, custo, segurança do trabalho e qualidade. A pesquisa foi desenvolvida com apoio do método multicritério ELECTRE III. Os resultados demonstraram que a técnica *fast tracking* foi a que apresentou melhor posicionamento, na ordenação, dentre o conjunto de técnicas analisadas. Superlotação e *shift work* ocuparam a segunda posição. O emprego de horas extras, por sua vez, assumiu a última posição na ordenação; sendo, por conseguinte, a alternativa com menor capacidade de responder de forma efetiva aos critérios analisados.

Palavras-chave: Compressão de projetos. ELECTRE III. Ordenação.

Abstract

The work is related to a problem of ordering four project compression methods, namely: fast tracking, overcrowding, overtime and shift work. The use of these methods aims to reduce the deadline for civil construction projects or recover the deadline for projects that are delayed. This research uses the real case of a 34.5/230kV Energy Collecting Substation and seeks to present an order from the best to the worst project compression method, taking into account the

Como citar:

ALVES, A.C; CAMPOS, V.R. Método Multicritério ELECTRE III para ordenação de métodos de compressão de projeto In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

preferences of a decision maker. The four methods were evaluated according to productivity, cost, work safety and quality criteria. The research was developed with the support of the ELECTRE III multi-criteria method. The results demonstrated that the fast tracking technique was the one that presented the best positioning, in ordering, among the set of techniques analyzed. Overcrowding and shift work came in second place. The use of overtime, on the other hand, took the last position in the order; being, therefore, the alternative with the least capacity to respond effectively to the analyzed criteria.

Keywords: Project compression. ELECTRE III. Ordination.

INTRODUÇÃO

Nos projetos de construção, a compressão ou aceleração de cronogramas é um problema comum para empreiteiros especializados. A necessidade de acelerar cronograma é, muitas vezes, o resultado de um início tardio, atrasos e/ou trabalho adicional [1]. Nesse sentido, a fim de reduzir durações, recuperar atrasos e manter o *deadline* do projeto, os empreiteiros costumam empregar técnicas de compressão de projetos [1]. As mais comumente utilizadas são: *shift work*, superlotação, horas extras e *fast tracking* [1][2].

O *shift work* consiste na implementação de turnos de trabalho a serem realizados por novas equipes [3]. Esta técnica é tida como eficaz na redução da duração do projeto, uma vez que gera a duplicação da quantidade de horas de trabalho semanal [3]. Além disso, ela tem a vantagem de não provocar ineficiências por fadiga física (como no caso do uso de horas extras) e nem problemas de congestionamento do espaço físico (como no caso da superlotação) [3]. Contudo, o *shift work* exibe desvantagens relacionadas à custos adicionais, uma vez que a introdução de um segundo turno de trabalho implica em gastos com pessoal administrativo adicional, supervisão, controle de qualidade, segurança e iluminação [4]. Isto corrobora para que um custo total do projeto superior ao custo de uma operação normal [4].

As horas extras são definidas como o trabalho realizado acima da jornada normal diária prevista em legislação [1]. Esta técnica costuma ser uma das primeiras escolhas dos empreiteiros para comprimir cronograma de projetos [1]. Isto ocorre em razão dos problemas de coordenação oriundos do *shift work* e dos custos provenientes da contratação de mais trabalhadores (superlotação) [1]. Entretanto, a utilização de horas extras pode introduzir problemas como fadiga, baixa moral dos colaboradores e custo mais alto por funcionário [1]. Adicionalmente, existe uma perda de performance produtiva de cerca de 1% para cada hora adicionada a uma jornada semanal de 40 horas [5].

A superlotação, por sua vez, é uma técnica que envolve a alocação de recursos extras para uma atividade com vistas a reduzir sua duração [6][7]. A desvantagem desta técnica, segundo [6], é perda de produtividade, quando há restrições de espaço físico.

