



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA

NÚCLEO DE COMPUTAÇÃO ELETRÔNICA - INSTITUTO DE MATEMÁTICA

MESTRADO EM INFORMÁTICA

CARLOS EDUARDO MENDES DE AZEVEDO

**Um Método para Determinação do Máximo
Retorno Financeiro em Projetos de Software
usando Modelos Estocásticos**

RIO DE JANEIRO

2007

CARLOS EDUARDO MENDES DE AZEVEDO

**Um Método para Determinação do Máximo
Retorno Financeiro em Projetos de Software
usando Modelos Estocásticos.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientador: Eber Assis Schmitz

RIO DE JANEIRO

2007

FOLHA DE APROVAÇÃO

CARLOS EDUARDO MENDES DE AZEVEDO

**Um Método para Determinação do Máximo
Retorno Financeiro em Projetos de Software
usando Modelos Estocásticos**

Rio de Janeiro, 27 de fevereiro de 2007

Prof.: Eber Assis Schmitz, Ph. D.
DCC-IM/NCE – UFRJ (Orientador)

Prof.: Antônio Juarez Alencar, D.Phil.
DCC-IM – UFRJ

Renato Flório Cameira, D. Sc.
Escola Politécnica - UFRJ

RESUMO

AZEVEDO, Carlos Eduardo Mendes. **Um método para determinação do máximo retorno financeiro em projetos de software usando modelos estocásticos**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Descreve um método para determinar, através de uma modelagem baseada em processos estocásticos, o máximo retorno financeiro de um projeto de software, através do melhor ordenamento de seus componentes básicos, as atividades denominadas Pacote Mínimo Comercializáveis (PMC). É fornecida uma introdução sobre PMCs, e são apresentadas as estratégias para a estimativa do valor presente líquido do projeto, através do uso de solução via força bruta e da heurística IFM, que trata financeiramente o desenvolvimento de software. Através de diferentes modelos de previsão, os fluxos de caixa de cada período são previstos, vários cenários são simulados e a melhor sequência de ordenamento dos PMCs é então escolhida.

Palavras-chave: Gerência de Projetos. Processos estocásticos. *Minimum Marketable Feature*. Pacote Mínimo Comercializável. Valor Presente Líquido. Modelos de previsão.

ABSTRACT

AZEVEDO, Carlos Eduardo Mendes. **Um método para determinação do máximo retorno financeiro em projetos de software usando modelos estocásticos.** 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

This research introduces a method for maximizing project's Net Present Value, determining, through a stochastic process based model, the best sequence feature delivery, in units of customer-valued functionality known as Minimum Marketable Feature. A quick introduction to MMFs is also shown, as well strategies to calculate NPV, using brute force approach and IFM heuristic, a data-driven financially-informed solution to software development. Using distinct forecasting models, cash flow of each period is forecasted, several scenarios are simulated and the best MMF sequence is then selected.

Keywords: Project Management. Stochastic process. Minimum Marketable Features. Net Present Value. Forecasting models.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Éber, pelo tempo dedicado e enorme paciência na ajuda da confecção deste trabalho.

Aos meus pais, Vitório e Therezinha, pois devo muito a eles por ter conseguido chegar até aqui.

À minha esposa e amiga de todas as horas, Carmelita, que sempre esteve ao meu lado, me incentivando e apoiando em todas as aspirações e decisões profissionais que tomei na vida.

Às minhas queridas filhas, Thaís e Isabela, pela compreensão do tempo de convívio que tivemos de abdicar em função deste objetivo.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AoA	<i>Activity on Arc</i>
AoN	<i>Activity on Network</i>
AR	Auto-regressão
ARMA	<i>Auto-regression and mobile average</i>
ARIMA	<i>Auto-regression integrated with mobile average</i>
ASP	<i>Application Service Provider</i>
CCPSP	<i>Capital Constrained Project Scheduling Problem</i>
EA	Elemento de arquitetura
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
IFM	<i>Incremental Funding Method</i>
IRR	<i>Internal Rate Return</i>
MA	<i>Mobile average</i>
MAB	Movimento Aritmético Browniano
MGB	Movimento Geométrico Browniano
MMF	<i>Minimum Marketable Feature</i>
MRM	Movimento de Reversão à Média
NPV	<i>Net Present Value</i>
PEP	Problema de escalonamento de projetos
PMC	Pacote Mínimo Comercializável
PSP	<i>Payment Scheduling Problem</i>
RCPSP	<i>Resource Constrained Project Scheduling Problem</i>
RCPSPDC	<i>Resource Constrained Project Scheduling Problem with Discounted Cash Flows</i>
RLP	Problema de escalonamento de projetos com <i>resource levelling</i>
ROI	Retorno sobre investimento
RUP	<i>Rational Unified Process</i>
SANPV	<i>Sequence-Adjusted Net Present Value</i>
SARIMA	<i>Seasonal auto-regression integrated with mobile average</i>
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i>
TI	Tecnologia da Informação
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido
WSANPV	<i>Weighted Sequence-Adjusted Net Present Value</i>

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PERÍODO DE <i>PAYBACK</i> DE UM PROJETO	22
FIGURA 2. EXEMPLO DE MOVIMENTO ARITMÉTICO BROWNIANO.....	32
FIGURA 3. EXEMPLO DE MAB, COM INTERVALO DE CONFIANÇA DE 66%.....	33
FIGURA 4. EXEMPLO DE MOVIMENTO GEOMÉTRICO BROWNIANO.....	34
FIGURA 5. EXEMPLO DE MOVIMENTO DE REVERSÃO À MÉDIA.....	36
FIGURA 6. EXEMPLO DE UM GRAFO DE PRECEDÊNCIA DE PMCs.....	41
FIGURA 7. PRECEDÊNCIAS DOS PMCs	52
FIGURA 8. GRÁFICO DE SEQÜÊNCIAS (DISTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DE PROBABILIDADE)	64
FIGURA 9. GRAFO DE PRECEDÊNCIA DOS EAs E PMCs DO PROJETO	67
FIGURA 10. DISTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DE PROBABILIDADES (FORÇA BRUTA).....	70
FIGURA 11. DISTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DE PROBABILIDADES (HEURÍSTICA IFM)	72
FIGURA 12. SEQÜÊNCIAS PARA PROJETO COM 5 PMCs INDEPENDENTES, UNIFORME	81
FIGURA 13. SEQÜÊNCIAS PARA PROJETO COM 10 PMCs DEPENDENTES.....	82
FIGURA 14. SEQÜÊNCIAS PARA PROJETO COM 10 PMCs INDEPENDENTES	83

