

Bibliografia

BECKER Barbara; BRAUNSCHWEIG Thomas. Choosing research priorities by using the analytic hierarchy process: an application to international agriculture. Swiss Centre for International Agriculture (ZIL), Swiss Federal Institute of Technology, ETHZentrum, SEC C7, CH-8092 Zürich, Switzerland.

BENNETT, F. Lawrence, The Management of Engineering – Human, Quality, Organizational, Legal and Ethical Aspects of Professional Practice John Wiley & Sons, Inc., 1996.

CHAN, Alan H.S., KWOK W.Y., DUFFY Vincent G. Using AHP for determining priority in a safety management system. Industrial Management & Data Systems, Volume 104, Number 5 , pg 430–445, 2004.

COOKE-DAVIES, Terence J, DINSMORE, Paul C. The Right Projects Done Right – From Business strategy to successful project implementation. San Francisco: Ed. Jossey-Bass, 2006.

DECISION SUPPORT SYSTEMS GLOSSARY (DSS), www.dssresources.com, acessado em 27 de Julho de 2006.

DINSMORE, Paul Campbell, SILVEIRA NETO, Fernando Henrique da., Gerenciamento de projetos: como gerenciar seu projeto com qualidade, dentro do prazo e custos previstos. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004. 151 p.

FENG, Y.J., LU H., BI K. An AHP/DEA Method for Measurement of the Efficiency of R&D Management Activities in Universities. International Federation of Operational Research Societies, International Transactions in Operational Research, Res. 11, pg 181–191, Published by Blackwell Publishing Ltd, 2004.

FRANCISCHINI, P. G., CABEL G.M.B. Proposição de um indicador geral utilizando AHP. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23, Ouro Preto, 2003. Anais. Ouro Preto: Abrepo, 2003.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2006. 206 p.

GRANDZOL, John R. Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process. Bloomsburg University of Pennsylvania. IR Applications Volume 6, August 24, 2005.

HALPIN, Daniel W., WOODHEAD Ronald. Administração da Construção Civil. 2.ed, LTC, 2004.

HOUAISS, Dicionário da Língua Portuguesa. Editora Objetiva, 2001.

HUANG, Shi-Ming; CHANG I-Chu; LI Shing-Han; LIN Ming-Tong. Assessing risk in ERP projects: identify and prioritize the factors. Industrial Management & Data Systems, Volume 104, Number 8, 2004, pp. 681–688.

HUMMEL, Marjan; ROSSUM, Vouter van ; VERKERKE, Gijsbertus J.; RAKHORST, Gerhard. Product Design Planning with the Analytic Hierarchy Process in Inter-Organizational Networks. University of Twente, Netherlands. R&D Management 32, 5, Blackwell Publishers Ltd, USA, 2002.

KERZNER, Harold. Gestão de projetos : as melhores práticas. Porto Alegre: Bookman, 2002. 519 p.

_____ Project management : a systems approach to planning, Scheduling and controlling. New York: Van Nostrand Reinhold, 1979. 487 p.

KRICK, Eduard V., Introdução à Engenharia, Ao Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro, 1970, 434 p.

LIMMER, Carl Vicente. Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras. LTC, 1997.

MEYER, MARSHALL W; EBRARY, INC. Rethinking performance measurement: beyond the balanced scorecard. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press, 2002. 202 p.

MURAKAMI, Milton ; ALMEIDA, Martinho; FEA – USP. Decisão Estratégica em TI: Um estudo de caso. 2003. 154 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo.

NETO, Fernando H. da Silveira. Eficiência e eficácia, produtividade: que critério adotar? , www.consultores.com.br, acessado em 20 de Dezembro de 2006.

PAGE-JONES, Meilir. Gerenciamento de Projetos: Guia Prático para Restauração da Qualidade em Projetos e Sistemas de Processamento de Dados. São Paulo: McGraw-Hill, Inc, 1990. 327p.

PMBOK®: Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos, Terceira edição, 2004. 405p. Uma Norma Nacional Americana ANSI/PMI 99-001-2004.

