

Minimizando riscos com a análise quantitativa

Uma experiência no Rodoanel de São Paulo

PAULO WARSCHAUER*



Rodoanel Mário Covas, trecho sul



Este artigo objetiva apresentar a metodologia de análise quantitativa de risco por meio de um estudo da determinação do risco de prazo para conclusão de duas obras críticas para a inauguração do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas. No estudo foram efetuadas simulações do término das obras, por um método similar ao método Monte-Carlo¹. As datas de término, obtidas das simulações, forneceram curvas de probabilidade de conclusão das obras estudadas. As obras compreendem duas pontes sobre a Represa Billings. Juntas, as pontes somam 2 407 metros e representam 13,2% do valor financeiro do trecho de Rodoanel em foco. As simulações se baseiam nas estimativas probabilísticas de duração de cada atividade de execução das obras. Para obtenção dessas

estimativas o autor desenvolveu uma metodologia específica para a participação de profissionais especialistas, além do uso de dados históricos de atividades já concluídas. A metodologia seguiu procedimento iterativo por etapas, o que, permitiu dirigir os esforços para os itens críticos e promover a integração e entendimento das equipes envolvidas. Os resultados probabilísticos, fornecidos pelo presente trabalho, possibilitaram que as equipes de planejamento da Dersa, a gerenciadora, a supervisora de obras e a empreiteira, percebessem, de maneira mais objetiva, que as datas, até então calculadas, escondiam um risco de variação. Anteriormente as equipes acompanhavam o desenvolvimento das obras, com base nas datas que não consideravam incertezas. Por meio do cálculo de índices do grau de confiança, representados em curvas de probabilidade, a percepção do risco alertou a Dersa para a necessidade de uma reprogramação de atividades de modo a adequar o planejamento ao cumprimento da data de inauguração com segurança.

FOTOS: ANDRÉ SIQUEIRA

O autor conduziu os estudos nos meses de março e abril de 2009. Os estudos tiveram por objetivo determinar o risco de prazo para término de obras críticas para a conclusão do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas.

A partir das estimativas de duração de cada atividade o software utilizado² efetuou simulações que calculam, a cada iteração, os prazos resultantes e o caminho crítico. Assim, cada simulação forneceu uma data de término das obras. O conjunto dos resultados obtidos das diversas simulações produziu uma curva de probabilidade para a data de término. Desse modo, uma vez considerada uma data de término é possível dizer qual a probabilidade de que as obras venham a ser concluídas antes daquela data. E vice versa: definida uma probabilidade de término (grau de confiança), a curva fornece a data correspondente.

Entretanto, o ponto crítico da metodologia consiste na obtenção das estimativas otimistas, mais provável e pessimista para a duração de cada atividade. Os resultados dependem dessas estimativas, pois a partir das mesmas são processados os cálculos matemáticos a cada simulação.

Assim, primeiramente foram obtidos os dados históricos das atividades já executadas. Esses dados foram extraídos do arquivo MS Project utilizado pela própria empreiteira que executava a obra.

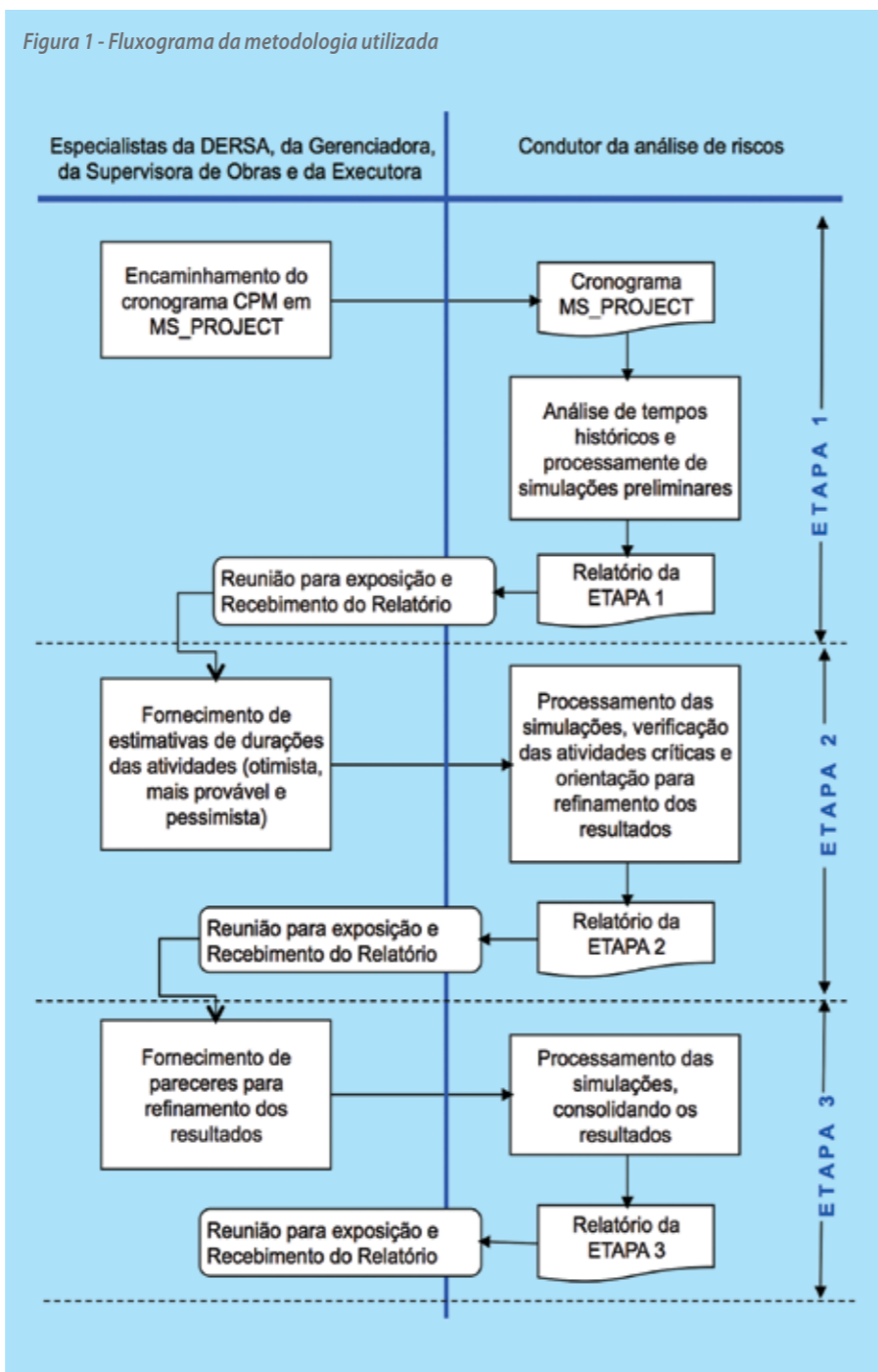
Contudo, determinadas condições do passado não se repetiriam – por exemplo, algumas atividades haviam sido interrompidas por não serem urgentes – e nesses casos o histórico de duração não representava a produtividade. Em vista disso, os resultados foram tabulados e dispostos em gráficos que permitiram visualizar pontos extremos que eventualmente não deveriam ser utilizados como estimativas dos tempos futuros. Coube aos profissionais envolvidos analisarem esses casos e verificarem se as causas passadas poderiam se repetir no futuro.