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. MÉTRICAS PARA OS CRITÉRIOS DE RETORNO FINANCEIRO	22
QUADRO 2. EXEMPLOS DE MODELOS DE PREVISÃO	36
QUADRO 3. TABELA DE FLUXO DE CAIXA PARA UM PROJETO COM 3 PMCs	42
QUADRO 4. CÁLCULO DE VPL PARA SEQÜÊNCIA ABC	43
QUADRO 5. CÁLCULO DE VPL PARA SEQÜÊNCIA BAC	43
QUADRO 6. CÁLCULO DE VPL PARA SEQÜÊNCIA CAB	43
QUADRO 7. DESCRIÇÕES DOS PMCs	49
QUADRO 8. ELEMENTOS DE INFRA-ESTRUTURA	50
QUADRO 9. DEPENDÊNCIAS ARQUITETURAIS	51
QUADRO 10. FLUXO DE CAIXA DE CADA PMC POR PERÍODOS	54
QUADRO 11. VALORES PRESENTES DOS FLUXOS DE CAIXA DO PMC3, A 2,5% AO PERÍODO.	55
QUADRO 12. VALORES DE SANPV E WSANPV PARA CADA STRAND POR PERÍODO	56
QUADRO 13. FAIXA DE VALORES PARA OS FLUXOS DE CAIXA DO PMC4	61
QUADRO 14. VALORES ESTOCÁSTICOS DE VPLS ENCONTRADOS EM 5000 AMOSTRAS	62
QUADRO 15. VALORES DE FLUXO DE CAIXA E CUSTO DE DESENVOLVIMENTO DOS PMCs	68
QUADRO 16. RESULTADOS DO MÉTODO, USANDO FORÇA BRUTA – PRIMEIRO PASSO	69
QUADRO 17. RESULTADOS DO MÉTODO, USANDO FORÇA BRUTA – SEGUNDO PASSO	70
QUADRO 18. RESULTADOS DO MÉTODO, COM IFM – PRIMEIRO PASSO	71
QUADRO 19. RESULTADOS DO MÉTODO, COM IFM – SEGUNDO PASSO	71
QUADRO 20. VALORES USADOS PARA O SORTEIO DOS FLUXOS DE CAIXA	76
QUADRO 21. DETERMINAÇÃO DO NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS	77
QUADRO 22. SEQÜÊNCIAS OBTIDAS (5 PMCs COM DEPENDÊNCIA)	80
QUADRO 23. SEQÜÊNCIAS OBTIDAS (5 PMCs INDEPENDENTES)	80
QUADRO 24. SEQÜÊNCIAS OBTIDAS PARA 10 PMCs, COM DEPENDÊNCIA	81
QUADRO 25. SEQÜÊNCIAS PARA PROJETO COM 10 PMCs INDEPENDENTES	83

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1. VALOR PRESENTE	17
EQUAÇÃO 2. RETORNO SOBRE INVESTIMENTO	18
EQUAÇÃO 3. VALOR PRESENTE LÍQUIDO.....	19
EQUAÇÃO 4. PERÍODO DE RETORNO	19
EQUAÇÃO 5. TAXA INTERNA DE RETORNO	20
EQUAÇÃO 6. FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	24
EQUAÇÃO 7. AUTO REGRESSÃO DE PRIMEIRA ORDEM	29
EQUAÇÃO 8. PROCESSO DE WIENER	31
EQUAÇÃO 9. INCREMENTO DE WIENER.....	31
EQUAÇÃO 10. PROCESSO DE ITO.....	34
EQUAÇÃO 11. PROCESSO DE ORNSTEIN-UHLENBECK	35
EQUAÇÃO 12. EQUAÇÃO DO CÁLCULO DE WSPANPV	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 APRESENTAÇÃO	12
1.2 MOTIVAÇÃO.....	13
1.3 CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO	13
1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA	14
1.5 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO.....	15
2 O PROBLEMA MAX-NPV	16
2.1 ESCALONAMENTO DE PROJETOS.....	16
2.2 CRITÉRIOS DE RETORNO FINANCEIRO	16
2.2.1 <i>Valor Presente</i>	17
2.2.2 <i>Retorno sobre Investimento</i>	18
2.2.3 <i>Valor Presente Líquido</i>	19
2.2.4 <i>Período de Retorno</i>	19
2.2.5 <i>Taxa Interna de Retorno</i>	20
2.2.6 <i>Projeções de fluxo de caixa</i>	20
2.2.7 <i>Período de Payback</i>	21
2.2.8 <i>Resumo dos critérios de retorno financeiro</i>	22
2.3 O PROBLEMA DE MAXIMIZAÇÃO DE VPL	23
2.3.1 <i>MAXNPV - Modelo determinístico</i>	24
2.4 MODELOS DE PREVISÃO DE RETORNO	25
2.4.1 <i>Conceitos</i>	25
2.4.2 <i>Considerações sobre os modelos</i>	28
2.4.3 <i>Processo de Wiener</i>	30
2.4.4 <i>Escolha do Modelo</i>	36
3 PACOTE MÍNIMO COMERCIALIZÁVEL (PMC)	38
3.1 DEFINIÇÃO	38
3.2 PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO	39
3.3 ELEMENTOS DE ARQUITETURA	40
3.4 PRECURSORES	40
3.5 RETORNO FINANCEIRO DO PROJETO.....	41
3.5.1 <i>MAXNPV de PMCs - Definição formal</i>	45
4 SOLUÇÃO VIA MÉTODO DETERMINÍSTICO.....	47
4.1 HEURÍSTICA IFM.....	47
4.2 UM EXEMPLO	48
4.2.1 <i>Seleção dos PMCs</i>	49
4.2.2 <i>Elementos de arquitetura</i>	50
4.2.3 <i>Precedência dos PMCs</i>	51
4.2.4 <i>Análise financeira dos PMCs</i>	52
4.2.5 <i>Fase Computacional</i>	55
4.3 O ALGORITMO USADO NA HEURÍSTICA IFM	58
5 SOLUÇÃO VIA MODELO ESTOCÁSTICO	60
5.1 FALHAS NO MODELO DETERMINISTA	60
5.2 MODELO ESTOCÁSTICO	60
5.3 ESCOLHA DE UM MODELO DE PREVISÃO	62
5.4 CRITÉRIO DE DECISÃO.....	63