PMBOK-Construction. Construction, Extension to A Guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBOK Guide – 2000 Edition. PMI, 2003.

SAATY, Thomas L. Método de análise hierárquica. São Paulo: McGraw-Hill Pub. Co., 1991. 367 p.

_____ How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. The Institute for Operations Research and the Management Sciences, Interfaces 24(6), pg. 19-43, USA, 1994.

SANTANA, Winston Carvalho; PIZZOLATO, Nélio Domingues; Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Proposta de modelo de desenvolvimento de sistemas de medição de desempenho logístico. 2004. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747 p.

VARGAS, Ricardo Viana. Gerenciamento de projetos: estabelecendo diferenciais competitivos. Rio de Janeiro: Brasport, 2000. 238 p.

_____ Análise de Valor Agregado em Projetos. Revolucionando o Gerenciamento de Custos e Prazos. Rio de Janeiro: Brasport, 2002, 100 p.

VERGARA Sylvia Constant. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

WOODSON, Thomas T., Introduction to Engineering Design, Mc Graw-Hill, USA, 1966, 190 p.

YIN, Robert K. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 181 p.

Apêndice 1

Áreas de Gerenciamento de Projeto

A seguir serão identificados os processos e áreas de gerenciamento de projetos presentes na engenharia de projeto para mapear seu funcionamento – e melhor compreendê-lo – segundo a metodologia de gerenciamento de projetos do PMI (*Project Management Institute*).

Integração do Projeto

A pesquisa trata dos processos de integração tais como monitoramento e controle do trabalho do projeto conforme objetivos de desempenho. De acordo com o PMBOK (2004), as ações integradoras são essenciais para o término do projeto, para atender com sucesso às necessidades do cliente e das partes interessadas e para gerenciar as expectativas.

Escopo do Projeto

O gerenciamento do escopo do projeto inclui os processos necessários para garantir que o projeto inclua todo o trabalho necessário, e somente ele, para terminar o projeto com sucesso (PMBOK, 2004). O estudo apresentado considera o processo de controle de escopo. As alterações de escopo causam reflexos no desempenho das projetistas, pela variação que essas alterações de escopo geram no cronograma e nos custos.

Tempo do Projeto

O gerenciamento de tempo do projeto inclui os processos necessários para realizar o término do projeto no prazo (PMBOK, 2004). O processo de controle do cronograma é abordado pelo presente trabalho porque o prazo é um dos fatores

críticos de sucesso, assim como o controle de escopo, conforme apresentado anteriormente nesta seção de revisões bibliográficas por Kerzner (2002).

Custos do Projeto

Assim como o tempo e o escopo, os custos de um projeto industrial também representam um fator crítico de sucesso, por isso, o controle de custos faz parte da análise da pesquisa. O PMBOK (2004) define que o gerenciamento de custos do projeto inclui os processos envolvidos em planejamento, estimativa, orçamentação e controle de custos, de modo que seja possível terminar o projeto dentro do orçamento aprovado.

Qualidade do Projeto

O estudo realizado num projeto industrial real tem como objetivos o planejamento da qualidade, através da identificação dos padrões de qualidade relevantes para o projeto, e o controle da qualidade, pelo monitoramento de resultados específicos do projeto e identificação de maneiras de eliminar as causas de um desempenho insatisfatório. Essa identificação de pontos de melhoria será facilitada pela estruturação da hierarquia do problema realizada na aplicação do método AHP. Convém mencionar que a qualidade também é um fator crítico de sucesso.

Recursos Humanos do Projeto

As análises de desempenho da Engenharia do Projeto industrial pesquisado tratam o processo de desenvolvimento da equipe de projeto por avaliar, nas projetistas, a qualificação da equipe e as soluções de tecnologia apresentadas. Assim, põe-se em foco a melhoria de competências e interação de membros da equipe para aprimorar o desempenho do projeto. O PMBOK (2004) ressalta que o envolvimento dos membros da equipe desde o início acrescenta especialização durante o processo de planejamento e fortalece o compromisso com o projeto.