Outro método de aceleração é o *fast tracking*. Trata-se de uma técnica fundamentada no paralelismo ou sobreposição entre atividades, em substituição ao tradicional sequenciamento das tarefas [2]. O método é utilizado em projetos com muitas atividades; como, por exemplo, edifícios e rodovias [2]. O inconveniente desta técnica, consoante pesquisa de [8], é a compreensão exígua acerca da sobreposição das

atividades. Os autores [8] sublinham a importância de estudos das características das tarefas, de modo a alcançar êxito na sobreposição.

Nesse contexto, percebe-se que os quatro métodos apresentam elementos favoráveis e desfavoráveis à sua aplicação e que o processo de escolha de um deles, em detrimento dos demais, não é uma tarefa fácil para um gerente de projetos. Uma decisão mal tomada pode, por exemplo, engendrar sérios impactos de custo, prazo, segurança e qualidade para um projeto. Assim, as organizações precisam se munir de instrumentos que facilitem o processo decisório e que lancem luz sobre as técnicas mais adequadas e eficazes para um determinado cenário. As técnicas e metodologias envolvendo a área de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) surgem, nesse panorama, como uma forma de auxiliar os decisores e mostrarem possíveis caminhos a serem seguidos.

Do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma ordenação de métodos de aceleração de projetos para o caso real de uma Subestação Coletora de Energia 34,5/230kV. O projeto, em questão, apresentava um cronograma contratual com duração total prevista de 8 meses. Contudo, no 4º mês, foi verificado atraso de 26%, em razão de aquisições não tempestivas de insumos e equipamentos.

Dessa forma, a fim de recuperar o prazo e manter o *deadline* do empreendimento, pretende-se ordenar quatro métodos de compressão de projetos (horas extras, *shift work*, superlotação e *fast tracking*), à luz dos critérios produtividade, custo, qualidade e segurança do trabalho. Salienta-se, ainda, que a pesquisa fará uso do método multicritério ELECTRE III. A escolha deste método está associada à sua capacidade de trabalhar com problemas de ordenação e com situações de imprecisão ou incerteza.

REFERENCIAL TEÓRICO

Fundamentos dos métodos ELECTRE

A família ELECTRE é constituída de métodos de sobreclassificação que tem como mecanismo básico as comparações binárias entre alternativas, critério a critério [9]. Os métodos de sobreclassificação apoiam-se na construção de uma relação de sobreclassificação que incorpora as preferências de um decisor diante dos problemas e das alternativas disponíveis [10].

A sigla ELECTRE significa “eliminação e escolha como expressão da realidade” (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) [9]. Seus métodos pertencem à área de Auxílio Multicritério à Tomada de Decisão (AMD) e foram desenvolvidos inicialmente, na década de 1960, por Bernard Roy [11]. Na ocasião de sua primeira aplicação, o método foi batizado como ELECTRE I e destinava-se à problemas de escolha da(s) melhor(es) ação(ões) dentre um conjunto de ações, à luz de determinados critérios [12]. Posteriormente, os métodos ELECTRE evoluíram e passaram a abordar também problemáticas de ordenação (ELECTRE II, III e IV) e de categorização (ELECTRE TRI) [9].

A família ELECTRE caracteriza-se por trabalhar com uma estrutura de modelagem de preferências [13], cujo propósito é estudar a relação de preferência ou desejabilidade

do decisor diante de duas alternativas ou ações potenciais [14]. Na modelagem de preferências, são definidas quatro relações principais de preferência na comparação entre duas alternativas *a* e *b* pertencentes ao conjunto A de alternativas [9][14], quais sejam:

- ✓ Indiferença (I): Corresponde a uma equivalência entre duas ações;
- ✓ Preferência estrita (P): Trata-se de uma preferência significativa em favor de uma das duas ações analisadas;
- ✓ Preferência fraca (Q): Caracteriza-se pela existência de razões que são insuficientes para deduzir que a relação entre duas ações seja P ou I;
- ✓ Incomparabilidade (R): Corresponde a uma situação em que não existem razões que justifiquem I, P ou Q [9][14].