Depois de estabelecidos os parâmetros históricos, os especialistas em reunião forneceram seus pareceres com relação à duração de cada atividade, considerando seu conhecimento técnico e as expectativas com relação ao desempenho de execução. As estimativas obtidas foram resultado de uma média entre os tempos históricos e a estimativa dos especialistas representando a Dersa, a gerenciadora, a supervisora de obras, e a empreiteira.

O fluxograma da figura 1 representa a metodologia utilizada.

Deve-se observar, entretanto, que o presente estudo não substitui os demais tipos de análise qualitativa e quantitativa de riscos, também contempladas no PMBOK³. Antes ao contrário, supõe que as informações de durações das atividades (otimista, mais provável, e pessimista) já estejam embasadas em análises de risco prévias e considerem inclusive determinadas medidas mitigadoras identificadas nessas análises prévias.

Essas análises prévias são do escopo das executoras de obra e devem ser diligenciadas pela fiscalização de obra. A partir das análises de risco prévias, a análise permite verificar a probabilidade relacionada ao prazo de conclusão da obra e identifica as atividades críticas. Essas informações deverão inclusive realimentar aquelas análises de risco prévias, para que os executores reavaliem as medidas mitigadoras com vista às probabilidades de ocorrência e aos impactos identificados.



CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS ESTUDADAS E MÉTODO CONSTRUTIVO

As obras

Os estudos se concentraram em duas pontes sobre a Represa Billings. As pontes (e também, por exemplo, viadutos e túneis) na engenharia civil são chamadas obras de arte especiais, ou simplesmente OAE. As duas pontes estudadas foram a OAE-314 do Lote 3 e a OAE 402 do Lote 4.

O mapa da figura 2 mostra o diagrama representativo do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas, apresenta as divisões em lotes de execução de obra e localiza as duas obras estudadas.

Cada uma das pontes, na verdade, é constituída de duas pontes independentes denominadas ponte interna e ponte externa, destinadas cada uma ao trânsito em um sentido.

A OAE-314 representa 9,8% do valor financeiro total do Trecho Sul do Rodoanel e tem a extensão de 1 755 metros. Dessa extensão, 1 135 metros são efetivamente sobre água e 620 metros em aterro.

O Trecho Sul do Rodoanel tem extensão de 61,44 quilômetros. Portanto, a OAE-314 representa 2,9% da extensão do Trecho Sul do Rodoanel. A OAE-402 representa 3,4% do valor financeiro total do Trecho Sul do Rodoanel. Sua extensão é de 652 metros. Portanto, representa 1,06% da extensão total do Trecho Sul do Rodoanel.

O método construtivo

O método utilizado é denominado construção por balanços sucessivos. A primeira ponte construída por esse método foi obra do engenheiro brasileiro Emílio Baumgart em 1930⁴. A construção é efetuada utilizando aduelas – a saber, anéis construídos a cada etapa. A produção das aduelas pode ser feita no próprio local ou então são pré-fabricadas e a seguir içadas para serem agregadas à construção. Ou seja, a obra vai avançando em balanço sem necessidade de escoras, até que alcance a parte que vem avançando de outro pilar. Temos a sensação que a ponte flutua. Em princípio o peso da parte suspensa criaria um esforço de flexionar o pilar. Com isso o esforço resultante do momento fletor (efeito de alavanca da parte em balanço) tenderia a romper o pilar em que se apoia. Contudo, para evitar a introdução desses esforços de flexão nos pilares e fundações, o avanço da obra é feito de um modo simétrico – ou seja, a partir de um mesmo pilar partem execuções em direções opostas. O equilíbrio dos dois balanços simétricos faz com que o esforço de flexão seja anulado. Surpreendentemente, Baumgart se inspirou no método construtivo utilizado pelos cupins⁵! No caso das pontes em estudo, a partir de cada pilar é construída a primeira aduela. Essa primeira aduela é denominada aduela zero e é moldada na própria ponte (executada in situ). Para a OAE-314, as aduelas seguintes são içadas – pois foram pré-fabricadas em local próprio – e transportada por balsa conforme ilustrado pelas fotos. Para a OAE-402 as aduelas seguintes são moldadas na própria estrutura da ponte dispensando inclusive o içamento. A última aduela vincula os balanços originários de pilares vizinhos. Essa última é chamada aduela de fechamento. Uma vantagem de se fabricar aduelas não moldadas in situ, é permitir a execução de atividades em paralelo, e viabilizar a formação de um estoque de aduelas, minimizando riscos de atraso vinculados à fabricação das mesmas.

É necessário que a aduela antecedente possua uma resistência suficiente para ser autoportante e servir de apoio às aduelas seguintes. Sendo assim, tem que suportar



Figura 2 - Localização da OAE-314 e OAE 402

o peso próprio das aduelas seguintes, e do equipamento necessário ao içamento.

A ANÁLISE DOS TEMPOS HISTÓRICOS

As durações históricas e as estimativas dos especialistas foram utilizadas como estimadores da duração futura das atividades de execução das obras em estudo. Os tempos históricos foram obtidos a partir do próprio arquivo do planejamento das obras (MS Project), recebido da empreiteira, e correspondem às durações das atividades que já haviam sido concluídas na ocasião.