5.4.1	<i>Uso de medidas de resumo</i>	63
5.4.2	<i>Uso de nível de aspiração</i>	64
5.4.3	<i>Uso de equivalente de certeza</i>	65
6	UM MÉTODO PARA DETERMINAR O MAX-NPV	66
6.1	ETAPA INICIAL.....	66
6.2	PRIMEIRO PASSO.....	66
6.3	SEGUNDO PASSO.....	67
6.4	UM EXEMPLO.....	67
6.4.1	<i>Usando o modelo determinista</i>	68
6.4.2	<i>Usando o modelo estocástico</i>	68
7	AVALIAÇÃO EMPÍRICA DO MÉTODO	73
7.1	DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	73
7.1.1	<i>Número de PMCs</i>	73
7.1.2	<i>Tempo de vida do projeto</i>	74
7.1.3	<i>Grafo de precedência dos PMCs</i>	74
7.1.4	<i>Número de períodos de desenvolvimento de cada PMC</i>	75
7.1.5	<i>Valor do custo do desenvolvimento de cada PMC</i>	75
7.1.6	<i>Valor do retorno financeiro de cada PMC por período</i>	75
7.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	76
7.2.1	<i>Escolha dos valores dos fluxos de caixa</i>	76
7.2.2	<i>Geração dos lotes</i>	77
7.2.3	<i>Primeiro passo para determinação das seqüências</i>	79
7.2.4	<i>Segundo passo para determinação das seqüências</i>	79
7.3	RESULTADOS OBTIDOS.....	79
7.3.1	<i>Projeto de menor porte usando fluxo de caixa uniforme</i>	80
7.3.2	<i>Projeto de maior porte usando fluxo de caixa uniforme</i>	81
7.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	84
7.4.1	<i>Projeto de menor porte usando fluxo de caixa uniforme</i>	84
7.4.2	<i>Projeto de maior porte usando fluxo de caixa uniforme</i>	84
8	CONCLUSÃO	86
8.1	A ABORDAGEM FINANCEIRA NOS PROJETOS DE SOFTWARE.....	86
8.2	MODELO DETERMINISTA <i>VERSUS</i> MODELO ESTOCÁSTICO.....	87
8.3	VANTAGENS DO MÉTODO PROPOSTO.....	87
8.4	LIMITAÇÕES.....	88
8.5	TRABALHOS FUTUROS.....	89
8.5.1	<i>O tratamento de restrição de recursos no desenvolvimento de PMCs</i>	89
8.5.2	<i>Grafo genérico de dependência dos PMCs</i>	89
8.5.3	<i>Alteração dos fluxos de caixa em função do período de lançamento</i>	90
8.5.4	<i>Desenvolvimento paralelo de PMCs</i>	90
8.5.5	<i>Consideração sobre serviços e componentes</i>	91
	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

No mundo competitivo atual, projetos novos não são aprovados a menos que haja um claro retorno para o negócio em questão. No ramo de desenvolvimento de software, o tratamento não é diferente. Abordagens como *Rational Unified Process* (KRUTCHEN, 2000), *Extreme Programming* (BECK, 1999) e *Feature-Driven Development* (PALMER, 2002) foram desenvolvidas para permitir maior agilidade e presteza, menor tempo de investimento e um *time-to-market* mais rápido. No entanto, essas abordagens não tratam objetivamente do retorno financeiro do projeto, e muitas vezes essa questão é negligenciada pelos gerentes e responsáveis técnicos. Uma análise financeira do projeto é fundamental, e pode ser obtida pelo posicionamento do desenvolvimento de software como uma atividade de criação de valor, na qual a análise do negócio está inserida (BOEHM, 2003).

Uma das métricas mais usadas para medir o retorno financeiro é chamada de valor presente líquido (VPL) (em inglês, *Net Present Value – NPV*). Portanto, para um projeto ser rentável da melhor maneira possível, deve-se buscar maximizar o seu VPL, e a esse problema chamamos de *max-NPV*. Uma técnica descrita por Mark Denner (2004) para permitir que um projeto de desenvolvimento de software tenha seu VPL maximizado é a decomposição do software em unidades de funcionalidades, denominadas Pacotes Mínimos Comercializáveis (PMC) (em inglês, *Minimum Marketable Feature – MMF*). Cada PMC é um conjunto de características pequenas, auto contidas, que podem ser colocadas rapidamente em modo operacional e que fornecem um valor significativo de mercado ao cliente. Como os recursos são sempre limitados e existem dependências entre PMCs, é praticamente impossível desenvolver todas simultaneamente, sendo necessário definir uma seqüência de desenvolvimento. Visto que cada PMC tem o seu próprio fluxo de caixa, a ordem em que são entregues afeta o retorno financeiro total do projeto. Se um projeto contiver muitas PMCs, poderão existir muitas seqüências possíveis. Qual delas fornecerá o melhor retorno financeiro?

Esse problema cai em uma categoria de problemas, denominada NP-completo, onde não há soluções analíticas conhecidas, sendo necessário calcular e comparar todas as soluções possíveis para então encontrar a melhor. Na verdade, este problema de ordenamento de PMCs é ainda mais complexo que outros problemas similares de escalonamento de projetos,

porque o valor presente líquido de cada PMC muda de acordo com o período no qual ela é seqüenciada. A solução baseada em força bruta, ou seja, na busca exaustiva de todas as seqüências para encontrar a melhor, só é viável para projetos com um pequeno número de PMCs, pois o tempo de busca cresce exponencialmente em função do número delas. A alternativa é o uso de heurísticas, que encontram apenas soluções sub-ótimas. Para o caso em questão, será abordada uma heurística denominada *Incremental Funding Method* (IFM) (DENNE, 2004), que foca especificamente na maximização do retorno financeiro de um projeto.

1.2 Motivação

O problema de maximização de VPL de projetos de software foi estudado em diversos casos de escalonamento de projetos (DEMEULEMEESTER, 2002), mas sempre para modelos onde os valores de fluxos de caixa futuros eram estimados de forma determinista. No entanto, esse tipo de modelo não se aplica bem à realidade, pois na prática tais valores não conseguem ser previstos com exatidão. A incerteza da previsão aumenta com o tempo, ou seja, valores muito à frente no futuro são difíceis de serem acertados com precisão. Assim, é interessante abordar o problema de uma forma mais factível, estimando uma faixa de valores possíveis para os fluxos de caixa, dentro de um intervalo de confiança. Um modelo estocástico se adequa melhor aos casos reais.

Para tornar ainda mais realista o modelo, é necessário fazer uma previsão de como irão variar esses valores de fluxo de caixa ao longo do tempo. É claro que isso depende de cada projeto, pois as características particulares vão influenciar diretamente em suas funcionalidades e na sua aceitação no mercado, alterando os custos e ganhos ao longo do tempo.

1.3 Contribuições deste trabalho

Este trabalho descreve um método para resolver o problema de ordenamento de PMCs, usando um modelo estocástico. Vários cenários são simulados, e através do método de Monte Carlo, o melhor ordenamento é escolhido, baseado na seleção ocorrida para cada um deles. É discutida a questão do uso de modelos de previsão, tais como o modelo auto-regressivo e movimento browniano, que podem ser utilizados para prever o comportamento

ao longo do tempo dos fluxos de caixa de certos tipos de projetos, permitindo uma modelagem mais realista para os mesmos.