As preferências nos métodos ELECTRE são obtidas por meio das relações de sobreclassificação binária, S, cujo significado é "pelo menos tão bom quanto". Assim, considerando-se duas ações a e b, tem-se [12]:

- ✓ *a*P*b*, quando *a* sobreclassifica *b* (*aSb*) e *b* não sobreclassifica *a* (não *bSa*);
- ✓ *b*P*a*, quando *b* sobreclassifica *a* (*bSa*) e *a* não sobreclassifica *b* (não *aSb*);
- ✓ aIb, quando *a* sobreclassifica *b* (aSb) e *b* sobreclassifica *a* (bSa);
- ✓ *a*R*b*, quando *a* não sobreclassifica *b* (não *aSb*) e *b* não sobreclassifica *a* (não *bSa*). [12]

Além da modelagem de preferências, a família ELECTRE também efetua a modelagem das consequências, na qual são definidos os critérios finais de análise [15]. Estes critérios expressam, com maior ou menor precisão, as preferências de um decisor com relação a certo atributo e podem ser classificados em verdadeiro critério, pseudo-critério e quase critério [9], conforme figura 1.

Figura 1: Classificação dos critérios

Verdadeiro critério	Pseudo-critério	Quase-critério
$a\ P\ b \leftrightarrow g(a) > g(b)$ $a\ I\ b \leftrightarrow g(b) = g(a)$	$a\ P\ b \leftrightarrow g(a) - g(b) > p$ $a\ Q\ b \leftrightarrow q < g(a) - g(b) \leq p$ $a\ I\ b \leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q$	$a\ P\ b \leftrightarrow g(a) - g(b) > q$ $a\ I\ b \leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q$

Fonte: Autora (2024)

Na abordagem de verdadeiro critério, existe preferência de *a* por *b*, *a*P*b*, quando o desempenho de *a*, denominado g(*a*), frente determinado critério, é superior ao de *b* [9]. Quando ocorre equivalência de desempenho, ou seja, g(a) = g(b), tem-se uma situação de indiferença de *a* por *b*, *aIb* [9].

No contexto de pseudo-critério, por outro lado, as situações de preferência e indiferença são caracterizadas em função de limites de preferência (*p*) e indiferença (*q*) especificados pelo analista da decisão [16]. Assim, para a condição de preferência de *a* por *b*, *a*P*b*, torna-se necessário que a função g(a) - g(b) seja superior ao limite de preferência p [16]. A indiferença de *aIb*, por sua vez, é constatada por uma diferença de desempenho g(a) - g(b) inferior ou igual ao limite de indiferença [16]. Além disso, a abordagem de pseudo-critério introduz uma zona de hesitação ou preferência fraca

(Q), onde a função g(a) – g(b) está situada entre os limites de preferência (*p*) e indiferença (*q*) [11].

O enfoque de verdadeiro critério é utilizado pelos métodos ELECTRE I e II. A perspectiva de pseudo-critério, por sua vez, é aplicada aos métodos ELECTRE III, IV, IS e TRI [10].

Método ELECTRE III

O ELECTRE III permite estabelecer condições de indiferença, preferência e veto, em situações nas quais o decisor é incapaz ou recusa fazer comparações entre duas alternativas [14]. O método destina-se à problemas de ordenação e utiliza abordagem de pseudo-critérios [14].

Para usar o ELECTRE III, o autor [17] frisa que os limites indiferença (*q*), preferência (*p*) e veto (*v*) devem ser estabelecidos, pelo decisor, e salienta que $v > p > q$. Ademais, o autor [17] destaca a necessidade de atribuir peso ou grau de importância (w_j) para cada critério *j*. A pesquisa de [18] realça que a escolha dos limiares de indiferença (*q*), preferência (*p*) e veto (*v*) deve ser feita a partir de uma discussão com os diversos decisores.

As definições das alternativas, critérios, pesos (*w*) e limites *p*, *q* e *v* constituem-se no primeiro passo para aplicação do ELECTRE III [19][20]. Na sequência, o modelo requer cálculo dos da concordância (parcial e global), discordância (parcial), montagem das matrizes de concordância global, discordância parcial e credibilidade [19][20].