A partir do recebimento do arquivo, as durações históricas foram organizadas em gráficos que possibilitaram uma visualização do padrão estatístico das mesmas. A figura 3 mostra um exemplo que, no caso, corresponde à análise das durações de execução das aduelas zero da OAE-314. No gráfico, a linha vermelha representa a média móvel das duas últimas amostras e a linha verde corresponde a uma regressão logarítmica para visualizar eventual tendência.

No caso apresentado na figura 3, observou-se que um ponto se destacava significativamente do padrão, a saber, o corres-

pondente ao ID 28 iniciado em 20/08/2008.

Para cada atividade de execução foi elaborado gráfico similar e todos os pontos que não seguiam uma regularidade foram identificados e submetidos ao parecer dos profissionais que acompanharam as execuções. Em resposta, esses profissionais se manifestaram a respeito da causa da discrepância de cada ponto e avaliaram se o mesmo poderia ser considerado como elemento de amostra para estimar os tempos futuros de execução. No caso da figura 3 a análise dos especialistas concluiu que o elemento de amostra em questão não deveria ser considerado, uma vez que as atividades não eram urgentes na época e que por isso foram interrompidas para realocação da mão de obra para frentes críticas e que tal procedimento não acontecerá futuramente.

Uma vez realizada depuração dos dados históricos segundo o procedimento descrito, a amostra resultante foi utilizada para estimativa das durações futuras.

Considerando-se que há a possibilidade de variações não representadas pelos valores historicamente observados, e devido ao número reduzido de elementos na amostra, considerou-se inclusive a opinião

de especialistas representantes da Dersa, da gerenciadora, da supervisora de obras e da empreiteira, conforme descrito a seguir.

ESTIMATIVA DOS TEMPOS DE DURAÇÃO DAS ATIVIDADES

Como mencionado no início, o método de simulações consiste em calcular, diversas vezes, a data final das etapas principais e da data de término do Projeto⁶. Em cada uma das vezes, o software utiliza durações sorteadas para cada uma das atividades que compõem o escopo de execução das obras. Ou seja, a cada iteração as durações das atividades são sorteadas de acordo com as respectivas probabilidades. Para isso é necessário informar ao software de simulação qual a curva de probabilidade de duração de cada atividade do escopo. No caso do presente estudo foi considerado que cada atividade segue uma distribuição triangular. Para determinação dessa distribuição foi necessário estimar três valores de duração para cada atividade, a saber: otimista, mais provável e pessimista.

As durações – otimista, mais provável e pessimista – foram obtidas como resultado de uma média que considerou, por um lado, os dados históricos tal como mostrado no item anterior; e, por outro lado, a estimativa dos profissionais especialistas.

A tabela 1 mostra um exemplo do cálculo da estimativa de tempo para execução das aduelas 1 a 5 da OAE-402⁷. A figura 4 mostra um exemplo da distribuição de probabilidade resultante quando considerados as estimativas médias da citada tabela 1.

A curva de distribuição de probabilidade de duração de cada atividade foi introduzida no modelo. O @RISK permite que o usuário atribua as distribuições de probabilidade diretamente na coluna do MS Project que normalmente utilizamos para informar a duração das atividades.

Uma dica para quem for utilizar a metodologia é atribuir a distribuição de probabilidades não diretamente à coluna “duração das atividades”, mas sim à coluna “duração restante”. Dessa forma podemos simular inclusive as atividades que já iniciaram. Além disso, nesse caso, não se devem indicar os tempos pessimistas e otimistas, mas sim as respectivas variações percentuais dos tempos otimistas e pessimistas, com relação à duração mais provável considerada. Para isso calculamos as variações percentuais apresentadas na tabela 1 citada.

Atribuída uma curva de probabilidade

de duração para cada atividade, fizemos o software @RISK efetuar mil simulações⁸, obtendo-se, portanto, para cada simulação uma data de término do projeto. Esses mil resultados foram então representados em uma curva estabelecendo a probabilidade de término do projeto. O item a seguir mostra as formas de apresentação dos resultados.

RESULTADOS OBTIDOS

Análise da data de término do projeto

O objetivo neste artigo é o de introduzir o leitor na utilização da análise quantitativa de riscos. Assim, apresentamos apenas um exemplo didático e não todos os resultados obtidos. De fato, no trabalho foram obtidos resultados mais analíticos para cada uma das duas OAE’s estudadas. Foram realizadas análises separadas para ponte interna e ponte externa (ida e vinda do tráfego) e em cada ponte foram extraídos resultados parciais por atividade, inclusive duração média e desvio padrão de cada atividade.

Há uma variedade de formas de apresentação dos resultados para as estimativas de término da obra. A forma mais resumida e prática para leitura é a curva de probabilidades acumuladas.

Como visto acima, o software efetuou as simulações, fornecendo, portanto, para cada simulação uma data de término do projeto. O conjunto das datas de término obtido foi então representado em uma curva que corresponde à probabilidade acumulada para o término do Projeto. A figura 5 ilustra um exemplo de curva de probabilidade acumulada. No caso trata-se do término da ponte OAE 402.

Essa forma de apresentar os resultados possibilita avaliar o risco de não se terminar a obra em determinado prazo.

O estudo deveria avaliar se seria possível adiantar a inauguração do trecho do Rodoanel. O gráfico apresentado mostra que se a data considerada for, por exemplo, dia 11/01/2010 então haverá somente 5% de chance da obra terminar antes da data considerada. Assim, uma vez que a inauguração do Trecho Sul do Rodoanel depende da ponte em análise, constata-se que há 95% de chances de atrasar.

Por outro lado, se a data de inauguração for 20/02/2010, as chances de término já aumentam para 95% – contudo ainda há um risco de 5% de não atendimento. Assim, a recomendação é que se estude uma forma de acelerar a execução das atividades críticas e, por outro lado, controlar melhor as variações nos prazos de execução de cada atividade, instaurando

medidas de mitigação desses riscos.

O software utilizado permite informar a confiabilidade e ele imediatamente calcula o resultado representado na curva. Para 99,9% de confiabilidade obtém-se a data de 07/03/2010, ou seja, a partir dessa data o risco de atraso será menor que 0,1%.