Com esta abordagem, podem ser obtidas diversas seqüências possíveis contendo o melhor ordenamento, e não apenas uma, tal qual obtida no método determinista. A contribuição deste trabalho é discutir um método para a escolha da seqüência mais apropriada, dentre aquelas geradas em cada cenário. Essa escolha deve levar em conta o retorno financeiro do projeto e o risco em obtê-lo, em função das incertezas e do intervalo de confiança utilizado.

1.4 Metodologia de pesquisa

Podemos agrupar o pensamento científico em duas formas básicas: a indução, baseada na evidência empírica, e a dedução, baseada na lógica (LAKATOS, 1993). Pela indução, as conclusões de um processo de pesquisa são feitas a partir de observações empíricas, em um processo que vai de uma pressuposição até uma conclusão, utilizando um conjunto de fatos como elemento básico para se gerar uma teoria. Já pela dedução, as conclusões são baseadas em raciocínio lógico, utilizando princípios e leis das teorias formuladas para entender os fenômenos observados. Observa-se atualmente que, tanto a dedução como a indução, são processos de construção de teoria presentes na maioria das áreas. Assim sendo, as pesquisas devem contemplar tanto uma base teórica, que sirva como referência para o fenômeno estudado, quanto uma parte prática, caracterizada pela coleta de dados, criatividade e percepção da relevância dos dados coletados.

Os principais métodos de pesquisa podem ser separados em dois grupos: a pesquisa quantitativa e a qualitativa (GIL, 1999). Os métodos quantitativos (também chamados de pesquisa tradicional) se caracterizam pela busca da solução de um problema através de algum aspecto da realidade. São métodos que possuem rigor metodológico, hipóteses fortes e que incluem conceitos que possam ser medidos, além de gerarem conclusões que permitam generalizações e replicação dos resultados.

Dentre os métodos quantitativos, existe a pesquisa experimental e o *survey*, podendo também ser acrescentados os métodos baseados em simulação e modelagem matemática. A pesquisa experimental é a maneira pela qual é gerado conhecimento através do uso de modelos pré-existentes para a obtenção de soluções novas para um determinado problema ou pela aplicação de teorias já existentes para explicar problemas reais, mediante análise

quantitativa de um experimento controlado. Na pesquisa experimental, o objeto de estudo são as relações causais e quantificáveis das variáveis que descrevem processos reais, isto é, identificar como as variáveis independentes determinam as variáveis dependentes. Portanto, a pesquisa experimental permite a previsão de eventos futuros, ao invés de somente buscar a compreensão e descrição dos fatos.

Já na pesquisa qualitativa, o pesquisador é um interpretador da realidade. Os métodos qualitativos são apropriados quando o fenômeno em estudo é complexo, de natureza social e não tende à quantificação. Normalmente são usados quando o entendimento do contexto social e cultural é um elemento importante para a pesquisa.

No presente trabalho, foi utilizada uma metodologia combinada, com um estudo preliminar qualitativo (através de pesquisa bibliográfica, da definição do instrumental a ser usado e do estabelecimento de hipóteses para a pesquisa) e um estudo quantitativo, utilizando o método dedutivo e a pesquisa experimental.

1.5 Organização do documento

O presente documento mostra no segundo capítulo os conceitos básicos de escalonamento de projetos e os critérios relevantes para medir o retorno financeiro dos mesmos, bem como discute o problema da maximização do VPL e as possíveis técnicas de modelagens de previsão para a melhor estimativa dos fluxos de caixa.. No terceiro capítulo são mostrados os conceitos de PMCs e no capítulo quatro é descrita como é feita a solução do problema do ordenamento de forma determinística, usando força bruta ou uma heurística. O capítulo cinco aborda a solução através do modelo estocástico, mostrando as falhas do modelo determinista, discutindo também a escolha dos possíveis critérios de decisão para a escolha da melhor seqüência. O capítulo seis descreve o método proposto para a resolução do problema da maximização do retorno financeiro através de modelos estocásticos. Por fim, o capítulo sete descreve um procedimento empírico para o método proposto, utilizando os resultados obtidos para confirmar a eficácia do método proposto para a escolha da seqüência de PMCs mais apropriada para maximizar o retorno financeiro do projeto.

2 O PROBLEMA MAX-NPV

2.1 Escalonamento de Projetos

O problema de escalonamento de projetos é caracterizado por atividades, recursos e um objetivo (MARTINS, 2000). Todas as atividades de um projeto têm de ser completadas para que o mesmo seja considerado concluído. Essas atividades têm uma duração associada e requerem o uso de recursos. Elas podem se relacionar entre si através de uma ordem de precedência e também podem ser associadas a janelas de tempo (prazos, datas de entrega, etc.). Para cada atividade, podem ocorrer fluxos de caixa em diversos instantes.

Para realizar as atividades, o projeto necessita de recursos (equipes, capital, máquinas, etc.). Quando a capacidade ou a quantidade de recursos é limitada, um número (ou uma função) é associado ao recurso para especificar a quantidade máxima disponível do mesmo (para um dado período ou para todo o projeto).

Custos podem ser gerados por recursos ou atividades. Quando são gerados por atividades, os custos podem ser minimizados pela forma como as atividades são processadas. Quando são gerados por recursos, o escalonamento das atividades indiretamente impacta no orçamento do projeto.

Em qualquer projeto, um dos objetivos da empresa desenvolvedora é a redução de custos e a maximização do lucro. Para conseguir isso, é necessário adotar critérios para medir o retorno financeiro do projeto.

2.2 Critérios de Retorno Financeiro

Existem muitas técnicas diferentes para medir a atratividade financeira de um projeto. Essas técnicas utilizam métricas, que servem como indicadores. A seguir estão listadas as métricas mais comumente usadas pela grande maioria das empresas.

2.2.1 Valor Presente

Uma determinada quantia que temos disponível num dado instante (por exemplo, R\$ 1.000,00) tem um valor maior do que a mesma quantia se ela for recebida mais à frente, por exemplo, em um ano. Podemos investir esse dinheiro em uma aplicação bancária, por exemplo, ou em outro investimento considerado rentável, e daqui a um ano teremos mais dinheiro do que o valor original. Percebemos então que os mesmos R\$ 1000,00 têm valores diferentes ao longo do tempo.

Para podermos comparar os dois valores, precisamos trazê-los para um mesmo patamar, o qual chamamos de valor presente. Ele é igual à taxa que teremos de descontar de benefícios futuros de modo a ser indiferente receber o benefício agora ou no final do período especificado. Podemos especificar o valor presente (VP) a partir da seguinte equação:

$$VP = VF / (1+j)^n$$

Equação 1. Valor Presente

onde VF é o valor futuro, j é a taxa de desconto por período e n é o número de períodos.