Comunicações do Projeto

O gerenciamento das comunicações do projeto inclui os processos necessários para garantir a geração, coleta, distribuição, armazenamento, recuperação e destinação final das informações sobre o projeto de forma oportuna e adequada (PMBOK, 2004).

O presente trabalho propõe um índice de desempenho de projetistas que faz parte dos processos de distribuição das informações e de relatório de desempenho. Assim, serão expostas as informações necessárias às partes interessadas e coletadas e distribuídas as informações sobre o desempenho, incluindo os dados de medição de tempo, custo, progresso real.

Riscos do Projeto

Os objetivos do gerenciamento de riscos do projeto são aumentar a probabilidade e o impacto dos eventos positivos e diminuir a probabilidade e o impacto dos eventos adversos nos objetivos do projeto (PMBOK, 2004). O presente estudo abordará o gerenciamento de riscos através do mapeamento de possíveis riscos no andamento dos contratos das projetistas, seja risco de custos, de progresso, de qualidade, de meio ambiente, entre outros.

Aquisições do Projeto

Por estar avaliando desempenho de projetistas contratadas, o estudo de caso com a aplicação do AHP contribui para o gerenciamento de contratos da Engenharia do Projeto, que integra o gerenciamento de aquisições da Engenharia do Projeto.

Além disso, a equipe da Engenharia do Projeto participa do gerenciamento das aquisições do projeto Alunorte através dos processos de planejamento de compras (formação dos pacotes de trabalho da EAP) e planejamento de contratações de projetistas e fornecedores (pacotes de serviços). Já os processos

de negociação, coleta de preços e seleção de fornecedores são responsabilidade da área de Suprimentos.

Ainda há as quatro áreas de conhecimento apresentadas no Guia *PMBOK Construction* (2003) específicas de projetos de construção.

Segurança

O gerenciamento de segurança é tratado por este trabalho porque é um dos critérios principais de desempenho de projetistas. É indiscutível a importância da segurança nos projetos desenvolvidos pela Engenharia da Alunorte.

Meio Ambiente

Da mesma forma que a segurança, o atendimento das normas ambientais é um dos critérios principais na avaliação de desempenho de projetistas de um projeto industrial. Segurança e meio ambiente caminham em paralelo para a Engenharia da Alunorte através de auditorias.

Financiamento

Esta área está relacionada ao financiamento da construção do projeto e não ao gerenciamento de custos do projeto no seu dia a dia. O presente estudo não avalia de forma direta esta área do *PMBOK Construction* (2003).

Reivindicações Legais

O gerenciamento de reivindicações legais está relacionado a um trabalho extra realizado ou um tempo extra gasto. A distinção entre a mudança de escopo e a reivindicação legal está na discordância entre as partes, o que exige o uso das leis para acordo. A pesquisa realizada não avalia esta área do *PMBOK Construction* (2003).

Apêndice 2

Tipos de Contratos

É importante conhecer as possibilidades de contratações existentes para uma escolha certa. Com base em Bennett (1996), esta seção abordará três tipos de contratos tradicionais, que envolvem apenas proprietário e contratado, e também outros cinco tipos mais recentes de contratos, que envolvem várias partes e utilizam uma ou mais das três formas de pagamento tradicionais.

Preço Fixo

No contrato de preço fixo (*lump sum*) ou preço global, é pago ao contratado uma única quantia, previamente acordada, pelo projeto inteiro. Esta quantia deve incluir custos diretos, indiretos e lucro.

Alguns contratos de preço fixo permitem alteração no preço. Por exemplo, uma condição sob a qual pagamentos sejam reduzidos caso o desempenho não atenda às especificações. Isto é, se o projeto não é finalizada até uma certa data, a quantia inicialmente estipulada é decrescida. Outra situação de alteração de preço pode ser através de variações do preço fixo com base em alcance de objetivos. Para exemplificar, se um avião é especificado para voar a 40 milhas por hora, uma vez que o projeto tenha alcançado esse patamar, para cada milha a mais, o preço fixo seria acrescido em 10%. Esse acréscimo ou redução no preço fixo é chamado de prêmio, ou multa, respectivamente. Mais uma possibilidade de mudança de preço global ocorre quando as condições da locação são diferentes das esperadas pelas partes.