Portanto, se considerada a inauguração para abril/2010, observa-se que a OAE 402 não apresenta risco significativo de atraso.

Outros resultados dizem respeito às atividades críticas e são apresentados a seguir.

Análise das atividades críticas

Identificar as atividades críticas é fundamental, pois o controle do prazo final do projeto depende principalmente do controle das atividades que mais influenciam no término do projeto.

As atividades críticas podem ser identificadas segundo dois critérios. Primeiramente, as que são chamadas críticas em sentido estrito por participarem do caminho crítico⁹ calculado na rede CPM¹⁰. Mas também serão identificadas aquelas atividades críticas cuja variação apresenta maior correlação com a variação do término da obra ou de sua etapa.

Análise do caminho crítico

Para o primeiro caso, o software de gerenciamento de projeto (no caso o MS Project), calcula e apresenta o caminho crítico resolvendo a rede de atividades. Porém, deve-se notar que no presente estudo, por se tratar de durações probabilísticas, em cada simulação pode acontecer que o caminho crítico mude. Atividades que não pertenciam ao caminho crítico podem passar a pertencer e vice-versa, dependendo da simulação, ou seja, da aleatoriedade, própria do método, que, conforme dito [vide nota (1)], utiliza o sorteio segundo uma distribuição de probabilidade para a escolha dos dados de entrada.

A tabela 2 apresenta um exemplo de identificação das atividades críticas. Pode-se observar que a coluna da direita indica a porcentagem das vezes que a atividade esteve no caminho crítico, consideradas as várias simulações.

Entretanto, comparando duas atividades que estão no caminho crítico, ainda assim uma pode impactar mais o projeto do que outra – para isso o software efetua uma análise de sensibilidade do resultado conforme explicado a seguir.

Análise de sensibilidade

Comparando duas atividades que estão no caminho crítico, uma pode impactar o projeto mais do que outra. Por exemplo, considere-se A1 e A2, duas atividades no caminho crítico, sendo que A1 tem o dobro de duração de A2. Nesse caso um atraso de 10% de uma atividade A1 impacta mais o término do projeto do que o atraso de 10% na atividade A2. Para identificar isso, o software utilizado faz uma análise de sensibilidade do resultado do projeto, identificando as atividades que mais impactam o prazo total para conclusão do projeto.

A análise de sensibilidade determina qual a correlação entre a variação de dura-

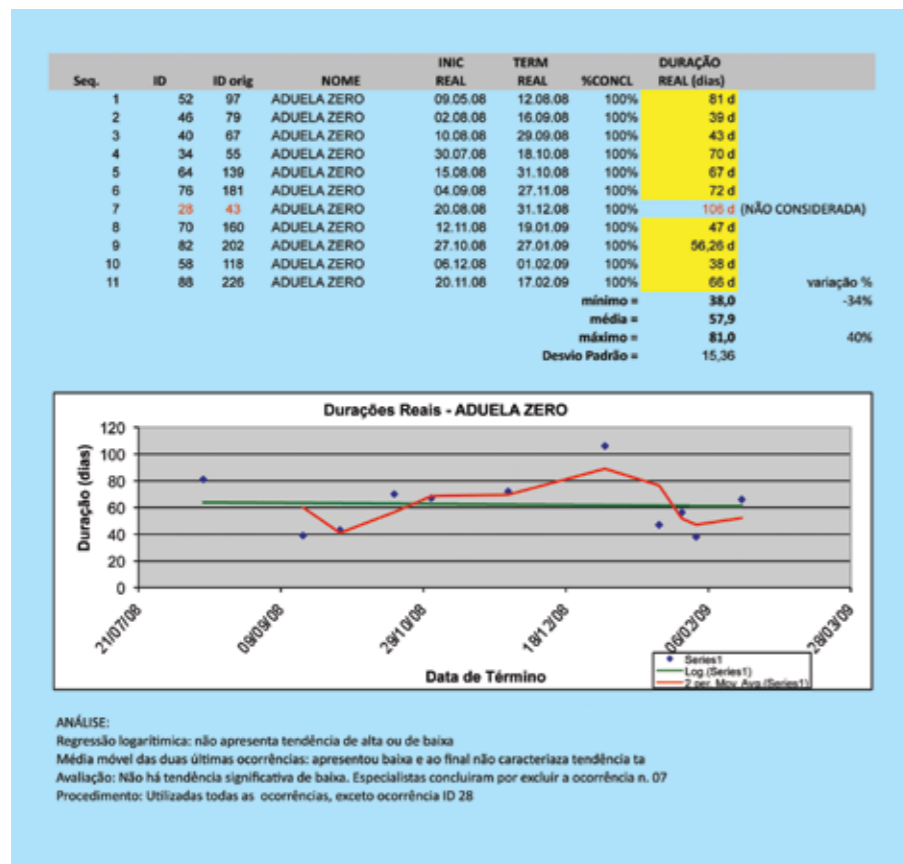


Figura 3 - Exemplo de análise de tempos históricos

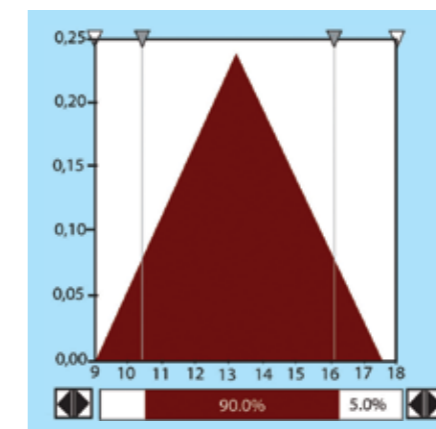


Figura 4 - Distribuição de probabilidade para duração da execução da aduela 5

Atividade	Especialistas	Duração - (dias)			Variação %	
		otimista	mais provável	pessimista	otimista	pessimista
ADUELA DE 1 A 5	Executora	10	12	15	-17%	25%
	Supervisora	11	13	15	-15%	15%
	DERSA	12	14	16	-14%	14%
	Gerenciadora	10	12	14	-17%	17%
	Média dos Especialistas	10,75	12,75	15,00	-16%	18%
	Histórico	11	15	18	-22%	21%
	Média	10,92	13,21	15,65	-17%	18%