Vejamos um exemplo: se a taxa anual de desconto for 25% e o benefício ao final do primeiro ano for R\$ 5.000,00, o valor presente deste benefício é igual a:

$$R\$5.000 / (1 + 0.25) = \$4.000,00$$

Ou seja, R\$ 4.000,00 recebidos agora têm o mesmo valor do que R\$ 5.000,00 recebidos após um ano, dada uma taxa anual de desconto de 25%. Outro enfoque é que se investirmos R\$ 4.000,00 agora, com uma rentabilidade anual de 25%, teremos daqui a um ano o equivalente a R\$ 5.000,00. O princípio básico do valor presente é o centro de diversas formas de comparação de investimentos entre si.

2.2.2 Retorno sobre Investimento

O retorno sobre investimento (ROI) é, sem sombra de dúvidas, a métrica mais popular para justificar (ou não) a decisão de iniciar um investimento. Devido à sua importância, essa métrica tem ganhado bastante destaque nos últimos anos e, por consequência, os gerentes de tecnologia da informação (TI) têm passado a perceber cada vez mais a sua importância (HAYES, 2001).

O ROI é igual ao valor presente da receita líquida (receita bruta menos os custos), em um determinado período, dividido pelos custos iniciais (DENNE, 2003). É expresso na forma de porcentagem, sobre um dado período de tempo. Sua fórmula é:

$$\text{ROI} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i / (1 + j)^i}{C}$$

Equação 2. Retorno sobre Investimento

onde R_i é a receita líquida do período i , j é a taxa de desconto, C são os custos iniciais e n é o número de períodos.

Por exemplo, se o custo inicial de um projeto é R\$ 10.000,00, a receita líquida anual é constante no valor de R\$ 5.000,00 e a taxa anual de desconto é de 10%, o ROI desse projeto para um período de 3 anos será:

$$(5000 / (1 + 0.1) + 5000 / (1 + 0.1)^2 + 5000 / (1 + 0.1)^3) / 10.000 = 124\%$$

Um detalhe a observar é que enquanto o ROI nos fornece a porcentagem de retorno financeiro que teremos em um dado período de tempo, ele não nos diz nada sobre a magnitude do projeto. No caso acima, um valor de retorno de 124% parece bastante atrativo, mas o que seria melhor: um retorno de 124% sobre um investimento de R\$ 10.000,00 ou um retorno de 60% sobre um investimento de R\$ 300.000,00? O ROI sozinho não consegue responder isso de maneira correta, é preciso acrescentar o conceito de valor presente líquido.

2.2.3 Valor Presente Líquido

O valor presente líquido fornece o valor monetário do retorno esperado e, portanto, indica a magnitude financeira do projeto. Ele é calculado somando os valores presentes da receita líquida de cada período e então subtraindo os custos iniciais do projeto (DENNE, 2003). Um valor positivo de VPL significa que o projeto é lucrativo, enquanto um valor negativo de VPL indica que o projeto gera prejuízo. A fórmula para o VPL é:

$$\text{VPL} = \sum_{i=1}^n R_i / (1 + j)^i - C$$

Equação 3. Valor Presente Líquido

onde R_i é a receita líquida do período i , j é a taxa de desconto, C são os custos iniciais e n é o número de períodos.

Tomando o exemplo no tópico anterior, o valor do VPL do projeto será:

$$5000/(1+0.1) + 5000/(1+0.1)^2 + 5000/(1+0.1)^3 - \$10,000 = \$2,434$$

2.2.4 Período de Retorno

O período de retorno (*break even*) é o período necessário para um projeto recuperar o dinheiro investido, sendo normalmente expresso em meses ou anos (DENNE, 2003). A equação para o cálculo do período de retorno é:

$$P_r = C_i / R_i$$

Equação 4. Período de Retorno

onde P_r é o período de retorno, C_i o custo inicial e R_i é a receita líquida por período.

Se utilizarmos o mesmo exemplo dos tópicos anteriores, teremos como período de retorno: $\$10,000/\$5,000 = 2$ anos. O período de retorno é muito simples de ser calculado, mas não fornece informações sobre a magnitude do retorno financeiro.

2.2.5 Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (*Internal Rate Return* – IRR) é uma das métricas mais utilizadas para analisar grandes investimentos, geralmente por períodos de vários anos. Ela equivale ao percentual de desconto que é necessário aplicar às receitas líquidas, por um determinado período, para que fiquem iguais aos custos iniciais. Ou falando de outro modo, IRR é a taxa de desconto a ser aplicada às receitas de modo a obter um valor presente líquido igual a zero (DENNE, 2003). Podemos expressar o IRR através da equação:

$$\text{Custos Iniciais} = \sum_{i=1}^n Ri / (1 + IRR)^i$$

Equação 5. Taxa Interna de Retorno

IRR geralmente é calculado através de um processo de tentativa e erros ou através de uso de tabelas pré-montadas, pois a resolução da equação acima costuma ser bastante demorada. No exemplo usado nos tópicos anteriores, o IRR seria de 23%. Isso pode ser comprovado abaixo, onde obtemos o valor zero para o VPL, quando usamos IRR igual a 0,23:

$$\text{VPL} = (\$5000 / 1.23 + \$5000 / 1.23^2 + \$5000 / 1.23^3) - \$10000 = 0$$

2.2.6 Projeções de fluxo de caixa

As variáveis descritas anteriormente mostram valores ou situações em um dado instante de tempo. Mas o que realmente importa para uma análise financeira de um projeto é o seu comportamento ao longo do tempo, o que vamos chamar de projeção de fluxo de caixa,

que pode ser definida como os cálculos de uma específica posição financeira em cada intervalo de tempo. Tipicamente, os fluxos de caixa são calculados mensalmente, mas para projetos mais longos podemos usar intervalos trimestrais ou semestrais. O dado importante a considerar é que para cada ponto, os custos e ganhos devem ser computados no momento em que ocorrem.

Ao analisar a projeção, os fatores negativos e positivos são calculados para cada período de tempo. Ao somar esses fatores, podemos determinar se o projeto tem um fluxo positivo ou negativo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento.

2.2.7 Período de *Payback*

A situação final positiva ou negativa não é a única informação que podemos inferir a partir da análise da projeção do fluxo de caixa. Podemos também visualizar o volume de investimento que está sendo feito no projeto em cada período da análise. Normalmente, a partir do momento em que o projeto começa a gerar receita, o fluxo de investimento é reduzido e provavelmente chega a zero próximo ao seu final. Nesse momento, teremos chegado ao ponto de auto-sustentação, onde não se faz mais necessário investimento para manter o projeto andando.