Contratos a preço global não são adequados quando incertezas existem, quando o prazo de entrega é importante ou quando a rotina do trabalho é

suscetível a interromper o trabalho do contratado, por exemplo, em uma indústria em operação.

O contrato por preço fixo permite melhor comparação entre as diferentes propostas apresentadas à licitação, oferece maiores garantias comerciais ao contratante/gerenciador, facilita o gerenciamento do empreendimento, bem como seu controle físico e de custos, uma vez que o pagamento corresponde sempre a determinadas etapas executadas. Por outro lado, o preço global tende a ser maior do que o preço total de outros tipos de contratos, pois os riscos envolvidos levam o licitante a embutir no preço licitado um sobrecusto para cobertura desse risco. Esse mesmo risco poderá, também, reduzir o número de concorrentes realmente habilitados. Caso não haja uma perfeita definição do objeto do contrato, surgirão, durante a execução do mesmo, dúvidas sobre a abrangência do escopo. Do lado do proponente, a proposta de preço global é bem mais trabalhosa porque requer que sejam consideradas diversas hipóteses sobre os diferentes cenários que o executor da obra poderá enfrentar durante a execução do projeto. Esse ponto também é uma desvantagem para o contratante, que tem que esperar as propostas serem finalizadas, ainda estando sujeito, além do alto preço, de potenciais custos de mudanças (Limmer, 1997).

Preço Unitário

Sob o contrato a preço unitário, o contratado é pago por cada unidade de serviço a um preço pré-determinado. Os preços unitários definidos pelos contratados devem incluir custos diretos, assim como os custos indiretos, contingências e lucro.

Este preço é vinculado a uma certa faixa de variação em torno da quantidade prevista para cada tipo de serviço, função da escala de produção. Caso a variação da quantidade extrapole a faixa estabelecida, o preço unitário do serviço deverá ser renegociado. O preço global é estabelecido pelo somatório do produto do preço de cada unidade de serviço pela respectiva quantidade realizada (Limmer, 1997).

O contrato a preço unitário é mais apropriado quando as quantidades não podem ser determinadas previamente com precisão. Assim, com base em estimativas, o início do serviço pode ser antecipado. Exemplos são a construção de estradas e de prédios. Pelo ponto de vista do contratante, o método tem a vantagem de remover parte do risco sobre ele e de reduzir as contingências. Além disso, os documentos prévios à proposta são menos detalhados do que os do método do preço fixo. Há desvantagens, no entanto: o custo final não é conhecido com antecedência; as atividades do contratado devem ser acompanhadas de perto para medir a produtividade real; contratados devem gastar tempo e dinheiro preparando as propostas. Limmer (1997) ressalta que as propostas de preços unitários são dificilmente comparáveis entre si, já que não explicitam os quantitativos globais de serviços considerados por cada um dos proponentes, sendo estes variáveis dependendo da metodologia considerada, o que influi na formação de cada um dos preços.

Preço Móvel

Os dois tipos básicos de contratos de preço móvel são contrato por administração com remuneração percentual ou *cost plus a percentage of costs* e contrato por administração com remuneração fixa ou *cost plus a fixed fee*. Nos dois contratos o contratado é pago pelos custos incorridos, mais uma remuneração para cobrir os custos não reembolsáveis e o lucro. No primeiro tipo, a remuneração é uma percentagem dos custos, enquanto que, no segundo tipo, a remuneração independe dos custos. O desafio é definir quais são os custos reembolsáveis. O ideal é defini-los quando o contrato está sendo escrito.

Nos contratos por administração com remuneração percentual sobre o valor dos serviços executados não há necessidade de definição completa do escopo. Os gastos e o tempo despendidos com negociação do contrato são minimizados. Entretanto, exige-se grande capacidade gerencial e de controle por parte do proprietário/gerenciador, pois o contratado tende sempre a gastar mais do que o necessário, alongando o prazo de execução (Limmer, 1997).