Os índices de concordância global C(a,b) e parcial c(a,b) são obtidos conforme equações 1 e 2 [15]. Eles assumem valores compreendidos entre 0 e 1 e podem ser entendidos como à medida que indica o quanto a alternativa *a* é favorecida em relação a *b*, ou seja, o quanto *a* sobreclassifica *b*, *aSb* [14].

- ✓ Índice de concordância parcial c(a,b):

$$c(a,b) = 0, se\ g_j(a) + p(g_j(a)) \leq g_j(b)$$

$$c(a,b) = 1, se\ g_j(a) + q(g_j(a)) > g_j(b) \quad (1)$$

$$c(a,b) = \frac{g_j(a) - g_j(b) + p_j(a)}{p_j - q_j}$$

Se - $p(g_j(a)) < g_j(a) - g_j(b) \leq -q(g_j(a))$

- ✓ Índice de concordância global C(a,b):

$$C(a,b) = \frac{1}{W}\sum_{j=1}^{n} w_j\, c_j(a,b) \quad (2)$$

$$W = \sum_{j=1}^{n} w_j$$

O índice de discordância $d_j(a,b)$, por sua vez, expressa a medida de desvantagem da alternativa *a* sobre a alternativa *b* e também assume valores entre 0 e 1 [14]. Seu cálculo é realizado conforme equação 3.

$$d_j(a,b) = 0, se\ g_j(a) + p(g_j(a)) \geq g_j(b)$$

$$d_j(a,b) = 1, se\ g_j(b) \geq g_j(a) + v(g_j(a)) \quad (3)$$

$$d_j(a,b) = \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j(a)}{v_j - q_j}$$

$$\text{Se - } v(g_j(a)) < g_j(a) - g_j(b) \leq -p(g_j(a))$$

Após obtenção dos índices de concordância global e discordância parcial, calcula-se o índice de credibilidade S(*a,b*) [20] que pode ser definido como o índice que avalia a força da afirmação "*a* é pelo menos tão boa quanto *b*" [11].

$$S(a,b) = C(a,b), se\ D_j(a,b) \leq C(a,b)$$

$$S(a,b) = C(a,b)\ x \prod \frac{1 - D_j(a,b)}{1 - C(a,b)} \quad (4)$$

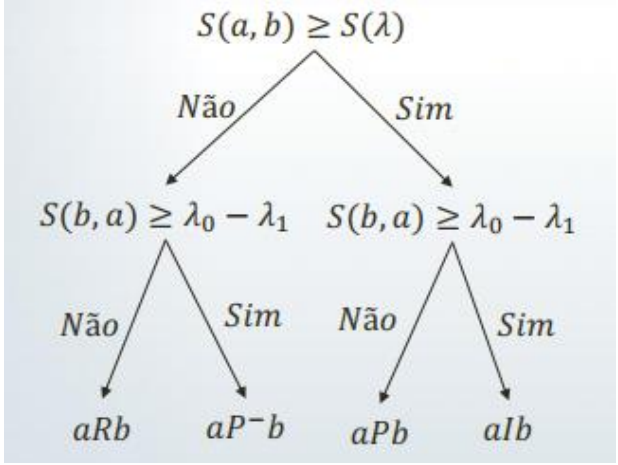
Sendo J(*a,b*), o conjunto de critérios em que D_j (*a,b*)>C(*a,b*).

A etapa seguinte do ELECTRE III, envolve a definição das relações R, P, I e P- (incomparabilidade, preferência, indiferença e não preferência) por meio da comparação de $S(a,b)$ com um limiar de preferência denominado S(λ) [20]. Esse limiar de preferência é também chamado de nível de corte e pode ser calculado pela equação 5 [20].

$$S(\lambda) \geq \lambda_o - \lambda_1$$
$$\lambda_o = maxS(a,b) \quad (5)$$
$$\lambda_1 = 0{,}3 - 0{,}15\lambda_o$$

A figura 2 mostra como se chega as relação R,P, I e P- por meio das comparações $S(a,b) \geq S(\lambda)$ e $S(b,a) \geq \lambda_o - \lambda_1$ [19].