No entanto, isto não significa que tenhamos chegado ao ponto de *break even*, visto que ainda pode haver débitos a repor de investimentos passados. O período entre o ponto de auto-sustentação e o ponto de *break even* é chamado de período de *payback* (DENNE, 2003). A figura abaixo mostra a localização destes pontos ao longo de um projeto de desenvolvimento de uma aplicação.

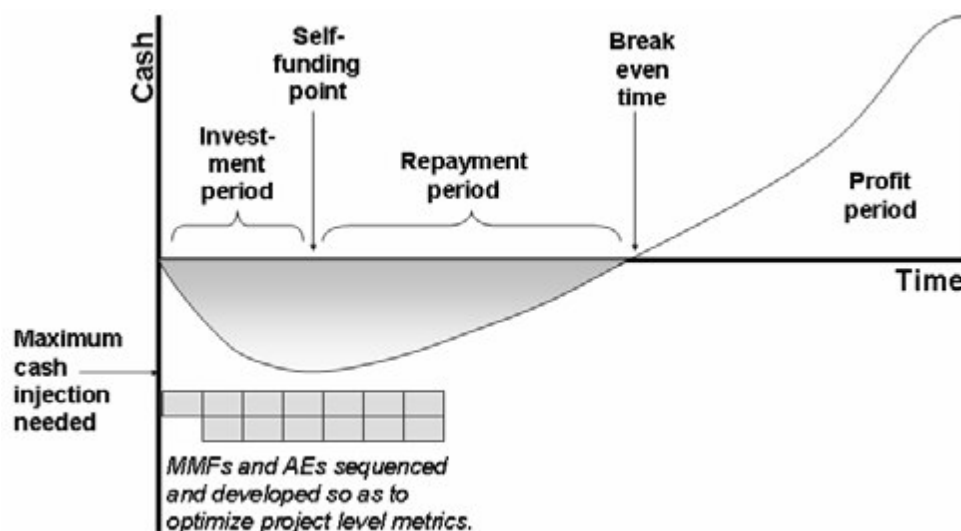


Figura 1. Período de *payback* de um projeto

Fonte: Denne, 2003

2.2.8 Resumo dos critérios de retorno financeiro

A seguir, é mostrado um quadro contendo um resumo das métricas usadas nos critérios de retorno financeiro, descritas anteriormente:

Quadro 1. Métricas para os critérios de retorno financeiro

Métricas	Descrição
Valor Presente	Valor futuro trazido para o momento atual
Retorno sobre Investimento	Porcentagem de retorno financeiro a partir de um investimento
Valor Presente Líquido	Demonstra a magnitude financeira do projeto
Período de Retorno (<i>break even</i>)	Período necessário para um projeto recuperar o dinheiro investido
Taxa Interna de Retorno	Percentual de desconto a aplicar nas receitas líquidas para que fiquem iguais aos custos iniciais
Período de <i>Payback</i>	Período entre o ponto de auto sustentação de um projeto e o ponto de <i>break even</i>

2.3 O Problema de Maximização de VPL

A idéia de maximizar o VPL de um projeto, de forma a ser um critério de decisão de ordenamento relevante do ponto de vista financeiro, foi introduzida há cerca de 35 anos atrás por Russel (1970). Desde então, muitos algoritmos para maximizar o VPL de um projeto foram apresentados na literatura, sob diferentes perspectivas em relação à representação da rede (*Activity-on-Network* (AoN) versus *Activity-on-Arc* (AoA)) e aos padrões de fluxo de caixa (positivo e/ou negativo, orientado a eventos ou baseado em atividades, dependentes ou independentes de tempo). Em um artigo, Herroelen (1997) examinou a lógica por trás dessas idéias e forneceu uma visão inicial dos algoritmos existentes.

Segundo Drezet (2003), os problemas de maximização de VPL podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- **MAXNPV**

O VPL do projeto deve ser maximizado, e não há restrições de recursos.

- **RCPSDC** (*Resource Constrained Project Scheduling Problem with Discounted Cash Flows*)

Corresponde à categoria anterior, mas com restrições de recursos.

- **CCPSP** (*Capital Constrained Project Scheduling Problem*)

Um caso particular de RCPSDC, com restrições também no uso de capital.

- **PSP** (*Payment Scheduling Problem*)

A quantidade e ocorrências de fluxos de caixa na dimensão tempo devem ser determinadas para maximizar o VPL do projeto.

O problema básico do estudo em questão envolve a seqüência das atividades de um projeto de forma a maximizar o seu VPL, na ausência de restrição de recursos. Temos, portanto, um problema na categoria MAXNPV. Na literatura, esse problema foi sempre tratado de forma determinística, onde todos os dados relevantes são previamente conhecidos ou previstos.

2.3.1 MAXNPV - Modelo determinístico

Vamos assumir que um projeto seja representado por uma rede AoN $G = (N, A)$, onde o conjunto de nós, N , representa as atividades e o conjunto de arcos, A , representa a precedência entre as atividades. Essas últimas são numeradas a partir da atividade inicial 1 para a atividade final n . A duração de uma atividade é descrita por d_i ($1 \leq i \leq n$). A variável α representa a taxa de desconto e c_i o valor do fluxo de caixa da atividade i . A variável inteira não-negativa s_i denota o momento do início da atividade i . O valor do fluxo de caixa descontado (FCD) da atividade i no começo do projeto é representado por:

$$\text{FCD} = c_i \cdot e^{-\alpha \cdot (s_i + d_i)}$$

Equação 6. Fluxo de Caixa Descontado

A formulação do problema pode então ser dada como:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^n c_i e^{-\alpha \cdot (s_i + d_i)}$$

Sujeito às restrições:

$$s_i + d_i \leq d_j \quad \forall (i,j) \in E$$

$$s_1 = 0$$

$$s_n \leq \delta_n$$

Herroelen e Demeulemeester (2002) demonstraram que há uma solução polinomial para este tipo de problema. No entanto, este modelo não se aplica ao problema de ordenamento aqui descrito, pois parte do pressuposto que os fluxos de caixa de cada atividade ocorrem apenas durante a execução da mesma. No problema em questão, os fluxos de caixa ocorrem até o final do projeto.

2.4 Modelos de Previsão de retorno

Para tratar o problema de maximização de VPL em uma ótica mais próxima da realidade, deve-se tratar de forma mais sistemática a estimativa futura dos fluxos de caixa. É necessário definirmos um modelo de previsão de seus comportamentos, e a faixa de valores em que tais fluxos irão se situar. A idéia desse modelo é fazermos uma previsão comportamental do futuro usando variáveis conhecidas (por exemplo, através da análise do comportamento do passado) (MORETTIN, 1985).

A seguir, são descritos alguns conceitos e elementos necessários para a confecção desses modelos de previsão.