Tabela 1 - Cálculo das estimativas das durações das atividades

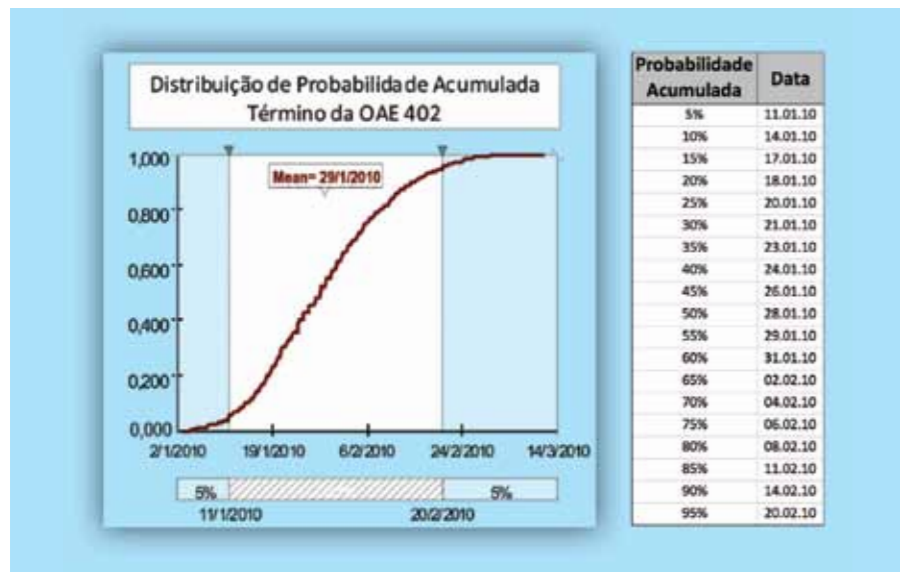


Figura 5 - Curva de probabilidade acumulada

ID	NOME	Duração	Duração Restante	Início	Término	% Concluída	Critica	% no Caminho Crítico
1	OAE 402 - PONTE SOBRE A BILLINGS	710,33 dias	328,15 dias	11.02.08	21.01.10	54%	Sim	100,00%
136	PONTE EXTERNA	659,33 dias	344,02 dias	06.03.08	25.12.09	48%	Sim	100,00%
270	ACABAMENTOS PE	90 dias	90 dias	23.10.09	21.01.10	0%	Sim	100,00%
137	Apoio 8e - ENCONTRO	659,33 dias	294,29 dias	06.03.08	25.12.09	55%	Sim	97,60%
140	TABULEIRO CIMBRADO	79 dias	79 dias	12.09.09	30.11.09	0%	Sim	97,60%
141	CORTINA	12,5 dias	12,5 dias	30.11.09	12.12.09	0%	Sim	97,60%
142	ALAS	8,25 dias	8,25 dias	12.12.09	21.12.09	0%	Sim	97,60%
143	LAJE DE TRANSIÇÃO	4,25 dias	4,25 dias	21.12.09	25.12.09	0%	Sim	97,60%
52	ADUELA ZERO	71,17 dias	59,17 dias	27.02.09	03.06.09	17%	Sim	76,10%
73	ADUELA ZERO	71,17 dias	34,69 dias	20.01.09	20.04.09	51%	Sim	76,10%
162	Apoio 6e	416,33 dias	273,25 dias	10.10.08	30.11.09	34%	Sim	76,10%
167	ADUELA ZERO	71,17 dias	71,17 dias	19.05.09	30.07.09	0%	Sim	76,10%
168	TRELIÇA	10 dias	10 dias	30.07.09	09.08.09	0%	Sim	76,10%
169	BALANÇO SUCESSIVO	103,55 dias	103,55 dias	09.08.09	20.11.09	0%	Sim	76,10%
170	Aduela 1	13,21 dias	13,21 dias	09.08.09	22.08.09	0%	Sim	76,10%
171	Aduela 2	13,21 dias	13,21 dias	22.08.09	04.09.09	0%	Sim	76,10%
172	Aduela 3	13,21 dias	13,21 dias	04.09.09	17.09.09	0%	Sim	76,10%
173	Aduela 4	13,21 dias	13,21 dias	17.09.09	30.09.09	0%	Sim	76,10%
174	Aduela 5	13,21 dias	13,21 dias	30.09.09	14.10.09	0%	Sim	76,10%
175	Aduela 6	7,5 dias	7,5 dias	14.10.09	21.10.09	0%	Sim	76,10%
176	Aduela 7	7,5 dias	7,5 dias	21.10.09	29.10.09	0%	Sim	76,10%
177	Aduela 8	7,5 dias	7,5 dias	29.10.09	05.11.09	0%	Sim	76,10%
178	Aduela 9	7,5 dias	7,5 dias	05.11.09	13.11.09	0%	Sim	76,10%
179	Aduela 10	7,5 dias	7,5 dias	13.11.09	20.11.09	0%	Sim	76,10%
180	ADUELA DE FECHAMENTO 6e / 7e	9,75 dias	9,75 dias	20.11.09	30.11.09	0%	Sim	76,10%
181	Apoio 5e	402,33 dias	282,66 dias	24.10.08	30.11.09	30%	Não	2,40%
186	ADUELA ZERO	71,17 dias	71,17 dias	08.05.09	18.07.09	0%	Não	2,40%
187	TRELIÇA	10 dias	10 dias	18.07.09	28.07.09	0%	Não	2,40%
188	BALANÇO SUCESSIVO	110,55 dias	110,55 dias	28.07.09	16.11.09	0%	Não	2,40%
189	Aduela 1	13,21 dias	13,21 dias	28.07.09	11.08.09	0%	Não	2,40%
190	Aduela 2	13,21 dias	13,21 dias	11.08.09	24.08.09	0%	Não	2,40%
191	Aduela 3	13,21 dias	13,21 dias	24.08.09	06.09.09	0%	Não	2,40%
192	Aduela 4	13,21 dias	13,21 dias	06.09.09	19.09.09	0%	Não	2,40%
193	Aduela 5	13,21 dias	13,21 dias	19.09.09	02.10.09	0%	Não	2,40%
194	Aduela 6	7,5 dias	7,5 dias	02.10.09	10.10.09	0%	Não	2,40%
195	Aduela 7	7,5 dias	7,5 dias	10.10.09	17.10.09	0%	Não	2,40%
196	Aduela 8	7,5 dias	7,5 dias	17.10.09	25.10.09	0%	Não	2,40%
197	Gerber	7 dias	7 dias	25.10.09	01.11.09	0%	Não	2,40%
198	Aduela 9	7,5 dias	7,5 dias	01.11.09	08.11.09	0%	Não	2,40%
199	Aduela 10	7,5 dias	7,5 dias	08.11.09	16.11.09	0%	Não	2,40%
207	ADUELA ZERO	71,17 dias	67,67 dias	12.03.09	23.05.09	5%	Não	2,40%
201	ADUELA DE FECHAMENTO 4e / 5e	9,75 dias	9,75 dias	16.11.09	26.11.09	0%	Não	1,50%
200	ADUELA DE FECHAMENTO 5e / 6e	9,75 dias	9,75 dias	20.11.09	30.11.09	0%	Não	0,90%