O contrato por administração com remuneração fixa incentiva a redução do prazo de execução da obra pelo contratado. Este tende a estipular remuneração fixa com folga para cobrir contingências, enquanto que o proprietário/gerenciador tem que definir o projeto e o escopo do empreendimento com mais detalhe do que no caso de remuneração percentual, a fim de poder estipular o montante da remuneração a ser paga (Limmer, 1997).

Pelo ponto de vista do proprietário, há duas preocupações com o contrato por administração. Primeiramente, não há forma de saber o custo total do projeto e, segundo, há pouco incentivo para o contratado controlar os custos. Essa falta de incentivo ocorre principalmente no contrato por administração com remuneração percentual, porque um custo maior significa uma remuneração percentual proporcionalmente maior.

As vantagens para o proprietário incluem a possibilidade de iniciar um projeto sem projetos de engenharia completos ou mesmo numa situação emergencial, apenas com o acordo definindo custos reembolsáveis e taxa. Para o contratado, o método transfere os riscos de aumento de custos para o proprietário e assegura que os custos reembolsáveis serão sempre cobertos. Entretanto, não há prêmios por gerenciamento inovador da construção como no contrato por preço fixo. Se o contratado mantém os custos baixos, a economia é feita pelo proprietário.

Contratos Design/Build

Design/Build é o método de organização de projeto sob o qual o proprietário contrata outra parte para projetar e construir uma instalação. O projeto é realizado por terceiros profissionais ou por profissionais da equipe do contratado e a construção também pode ser contratada ou não. A única relação contratual oficial do proprietário é com o contratado do *design/build*.

A fase de planejamento contém o projeto conceitual e um custo preliminar estimado. Depois, as partes negociam um preço de contrato, usualmente uma

administração por remuneração fixa com preço máximo garantido (Jevis e Levin, 1998 *apud* Bennett, 1996).

Para o proprietário é vantajoso trabalhar com um parceiro que se responsabiliza pelo sucesso do projeto. O importante para o sucesso ocorrer, entretanto, é haver um escopo de projeto bem claro antes de repassar essa responsabilidade adiante. Para indústrias pesadas, que possuem projetos de engenharia pesados, esse tipo de contrato de *design/build* é conveniente pelos benefícios da proficiência do contratado, um enorme diferencial de sucesso em projetos complexos. Ao mesmo tempo, o proprietário possui menos controle sobre a definição do projeto e execução do que em formas tradicionais de contrato.

Turnkey

Turnkey é um tipo de contrato no qual o proprietário contrata uma empresa para projetar e construir, como no contrato de *design/build*, porém com um escopo de responsabilidade ainda maior. Uma vez escolhido o contratado, o proprietário não aparece em campo para conferir o que acontece até que o serviço seja finalizado. Ou seja, até que o contratado entregue a chave ao proprietário para acionar a operação (“*to turn the key*”).

O contratado não somente é responsável pelo projeto e construção, mas também pela compra, financiamento da construção e quaisquer adequações. O contratado pode ser selecionado pelo preço da proposta e/ou por outros fatores, podendo o preço ser fixo (*lump sum*) ou alguma outra combinação.

Gerente de Construção

O conceito do serviço de gerenciamento de construção é usufruir das técnicas já experimentadas por um profissional maduro para começar a construção antes de todo o projeto ter sido finalizado.

Uma possibilidade é o gerente de construção atuar como um consultor independente, como um agente do proprietário. O próprio dono responsabiliza-se

pelo cronograma, coordenação, parte financeira do projeto e contratação de terceiros e o gerente de construção o aconselha.

Outra possibilidade é o gerente de construção ser responsável para contratação de vários contratados e subcontratados, incorporando um papel similar ao de um contratado geral. Um preço máximo do projeto é garantido com base em desenhos conceituais e requisitos do proprietário.