2.4.1 Conceitos

2.4.1.1 Série Histórica

Nos modelos de previsão, um elemento muito utilizado é a série histórica, também denominada série temporal. Ela é uma seqüência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo durante um período específico. Se a série histórica for denominada como Z , o valor da série no momento t pode ser escrito como Z_t ($t=1,2,\dots,n$).

Uma série histórica é composta por três componentes: tendência (T_t), sazonalidade (S_t) e uma variação aleatória, denominada de ruído branco (a_t). A primeira escolha para a elaboração de um modelo seria um relacionamento aditivo destes componentes: $Z_t = T_t + S_t + a_t$. Pode-se construir, também, um modelo multiplicativo (no caso, $Z_t = T_t \cdot S_t \cdot a_t$) ou realizar-se a transformação log, no modelo multiplicativo, quando ele então se transforma no modelo log-linear. Ao analisar uma série histórica deve-se estudar cada um destes componentes separadamente, retirando-se o efeito dos outros.

As séries históricas são muito usadas em problemas que envolvem variáveis financeiras (por exemplo, taxa de câmbio, títulos governamentais, etc.) ou commodities que sejam transacionadas em bolsas mercantis, pois geralmente nesses casos é possível a obtenção de dados históricos longos. Desta forma, a volatilidade futura pode ser estimada por meio da volatilidade histórica do ativo. No entanto, no caso de projetos, não existe uma série histórica

prévia e, portanto, a previsão da volatilidade futura deve depender apenas das informações atuais, e não das passadas (que são inexistentes ou inacessíveis).

2.4.1.2 Processo estocástico

Um processo estocástico, que pode ser visto como o conjunto de todas as séries históricas possíveis de um evento, provê uma representação matemática de como um sistema evolui no tempo (TERCEIRO, 2003). De acordo com Dixit and Pindyck (1994), um processo estocástico de uma variável é definido por uma lei de probabilidade para a evolução x_t de uma variável x em um tempo t .

Os processos estocásticos assumem um comportamento estacionário quando as propriedades estatísticas (média e variância) da variável x se mantêm constantes no tempo. Em outras palavras, uma série histórica é considerada estacionária quando suas observações ocorrem aleatoriamente ao redor de uma média constante, ou seja, não há tendência.

Alternativamente, o comportamento dos processos estocásticos pode ser não estacionário, quando o valor esperado da variável x cresce sem limites, e a variância aumenta com o tempo t . Com relação à ocorrência de x , esta pode variar de forma discreta ou contínua no tempo e no estado.

Assim, a dinâmica da média e da variância de uma variável estocástica x depende de sua tendência. Nas séries não-estacionárias, a média e a variância crescem com o horizonte de tempo, enquanto que, nas séries estacionárias, elas são finitas e não sofrem grandes variações.

2.4.1.3 Tipos de modelos de previsão

Existem basicamente dois tipos de métodos de previsão: quantitativo e qualitativo. O método quantitativo se preocupa basicamente em ajustar um modelo formalizado de previsão a uma série histórica de dados, de forma a projetar o comportamento futuro. O método qualitativo preocupa-se em chegar a uma previsão a partir de julgamentos pessoais e subjetivos de quem esteja fazendo a previsão.

Dependendo do valor assumido pelo horizonte de previsão, Souza (1989) classifica as previsões dos valores futuros de uma série como de curto, médio ou longo prazo. Desse modo, diante da possibilidade de existência de diferentes horizontes de previsão, são especificadas técnicas distintas para prognosticar os valores futuros de uma série histórica:

- Previsão de múltiplos passos
 - Esta abordagem, adotada para longos horizontes de previsão, procura identificar as tendências gerais e os pontos de inflexão mais relevantes na série temporal. O conjunto de valores correntes é empregado na realização da previsão para determinado instante; esta previsão é, então, introduzida entre as observações passadas, compondo, desta forma, um novo conjunto de dados, sobre o qual será obtida a previsão do tempo subsequente.
- Previsão de passo simples
 - Nesta técnica não há incorporação de previsões aos dados utilizados para encontrar a próxima previsão, sendo esta, independente dos valores anteriormente previstos. A previsão é feita apenas para o período de tempo imediatamente posterior ao atual, a partir das observações da série histórica.

2.4.1.4 Processo de *Markov*

Uma variável estocástica possui a propriedade de *Markov* quando a distribuição de probabilidades do próximo período de tempo depende somente do período atual, ou seja, independe do que ocorreu antes do instante t . Isso quer dizer que somente a informação atual que temos sobre a variável será útil para prevermos o valor que ela terá no futuro. Em outras palavras, o caminho passado seguido pela variável até chegar ao estado presente não é relevante para fazermos uma previsão do futuro.

Um processo que satisfaça a propriedade de *Markov* é dito um processo de *Markov*.

2.4.1.5 Padrões de comportamento

Um processo estocástico pode assumir alguns tipos de comportamentos (MATIAS, 2005):

- Tipo “passeio aleatório” (*random walk*), estacionário, ou não, no qual a variável x assume um padrão de saltos de crescimento e decréscimo constantes de mesma probabilidade;
- Se o comportamento apresentar uma tendência, será classificado como “passeio aleatório com tendência” (*random walk with drift*);
- Considerando que o salto de crescimento e decréscimo pode assumir um padrão contínuo e aleatório, com distribuição normal, média zero e desvio padrão então o comportamento de x será classificado como processo estocástico tempo-discreto e estado contínuo;
- Comportamento auto-regressivo de ordem p , denominado AR(p), onde um termo da série histórica tem correlação com os p termos anteriores. Ele é adicionalmente referido como um processo de reversão à média (*mean reverse*), pois no longo-prazo, x_t tende a um valor constante.

Os comportamentos acima descritos, de passeio aleatório, em tempo discreto ou contínuo, com ou sem tendência, e o processo de auto regressão AR(p) são processos *markovianos*, pois satisfazem a propriedade de *Markov*.

2.4.2 Considerações sobre os modelos

Antes de se conduzir qualquer análise, é importante definir se a série é estacionária ou não. A partir daí, estabelece-se a estrutura do modelo probabilístico que estimará a mesma. Como visto anteriormente, uma série é considerada estacionária quando seus valores ocorrem sem tendência ao redor de uma média constante. Ou seja, a série é consequência da variação aleatória do ruído branco ao redor de uma grande média, ao longo do tempo. Para tanto, define-se a função de auto correlação (também chamada de função de correlação serial) que, em cada período j da série, é calculado o coeficiente de correlação entre as observações t e $t+j$. Neste caso, se t e $t+j$ são independentes, a correlação entre t e $t+j$ é zero.