Figura 2: Relações R, P, I e P-



Fonte: CARPINETTI (2020)

A etapa final do método requer a realização das ordenações ascendente, descendente e final [19]. Para obtenção da matriz de ordenação descendente, calcula-se o índice Q(a), conforme expressão 6, e ordena-se as alternativas do maior Q(a) para o menor [19]. No cálculo da pontuação descendente ou otimista considera-se *aSb* quando se tem *a*P*b*, *aIb ou a*R*b* [19]. O procedimento para obtenção da matriz de ordenação ascendente é similar ao da ordenação descendente [19]. Contudo, ordena-se do menor Q(a) para o maior e considera-se *aSb* somente quando *a*P*b* [19].

$$Q(a) = nº\ de\ altern.\ que\ 'a'supera - nº\ de\ altern.\ que\ superam\ 'a' \qquad (6)$$

A ordenação final é concebida com base nas duas ordens retro calculadas, a descendente e a ascendente. Caso as ordens não sejam iguais, utiliza-se para a ordenação final a seguinte equação [20]:

$$Ordenação\ final = \frac{Posição\ ascendente + Posição\ descendente}{2} \qquad (7)$$

MÉTODO

O problema da pesquisa está relacionado com a ordenação de quatro métodos de compressão de cronogramas de projetos, no contexto de uma subestação coletora de Energia 34,5/230kV. A subestação coletora foi construída no interior do estado do Piauí e ficava distante cerca de 446km da capital. Um consórcio de duas empresas foi o responsável pela sua execução.

Os métodos analisados foram: horas extras, *shift work*, superlotação e *fast tracking*. Cada método corresponde a uma alternativa do problema e forma, quando agrupado com os demais, o conjunto de alternativas A= {A1, A2, A3, A4}.

A ordenação foi realizada com o auxílio do método ELECTRE III. Os critérios utilizados para avaliação de desempenho das alternativas foram: produtividade, custo, qualidade e segurança do trabalho. Estes critérios constituem o conjunto de critérios F= {g1, g2, g3, g4} e foram definidos por um decisor com formação em engenharia civil e com experiência de 12 anos em obras de infraestrutura, tendo executado subestações coletoras, linhas de transmissão de energia e redes de média tensão. Segundo o decisor, a escolha dos critérios pautou-se em sua importância para o sucesso do projeto.

A avaliação de desempenho, g(a), de cada alternativa, em função dos critérios citados, foi também realizada pelo decisor, o qual estabeleceu notas de 0 a 10, para cada alternativa, tomando como referência a escala constante na tabela 1. Além disso, o decisor arbitrou pesos (w) e limites de preferência (*p*), indiferença (*q*) e veto (*v*), conforme tabela 2.

Tabela 1: Escala

Escala	Nota
Muito ruim	0 a 2
Ruim	3 a 5
Regular	6 a 7
Bom	8 a 9
Muito bom	10

Fonte: Autora (2024)

Tabela 2: Limites

Critérios →	Produtividade	Custo	Qualidade	Segurança
Limites ↓				
p	2	2	2	2
q	1	1	1	1
v	4	4	4	4

Fonte: Autora (2024)

A avaliação foi realizada em 7 dias e contou com o apoio de um engenheiro de segurança do trabalho, um analista de qualidade e uma engenheira de planejamento e custos.

De posse da avaliação de desempenho, foi realizada a montagem da matriz de decisão e calculou-se, posteriormente, os índices de concordância, discordância e credibilidade. Na sequência, foram efetuadas as ordenações ascendente, descendente e final, de modo a se obter, por meio do método ELECTRE III, um ranking das alternativas de compressão de projetos.

RESULTADOS

Por meio da avaliação de desempenho das alternativas (*g(a)*), conforme as preferências do decisor, compilou-se os dados e montou-se a matriz de decisão mostrada na tabela 3.