Tabela 2 - Atividades no caminho crítico

ção das atividades, por um lado, e a variação de duração do término do projeto, por outro lado. Ou seja, conforme visto, em uma simulação para uma mesma atividade são atribuídas diferentes durações, uma em cada iteração. Por outro lado, também será obtida uma série de datas para o término do projeto. Assim, ao término da simulação é possível analisar a correlação que esse conjunto de durações da atividade guarda com as correspondentes durações do projeto.

A figura 6 apresenta um exemplo de Diagrama de Tornado¹¹ e uma tabela relacionando o coeficiente de correlação com as atividades.

Para entender esse conceito temos que ter em vista que cada iteração utiliza uma duração para determinada atividade e fornece uma data de término para o projeto. Assim, se forem executadas mil iterações, para cada atividade teremos mil pares de valores que podemos representar por (x_n, y_n) . Sendo x_n a duração da atividade 1 na iteração n e y_n duração do projeto resultante da iteração n.

Se for identificado que há uma forte correlação entre a duração da atividade 1 com a duração do projeto então é de se esperar que um atraso nessa atividade repercutirá em atraso no projeto; ou, inversamente, um adiantamento no término de determinada atividade deverá repercutir na antecipação do término do projeto.

O coeficiente de correlação é um indicador estatístico que representa o grau em que duas variáveis estatísticas se correlacionam. No caso, o coeficiente de correlação indicará o grau em que a estatística "duração da atividade 1" se relaciona com a estatística "duração do projeto".

O coeficiente de correlação assume, no máximo, o valor de 1, significando correlação perfeita entre a duração da atividade em questão e os tempos de término do projeto calculados pelo software. Correlação perfeita significa que se os dados estiverem dispostos em um gráfico, os mesmos estarão perfeitamente alinhados.

Contudo normalmente não ocorrerá o coeficiente com valor 1, pois em geral haverá várias atividades com variação de duração aleatória condicionando o término do projeto. Para entender isso, suponhamos que o término do projeto depende de três atividades executadas em sequência: A_1 , A_2 e A_3 . Então em cada sorteio (iteração) teremos três valores de duração para D_1 , D_2 e D_3 , que estarão associados à duração do projeto D_p . Nesse caso D_p será a soma das durações das três

atividades. Fica evidente portanto que, uma vez que a duração do projeto D_p não depende somente de uma das atividades – por exemplo, A_1 – a correlação com essa atividade A_1 não será perfeita pois a variação de duração das demais atividades influi na duração do projeto, independente da variação de A_1 .

Por outro lado, suponhamos que A_1 dure dez vezes mais que as demais A_2 e A_3 juntas. Então, mesmo que a incerteza de variação de cada uma seja a mesma (por exemplo, tempo otimista e pessimista variando 15% em torno da média), é intuitivo que o coeficiente de correlação com A_1 será bem maior do que com A_2 e A_3 pelo fato de ser uma atividade de maior duração. O mesmo raciocínio pode ser feito considerando as incertezas. Se o intervalo entre o tempo otimista e pessimista for muito maior para a atividade 1 do que para as atividades 2 e 3, então a atividade 1 se mostrará mais correlacionada ao término do projeto.

Sendo assim, concluímos que apesar das três atividades estarem no caminho crítico, aquela que tiver maior duração e maior incerteza, terá mais influência no término do projeto.

Entretanto, deve-se considerar com alguma relevância os coeficientes com valores superiores a 0,3¹². Valores inferiores a 0,3 podem se referir a uma relação simplesmente aleatória, pois a correlação não representa necessariamente uma relação de causa e efeito.

CONCLUSÃO

A aplicação prática apresentada mostrou que a análise quantitativa de riscos é um instrumento poderoso para a estimativa do término do Projeto¹³. Por meio das simulações foi possível obter a confiança (probabilidade) de que o Projeto termine em determinada data.

Contudo, em qualquer estudo os resultados dependem dos dados de entrada. Na aplicação prática é fundamental identificar as circunstâncias próprias do projeto em questão. Em geral os dados não estão prontamente disponíveis. Há a necessidade de tratamentos que garantam a representatividade das estimativas. No caso, essas estimativas referem-se às durações das atividades que compõem a rede de precedências planejada. A partir dessas estimativas e da rede de precedências é que ficará definido o cronograma. Assim, é necessário aplicar procedimentos adequados para a obtenção dessas estimativas.

Para viabilizar a referida obtenção dos

dados de entrada, foi desenvolvida, pelo autor, a metodologia apresentada no início. Essa metodologia permitiu, por meio de etapas sucessivas, o refinamento da precisão dos dados de entrada, e a gradual familiarização dos envolvidos com os conceitos da análise quantitativa de riscos.

Os dados, então, permitiram a realização de simulações por meio de um software especialista¹⁴.

Além de estimar o término do Projeto, o software permitiu identificar as atividades críticas – a saber, aquelas que mais fortemente estão relacionadas com o prazo de execução. Dessa forma, foi possível orientar os executores em relação ao planejamento, para que focalizassem as soluções nestas atividades críticas.