Uma terceira possibilidade é ter uma equipe de engenharia funcionando como gerente de construção. Nesse caso, o engenheiro do projeto é também o gerente do projeto, responsável pelo *design* e por aconselhar o proprietário na execução. Usualmente, entretanto, o gerente de projeto não faz contratações nem garante preço máximo de projeto. Mais uma vez, a essência é iniciar a obra antes dos desenhos estarem completos.

Qualquer uma das três possibilidades, a vantagem é antecipar a execução e ocupação da locação. Não há necessidade de um contratado geral, mas há despesas com o serviço do gerente de construção. O proprietário tem pouco controle sobre o preço final do projeto e sobre a natureza do projeto, do que num contrato a preço fixo. O ponto negativo é a responsabilidade não ser passada completamente ao gerente de construção, que atua mais como conselheiro.

Fast Track

Construção *Fast Track* não é uma forma diferente de pagamento, nem uma variação organizacional. É um processo onde construção de uma instalação inicia antes da finalização do projeto. A forma de pagamento do contratado pode ser qualquer uma das já discutidas aqui.

Ao passo que o projeto prossegue, desenhos de fundação são fornecidos, e a construção começa enquanto o balanceamento do projeto é discutido. O desafio

para o projetista é estar suficientemente antecipado do processo da construção para que o trabalho em campo flua continuamente.

A grande vantagem é o encurtamento do processo de entrega do projeto. Segundo Tarricone (1993b) *apud* Bennett (1996), já houve economia de dois terços do tempo necessário, comparando-se com o processo convencional. Entretanto, se todas as partes não trabalham conforme programado, atrasos são possíveis. Além disso, ao mesmo tempo em que o projeto incompleto pode sofrer mudanças ao longo do tempo, gerando retrabalhos em campo, pode haver restrição de alterações no projeto por parte do proprietário e contratado depois que parte do projeto já foi executada.

Contratos End-Result

Os contratos *end-result* focam no resultado final mais do que no método de alcançá-lo. Valores objetivos são especificados e o contratado pode ser pago a mais por exceder especificações estatísticas de qualidade como rigidez, espessura, deformação, entre outros. Esse contrato é consistente com a ênfase na qualidade total e no controle estatístico de qualidade (*total quality management*).

De fato, não há um tipo de contrato ou forma de pagamento ótima e única, mas sim uma melhor opção segundo as características, interesse e necessidades de cada projeto. A apresentação de todas essas formas de contratação faz-se necessária para ilustrar o ambiente e interações entre diferentes partes em projetos de engenharia. A contratação é uma etapa difícil e, se bem realizada, é a garantia de bom desempenho do projeto desde seu conceito até sua execução.

Apêndice 3

Exemplo de AHP (Adaptado de Saaty (1991, pg 22-27))

Será exemplificada a determinação da escala de prioridades relativas à luminosidade de uma fila de cadeiras. Dada uma fila de cadeiras A, B, C e D, a posição (B,C) na matriz corresponde ao seguinte julgamento: quão mais iluminada é a cadeira B do que a C?

A comparação, por convenção, é feita da característica da coluna da esquerda em relação à característica da linha superior. Com todas as comparações paritárias é formada uma matriz 4 x 4.

Logo, a posição (B,B) ou qualquer outra na diagonal será sempre 1, afinal, um elemento é igualmente importante a ele mesmo.

$$\begin{bmatrix} \text{Iluminação} & A & B & C & D \\ A & 1 & & & \\ B & & 1 & & \\ C & & & 1 & \\ D & & & & 1 \end{bmatrix}$$

Para preencher os outros elementos da matriz fora da diagonal, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a Figura 5, que apresenta a escala de comparações empregadas no método.

Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos dos da parte superior direita da mesma.

A consistência da matriz deve ser garantida, a partir de uma quantidade básica de dados, todos os outros podem ser logicamente deduzidos. Se A_1 é três vezes mais dominante do que A_2 , e A_1 é seis vezes mais dominante que A_3 , então

$A_1=3A_2$ e $A_1=6A_3$. Logo, $A_2/ A_3 = 2 =$ posição (A_2, A_3) . Portanto, se o julgamento da posição (A_2, A_3) for diferente de 2, então a matriz é inconsistente.