Tabela 3: Matriz de decisão

Critérios →		**Produtividade**	**Custo**	**Qualidade**	**Segurança**
Limites ↓					
p		2	2	2	2
q		1	1	1	1
v		4	4	4	4
Alternativas ↓					
Horas extras	*A1*	3	3	2	4
Shift work	*A2*	8	2	8	9
Superlotação	*A3*	5	6	5	5
Fast tracking	*A4*	7	7	6	7
Pesos ↓					
w		3	4	2	1

Fonte: Autora (2024)

Na sequência, foram aplicadas as equações 1 e 2 do método ELECTRE III, para obtenção dos índices de concordância parcial e global, respectivamente. A partir destes dados, preparou-se a matriz de concordância global, constante na tabela 4. Da análise desta

matriz, notou-se que as alternativas A2, A3 e A4 sobreclassificam A1 em todos os critérios.

Tabela 4: Matriz de Concordância Global

	A1	A2	A3	A4
A1	1	0,4	0,1	0
A2	1	1	0,6	0,6
A3	1	0,4	1	0,6
A4	1	0,7	1	1

Fonte: Autora (2024)

Na etapa seguinte, foi utilizada a equação 3 para fins de cálculo dos índices de discordância parcial. Os resultados constam na tabela 5.

Tabela 5: Matriz de discordância parcial

Índices de Discordância Parcial				
d1	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**
A1	0	1	0	1
A2	0	0	0	0
A3	0	0,5	0	0
A4	0	0	0	0
d2	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**
A1	0	0	0,5	1
A2	0	0	1	1
A3	0	0	0	0
A4	0	0	0	0
d3	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**
A1	0	1	0,5	1
A2	0	0	0	0
A3	0	0,5	0	0
A4	0	0	0	0
d4	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**
A1	0	1	0	0,5
A2	0	0	0	0
A3	0	1	0	0
A4	0	0	0	0

Fonte: Autora (2024)

Após o cálculo dos índices de concordância e discordância, o método ELECTRE III preconiza o cálculo do índice de credibilidade, cuja fórmula foi apresentada na equação 4. A matriz de credibilidade resultante da aplicação da citada equação aparece na tabela 6.

Tabela 6: Matriz de credibilidade

	A1	A2	A3	A4
A1	1,00	0,00	0,03	0,00
A2	1,00	1,00	0,00	0,00
A3	1,00	0,00	1,00	0,60
A4	1,00	0,70	1,00	1,00

Fonte: Autora (2024)

A comparação de cada $S(a, b)$, mostrado na tabela 6, com um limiar de preferência, denominado S(λ), calculado por meio da equação 5, permitiu as seguintes constatações:

1) A alternativa A1 é não preferível com relação a A2, A3 e A4;
2) A alternativa A2 é preferível a A1 e incomparável a A3 e A4;
3) A alternativa A3 é preferível a A1 e incomparável a A2;
4) A alternativa A4 é preferível a A1 e A3 e indiferente a A2.

Os dados acima aparecem compilados na tabela 7, sob a forma de uma matriz de relações, cuja construção apoiou-se nas relações de comparação apresentadas na figura 2.

Tabela 7: Matriz de Relações

	A1	A2	A3	A4
A1	I	P-	P-	P-
A2	P	I	R	R
A3	P	R	I	P-
A4	P	R	P	I

Fonte: Autora (2024)

De posse da matriz de relações, iniciou-se a etapa final do método ELECTRE III, que corresponde ao processo de ordenação. Para tanto, foram calculados os índices Q (fórmula exibida na equação 6) e, na sequência, foram elaboradas as tabelas de pontuações otimista (descendente) e pessimista (ascendente). Após isto, fez-se as ordenações descendente e ascendente, com fulcro nos valores obtidos para o índice Q. Os resultados desta etapa, para a problemática de métodos de aceleração de cronogramas, constam nas tabelas 8 e 9 e na figura 3.