Os estudos foram desenvolvidos em março de 2009 para a OAE-314, e em abril do mesmo ano para a OAE-402 – e permitiram chegar aos resultados a seguir, que consideram o planejamento de execução que havia na época. Ou seja, foram considerados os processos produtivos, a rede de precedências em utilização e as estimativas de duração históricas dos especialistas. Simplificadamente, com base nessas condicionantes, os estudos mostraram as seguintes perspectivas de conclusão das obras:

1) Para a OAE-402, havia 5% de chance de término antes de 11/01/2010, e 95% de chance de término antes de 20/02/2010.

2) Já para a OAE-314 a perspectiva era a de 5% de chance de término antes de

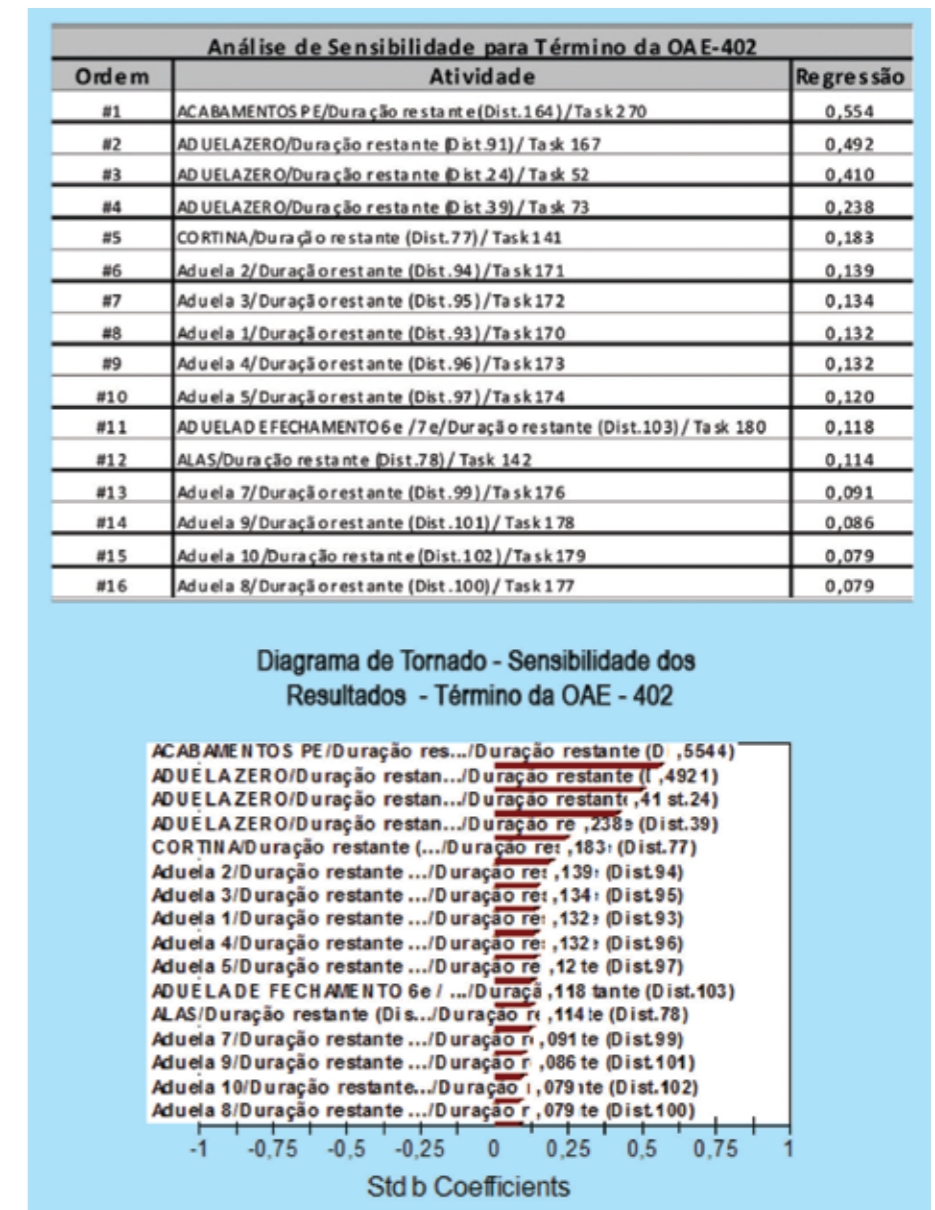


Figura 6 - Diagrama de Tornado

07/04/2010, e de 95% de chance de término antes de 20/05/2010.

Havia a intenção de se antecipar a data de inauguração de 27 de março de 2010 para final de novembro de 2009 e os resultados dos estudos mostraram a dificuldade para realização dessa intenção.

Por outro lado, para a OAE-314 até mesmo a meta de abril de 2010 só poderia ser atingida, com segurança, por meio de uma revisão do planejamento. Isso pôde ser mostrado objetivamente, graças à técnica de quantificação de riscos.

Contudo consideramos que o maior benefício propiciado pelo estudo não está simplesmente na conclusão numérica. A simples apresentação dos resultados seria alarmante, mas não teria preparado a possibilidade de reestruturação do planejamento. O maior benefício foi propiciado pela metodologia empregada. A forma de condução dos trabalhos permitiu transmitir aos envolvidos o significado da técnica quantitativa de análise

de riscos. Por outro lado, as reuniões promoveram o intercâmbio de conhecimentos e a interação das equipes, obtendo o comprometimento de todos. Desse modo, ficou claro o problema – e também foi possível contribuir para que, em seguida, as equipes pudessem desenvolver as soluções que levariam ao término das pontes, de modo a não comprometer a data prevista para a inauguração do Trecho Sul do Rodoanel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] COHEM, J. - Statistical power analysis for the behavioral sciences. (2nd ed.), (1988), apud, Wikipedia, the free encyclopedia, Correlation. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Correlation> (Acessado em 20/08/2009).
 [2] COSTA NETO, PEDRO LUÍS DE OLIVEIRA - Estatística. Ed. Blücher, São Paulo, 1977.
 [3] PALISADE CORPORATION - Guide to Using, @RISK For Project, Risk Analysis and Simulation Add-in for Microsoft Project. Version 4.1, setembro, 2005, Ithaca, NY USA.

[4] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, PMI - Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK®). 3. ed. Four Campus Boulevard, Newtown Square, PA 19073-3299 EUA, 2004. p. 5, 46, 77, 312.