Os julgamentos no exemplo da luminosidade na fila de cadeiras resultaram na matriz A abaixo:

Matriz A					
Iluminação	A	B	C	D	
A	1	5	6	7	
B	1/5	1	4	6	
C	1/6	1/4	1	4	
D	1/7	1/6	1/4	1	

O próximo passo é calcular o vetor de prioridades da matriz, que é o principal autovetor normalizado. A normalização do autovetor pode ser feita pela divisão de cada elemento das colunas pela soma total da coluna, seguido da soma desses elementos recém calculados em cada linha, seguido da divisão do vetor coluna resultante por n (dimensão da matriz).

Assim, o vetor coluna de prioridades da matriz A é:

$$\mathbf{w} = \text{vetor coluna de prioridades}$$

$$[0.59 \quad 0.245 \quad 0.115 \quad 0.05]$$

O autovetor dá a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. O método da análise hierárquica busca o autovalor máximo, λ_{\max} , que pode ser calculado pela multiplicação de A pelo vetor coluna de prioridades computado w, seguido da divisão desse novo vetor encontrado, Aw, pelo primeiro vetor w, chegando-se ao valor de λ_{\max} .

Cabe lembrar que $Aw = \lambda w$ e, que no AHP, $Aw = \lambda_{\max} w$. Logo, λ_{\max} será a média dos elementos de $\frac{Aw}{w}$.

Para se ter a consistência de uma matriz positiva recíproca, seu autovalor máximo deveria ser igual a n (dimensão da matriz). No caso de uma matriz

consistente, precisamos de $n-1$ comparações paritárias já que, a partir dessas, as outras podem ser deduzidas logicamente. Assim, é possível estimar o desvio de consistência por:

$$\text{I.C.} = \text{Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Quando I.C. for menor do que 0.1, o julgamento é satisfatório, isto é, a matriz está bem próxima da consistência.

Nesse exemplo, $Aw = \lambda_{\max} w = [2.85 \quad 1.11 \quad 0.47 \quad 0.20]$. Dividindo este vetor por w , obtém-se $[4.83 \quad 4.44 \quad 4.28 \quad 4.00]$. A média desses elementos gera $\lambda_{\max} = 4.39$.

$$\text{I.C.} = \frac{4.39 - 4.0}{4 - 1} = 0.13 > 0.10$$

Portanto, o índice de consistência indica que os julgamentos podem ser refeitos para aumentar a consistência da matriz.

Apêndice 4

Questionários

Esse apêndice ilustra o formato dos questionários do AHP aplicados para obtenção das prioridades relativas entre critérios, subcritérios e padrões de intensidade dos critérios. Os questionários foram aplicados com a escala de comparações do Saaty (1991). Cada número do questionário representa uma intensidade de importância dessa escala comparativa (Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Saaty (1991)).

Compare a IMPORTÂNCIA RELATIVA dos critérios para Desempenho de Projetista																		
Obs: utilize a escala para fazer as comparações aos pares																		
1 = IGUAL		3 = MODERADA					5 = FORTE					7 = MUITO FORTE					9 = EXTREMA	
SSMA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	QUALIDADE
SSMA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DESVIO DE CUSTO
SSMA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DESVIO DE PRAZO
SSMA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TECNOLOGIA
QUALIDADE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DESVIO DE CUSTO
QUALIDADE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DESVIO DE PRAZO
QUALIDADE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TECNOLOGIA
DESVIO DE CUSTO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DESVIO DE PRAZO
DESVIO DE CUSTO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TECNOLOGIA
DESVIO DE PRAZO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TECNOLOGIA

A figura abaixo ilustra o questionário qualitativo aplicado para os engenheiros desenvolvido pela autora.

Projetista:		Promon				
Respondente			Projetista			Comentários
Especialidade	Especialista	Experiência	Qualidade da Documentação	Capacitação técnica do pessoal e experiência (conhecimento técnico)	TI aplicada à Engenharia de projeto (disponibilidade e uso de programas)	