Tabela 8: Pontuação otimista

	+	-	Q(a)
A1	1	3	-2
A2	4	0	4
A3	3	1	2
A4	4	0	4

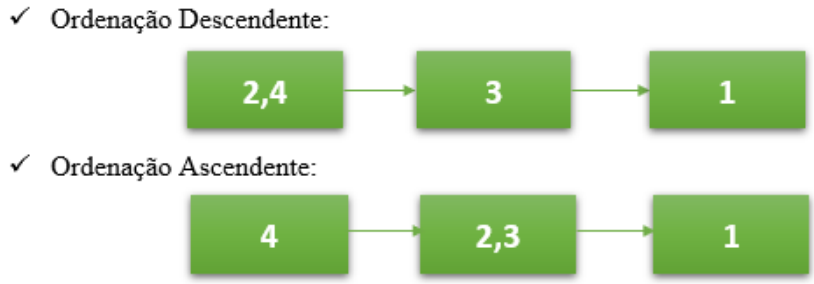
Fonte: Autora (2024)

Tabela 9: Pontuação pessimista

	+	-	Q(a)
A1	0	4	-4
A2	1	3	-2
A3	1	3	-2
A4	2	2	0

Fonte: Autora (2024)

Figura 3: Grafos



Fonte: Autora (2024)

A ordenação final, obtida pela combinação das ordenações descendente e ascendente, é mostrada no grafo da figura 4.

Figura 4: Grafo final



Fonte: Autora (2024)

Neste ponto, é importante ressaltar que o *shift work* despontou na primeira posição, na análise descendente. Contudo, na ordenação ascendente, ele passou a ocupar a segunda melhor posição. Isto decorre do cálculo de Q, cuja pontuação considera que *aSb* quando se tem *aPb*, *aIb ou aRb*, conforme visto no referencial teórico. Por outro lado, na ordenação ascendente, *aSb* somente quando se tem *aPb*. Assim, como A2 é preferível a A1 e incomparável a A3 e A4 (tabelas 6 e 7), as relações de preferência e de não sobreclassificação favorecem a alternativa 2, na ordenação descendente.

Por outro lado, na ordenação ascendente, observa-se que, como A2 é preferível somente a A1, o índice Q exibe valor menor, resultando em mudança de posição. Nesse contexto, a pesquisa necessitou reordenar *shift work* (A2), utilizando, para tanto, equação 7.

Com este resultado, é possível afirmar que o melhor método de aceleração ou compressão de projetos para o caso analisado é o "*fast tracking"*. Em segundo lugar, tem-se "*shift work"* e "superlotação". Por fim, notou-se que o método "horas extras" ficou na pior posição (último lugar).

CONCLUSÃO

Este artigo objetivou ordenar métodos de compressão de projetos, à luz de critérios de produtividade, custo, qualidade e segurança do trabalho. A problemática da pesquisa relacionou-se com um projeto de uma Subestação Coletora 34,5/230kV, cuja execução apresentou atraso acumulado de 26%, no 4º mês de execução. A pesquisa foi conduzida com auxílio do método multicritério ELECTRE III e analisou o desempenho de cada alternativa, conforme as preferências de um decisor.

Os resultados alcançados facultam o entendimento de que "*fast tracking"* é a alternativa com melhor posicionamento, em relação ao conjunto de métodos de

compressão de projetos analisados. O "*shift work"* e "superlotação" ocupam, conjuntamente, a segunda colocação, na ordenação. O emprego de "horas extras", por sua vez, figura como a alternativa de pior posicionamento, quando comparada com os outros métodos.

Conclui-se que a adoção de "*fast tracking"* é, conforme as preferências do decisor consultado, a alternativa com maior capacidade de responder de forma efetiva aos critérios de produtividade, custo, qualidade e segurança do trabalho, frente aos demais métodos de compressão de projetos. Por outro lado, a implementação de horas extras é o método com menor capacidade de resposta.

Assim, com auxílio do método ELECTRE III, o presente trabalho exibiu contribuição para profissionais de engenharia, visto que apresentou a ordenação de métodos de aceleração de cronograma para o cenário de uma Subestação Coletora, fomentando o processo de tomada de decisão, por parte de gestores.