[5] THOMAZ, EDUARDO C. S. - Ponte em Balanços sucessivos. Notas de Aula. Disponível em http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/baumgart_ponte_rio_do_peixe.pdf (Acessado em 31/08/2009).

[6] TRIBUNA DO PLANALTO - Escola, Arquiteto da natureza, 6/09/2008. Disponível em <http://www.tribunadoplanalto.com.br/modules.php?name=News&file=article&sid=6183> (Acessado em 20/08/2009).

* Paulo Warschauer é engenheiro de produção pela EPUSP, certificado pelo PMI, colaborador da DUCTOR Implantação de Projetos Ltda. Atua em processos de implantação de projetos desde 1985. Tem ministrado cursos de gerenciamento de projetos, incluindo de análise de risco em conformidade com as diretrizes do PMI E-mail: paulowarschauer@ductor.com.br

Notas

¹ Método Monte-Carlo: Leva esse nome o método de simulações que utiliza o sorteio para gerar os dados de entrada utilizados em cada simulação. No presente trabalho foi utilizado um aprimoramento do método Monte-Carlo designado Latin Hypercube. Ambos os métodos estão disponíveis no software @RISK utilizado. O método Latin Hypercube também utiliza o sorteio, mas o faz de modo que, com um menor número de iterações, os tempos das atividades já representem as distribuições de probabilidade utilizadas nos dados de entrada.
² O software utilizado foi o @RISK da Palisade Corporation, o qual utiliza o MS Project da Microsoft, para cálculo do término do projeto.
³ PMBOK® - A Guide to the Project Management Body of Knowledge (Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos), editado pelo PMI - Project Management Institute.
⁴ O método de balanço sucessivo foi concebido pelo engenheiro brasileiro Emilio Baumgart, em 1930. Fonte Thomaz, Eduardo C. S. Ponte em Balanços sucessivos. Notas de Aula. Disponível em http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/baumgart_ponte_rio_do_peixe.pdf (Acessado em 31/08/09).
⁵ Método construtivo utilizado pelos cupins inspirou Baumgart. Vide <http://www.tribunadoplanalto.com.br/modules.php?name=News&file=article&sid=6183> e; <http://www.scb.org.br/inspiracao/naturezaviva/2k20830.asp>
⁶ O termo Projeto está sendo utilizado com a significação de empreendimento, que no caso

é a execução das obras das referidas pontes. Projeto não deve ser confundido com o projeto de engenharia. A palavra em inglês para Projeto é Project, por outro lado a palavra em inglês para projeto de engenharia é design.
⁷ As aduelas são anéis de que a ponte é composta. Em sua maioria as aduelas são fabricadas em terra e içadas para serem incorporadas à estrutura. Desse modo a ponte vai sendo construída em balanço até encontrar o outro trecho que vem sendo construído em sentido contrário. A aduela inicial, junta ao pilar, é denominada aduela zero. A última aduela é denominada aduela de fechamento. As aduelas 1 a 5 foram consideradas pelos especialistas como sendo semelhantes com relação ao tempo de execução, assim como foram consideradas semelhantes as aduelas 6 a 10.
⁸ Observou-se que no caso com apenas 100 iterações os resultados já convergiam de maneira suficiente para orientar as equipes de planejamento, contudo optamos por maximizar essa convergência.
⁹ Caminho Crítico: É composto pelas atividades para as quais a sequência de execução não apresenta folgas. Considera-se que, essa sequência é determinada pelas precedências necessárias. Simplificadamente, precedência necessária significa que, para que se inicie uma atividade é necessário que a atividade precedente esteja concluída.
¹⁰ CPM ou Critical Path Methodo (Método do Caminho crítico (vide nota anterior), a partir da resolução da rede de atividades necessárias para a execução da obra, considerando as durações e relações de precedências das mesmas. Há vários softwares que utilizam esse método, sendo que o utilizado nesse

estudo foi o MS Project da Microsoft.
¹¹ Diagrama de Tornado: Recebe esse nome, pois o desenho acaba assumindo a forma de um tornado, uma vez que as atividades são ordenadas em ordem decrescente do coeficiente de correlação.
¹² Sobre a significância do coeficiente de correlação (r): O coeficiente de correlação ao quadrado (r²) é chamado de coeficiente de determinação. Ou seja, quando r²=1, indica que a relação entre as duas variáveis em estudo está totalmente explicada por uma reta que passa pelos pontos. Quando r² é menor do que 1 indica que há uma parte da relação entre as variáveis, que não está explicada pela reta, ou seja, que os pontos não estão perfeitamente alinhados. Costa Neto alerta para o fato de que, se o coeficiente de correlação r = 0,7, então r² = 0,49, "... significando que a reta de regressão não consegue explicar nem a metade da variação ...". (Costa Neto, 1977, p. 200). Muitos autores têm oferecido parâmetros para a interpretação do coeficiente de correlação. A princípio pode-se considerar que: entre 0,0 e 0,3 a correlação é baixa; entre 0,3 e 0,5 a correlação é média e; entre 0,5 e 1,0 a correlação é alta. Entretanto Cohem (1988) observou que a interpretação depende do contexto. Por exemplo, para testar leis físicas a correlação de 0,9 pode ser considerada baixa. vide: (<http://en.wikipedia.org/wiki/Correlation>).
¹³ O termo Projeto se refere a empreendimento, conforme esclarecido na nota de rodapé numero 6.
¹⁴ Conforme já mencionado o software utilizado foi o @RISK da Palisade Corporation, vide nota 2.

Auditoria de segurança rodoviária: uma carência brasileira

CÁSSIO EDUARDO LIMA DE PAIVA*
 CRESO DE FRANCO PEIXOTO**

O número de acidentes rodoviários tem aumentado consideravelmente ano a ano no Brasil. Elevar a qualidade das vias e seus entroncamentos por meio de estudos anteriores a acidentes, na forma de auditoria de segurança viária, permite evitar a concentração de acidentes para a tomada de decisões, bem como transformar todas as fases de um empreendimento viário em um sistema orgânico. A auditoria permite harmonizar as distintas fases, do projeto à operação e à manutenção, focada na qualidade de via do usuário bem como no fomento à autossustentabilidade de todo o empreendimento.



Rodoanel Mário Covas, trecho oeste