Além disso, destaca-se o seu potencial para subsidiar outros pesquisadores, em estudos futuros, na busca de uma melhor compreensão de problemáticas alusivas à ordenação ou escolha de métodos de compressão de outros tipos de projetos, como barragens, estradas, edifícios, dentre outros.

REFERÊNCIAS

[1] HANNA, A. S; TAYLOR, C. S.; SULLIVAN, K. T. Impact of extended overtime on construction labor productivity. **Journal of construction engineering and management**, v. 131, n. 6, p. 734-739, jun 2005.

[2] BALLESTEROS-PÉREZ, P. Modelling the Boundaries of Project Fast-tracking. **Automation in Construction**, v. 84, 231-41, 2017.

[3] HANNA, A. S. et al. Shift work impact on construction labor productivity. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS. **Anais**. San Diego, 2005.

[4] HANNA, A. S et al. Impact of Shift Work on Labor Productivity for Labor Intensive Contractor. **Journal of construction engineering and management**, v. 134, n. 3, p. 197-204, 2008.

[5] CHANG, C.; WOO, S. Critical Review of Previous Studies on Labor Productivity Loss due to Overtime. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 21, n.7, 2551-2557, 2017.

[6] HANNA, A. S. et al. Overmanning impact construction labor productivity. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS. **Anais**. San Diego, 2005.

[7] BALLESTEROS-PÉREZ, P.; ELAMROUSY, K. M.; GONZÁLEZ-CRUZ, M. C. Non-linear Time-cost Trade-off Models of Activity Crashing: Application to Construction Scheduling and Project Compression with Fast-tracking**. Automation in Construction**, v. 97, 229-40, 2019.

[8] BOGUS, S. M.; MOLENAAR, K. R.; DIEKMANN, J. E. Concurrent Engineering Approach to Reducing Design Delivery Time. **Journal of construction engineering and management**, v. 131, n. 11, p. 1179-1185, 2005.

[9] GOMES, L. F, A. M.; GOMES, C. F. S. **Princípios e métodos para tomada de decisão**. 6ª ed. São Paulo, Atlas, 2019.

[10] MOTA, C. M. M.; ALMEIDA, A. T. Método Multicritério ELECTRE IV-H para priorização de atividades em projetos. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 247-269, 2007.

[11] INFANTE, C.; MENDONÇA, F. M.; VALLE, R. A. B. Análise de robustez com o método Electre III: o caso da região de Campo das Vertentes em Minas Gerais. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 21, n. 2, p. 245-255, 2014.

[12] FIGUEIRA, J.; ROY, V. M. Electre Methods. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. (Org). **Multiple Criteria Decision Analysis:** state of the art surveys. Coimbra: 2005

[13] HORA, H. R. M.; COSTA, H. G. O problema da inversão de ordens em métodos multicritério: um experimento com o ELECTRE III/IV. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 46. **Anais**. Porto Seguro, 2009.

[14] CAMPOS, V. R**. Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

[15] CAMPOS, S. A**. Análise comparativa de sistemas de vedações externas para edificações habitacionais com apoio à decisão multicritério**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

[16] HORA, H. R. M. et al. Análise de sensibilidade nos métodos Electre III-IV: um experimento com eliminação de alternativas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCÃO, 28. **Anais**. Rio de Janeiro, 2008.

[17] MARZOUK, M. An Application of ELECTRE III to Contractor Selection. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS. **Anais**. Banff, 2010.

[18] GENERINO, R. C. M. **Contribuição da abordagem multicritério na seleção de alternativas de reuso de água:** aplicação em um caso de irrigação agrícola e paisagística no Distrito Federal. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

[19] CARPINETTI, L. C. R. Notas de aula: EESC – Escola de engenharia de São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2020.

[20] SABA, J. N. **Proposta de aplicação do Electre III para ordenação dos modos de falha segundo os critérios da FMEA**. 2020. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.