2.4.2.1 Auto-regressão

A classe de modelos que contém correlação entre as observações é conhecida como modelos de auto-regressão (AR), de ordem p . Esta ordem identifica que o termo atual da série

tem correlação com os p elementos anteriores. Este é um processo iterativo onde há a identificação da ordem p através da função de auto-correlação. A partir daí, faz-se a estimativa de um modelo de previsão bem como a análise dos resíduos para a avaliação da existência de grandes erros de estimativas. A dificuldade desta técnica é a identificação do modelo, pois é possível que diferentes analistas identifiquem modelos auto-regressivos de ordem diferentes para a mesma série temporal.

O mais simples desses modelos é o de auto-regressão de primeira ordem AR(1), que pode ser determinado pela seguinte fórmula:

$$\mathbf{X}_t = \mu + \varphi_1 \mathbf{X}_{t-1} + \mathbf{U}_t$$

Equação 7. Auto Regressão de primeira ordem

onde μ é uma constante, φ_1 é um parâmetro do modelo e u_t é o termo correspondente a uma variável aleatória.

2.4.2.2 Médias móveis e ARMA

Outro modelo para séries estacionárias é modelo de médias móveis (MA), que considera a correlação não entre as observações, mas entre os resíduos. Já para muitas séries, a melhor solução se encontra em combinar o modelo auto-regressivo com o de médias móveis, criando o denominado modelo auto regressivo e média móvel (*auto-regression and mobile average* - ARMA). Ele é composto pela combinação linear de valores próximos da série (AR de ordem p) com uma combinação linear dos ruídos brancos próximos ao valor da série (MA de ordem q).

2.4.2.3 ARIMA e SARIMA

Os modelos de auto-regressão, médias móveis e o ARMA são utilizados para séries estacionárias. Entretanto, quando o processo é não estacionário homogêneo (ou seja, possui tendência, porém não é explosivo), uma das maneiras de analisá-lo é incorporando um processo de diferenças no modelo ARMA. Este é o modelo conhecido como modelo auto-

regressivo integrado de médias móveis (*auto-regression integrated with mobile average* ARIMA).

Há duas situações em que a série pode ser considerada não estacionária: 1) quando durante um período os pontos oscilam ao redor de uma média e, depois, mudam de patamar (neste caso basta tomar uma diferença da série); e 2) quando a série é não estacionária em relação à tendência (geralmente, para torná-las estacionárias é necessário tomar a segunda diferença). Os modelos ARIMA podem dar conta da sazonalidade quando há *lags* de baixa ordem. Porém, quando a sazonalidade ocorre em múltiplos períodos, é necessário que se considere no modelo um componente de sazonalidade estocástica. Nesta situação, utiliza-se o modelo sazonal auto-regressivo integrado de médias móveis (*seasonal auto-regression integrated with mobile average* – SARIMA) que incorpora as funções trigonométricas (preferencialmente, seno e cosseno) ao modelo ARIMA, e a ordem da sazonalidade vai depender da série.

2.4.3 Processo de Wiener

O Processo de *Wiener*, ou Movimento Browniano, é um tipo particular de processo de *Markov*, muito utilizado na física para descrever o movimento de uma partícula que está sujeita a um grande número de pequenos choques moleculares. Ele é um processo estocástico em tempo contínuo não estacionário, que assume três importantes propriedades (BRANDÃO, 2005):

1. É um processo de *Markov* de tempo contínuo. Assim, tudo que se precisa para fazer uma previsão do valor futuro da variável é a sua distribuição de probabilidade e o seu valor atual.
2. Possui incrementos independentes, sendo, portanto, um caso particular do processo de *Markov*.
3. Mudanças no processo em qualquer momento de um intervalo finito assumem uma distribuição normal, no qual a variância cresce linearmente com o tempo

As três propriedades acima descritas podem parecer ser restritivas, pois sabemos que, em alguns categorias de problemas, os valores tratados seguem uma distribuição log-normal (por exemplo, o preço de uma ação nunca cai abaixo de zero). Para contornarmos este problema, basta modelarmos o logaritmo do valor como um Processo de *Wiener*.

A equação que descreve o Processo de Wiener é:

$$\Delta z = \epsilon_t \sqrt{\Delta t}$$

Equação 8. Processo de Wiener

onde ϵ_t é uma variável aleatória, não correlacionada, com distribuição normal, média zero e desvio padrão de 1.

2.4.3.1 Movimento Aritmético Browniano

O Processo de *Wiener* pode ser generalizado em processos mais complexos. Nesse caso, temos um processo de *Wiener* generalizado, também conhecido como Movimento Aritmético Browniano (MAB), ou Movimento Browniano com *drift*. Ele pode ser definido matematicamente em termos de dz (denominado incremento de *Wiener*) para uma variável x , como a seguir:

$$dx = \alpha dt + \sigma dz$$

$$\text{e onde } dz = \epsilon \sqrt{dt} \text{ e } \epsilon \sim N(0,1)$$

Equação 9. Incremento de Wiener

O valor α é constante e conhecido como parâmetro *drift*, implicando em uma taxa de crescimento temporal em x de α por unidade de tempo. A constante σ é conhecida como parâmetro de variância ou volatilidade, e o termo σdz representa a incerteza do caminho percorrido por x .

No MAB, o valor dx tem uma distribuição normal, com parâmetros $N \approx (\alpha, \sigma)$. Esse modelo pode ser utilizado em casos e problemas onde os valores dos processos não podem ficar negativos (por exemplo, o comportamento de ações na Bolsa de Valores, precificadas segundo o modelo de Black-Scholes (BLACK, 1973).)

Para exemplificar, consideremos um caminho aleatório, mostrando a variação ao longo do tempo de um preço de uma *commodity*, seguindo o processo de *Wiener* generalizado. Nesse exemplo, utilizaremos os valores $\alpha = 0.2$ por ano e $\sigma = 1.0$ por ano. O intervalo de tempo dos dados e do gráfico é de 1 mês, portanto, devemos dividir o intervalo de tempo anual em 12 meses ($\Delta t/12$). Logo a equação que modela este caminho é dada por:

$$\Delta x = \alpha \cdot \Delta t + \sigma \cdot \Delta z$$

$$x_t - x_{t-1} = 0,2 / 12 \cdot \Delta t + 1,0 \cdot \varepsilon_t \cdot \sqrt{(\Delta t/12)}$$

$$x_t = x_{t-1} + 0,016667 \cdot \Delta t + 0,2887 \cdot \varepsilon_t \cdot \sqrt{\Delta t}$$

onde $\Delta t = 1$ e $x_0 = 0$. O valor de ε_t é o resultado da inserção de uma variável aleatória entre (0,1) na distribuição normal padrão cumulativa. A figura abaixo mostra o caminho gerado, utilizando a equação de x_t , e a linha de tendência, ou seja, quando ε_t é igual a zero:

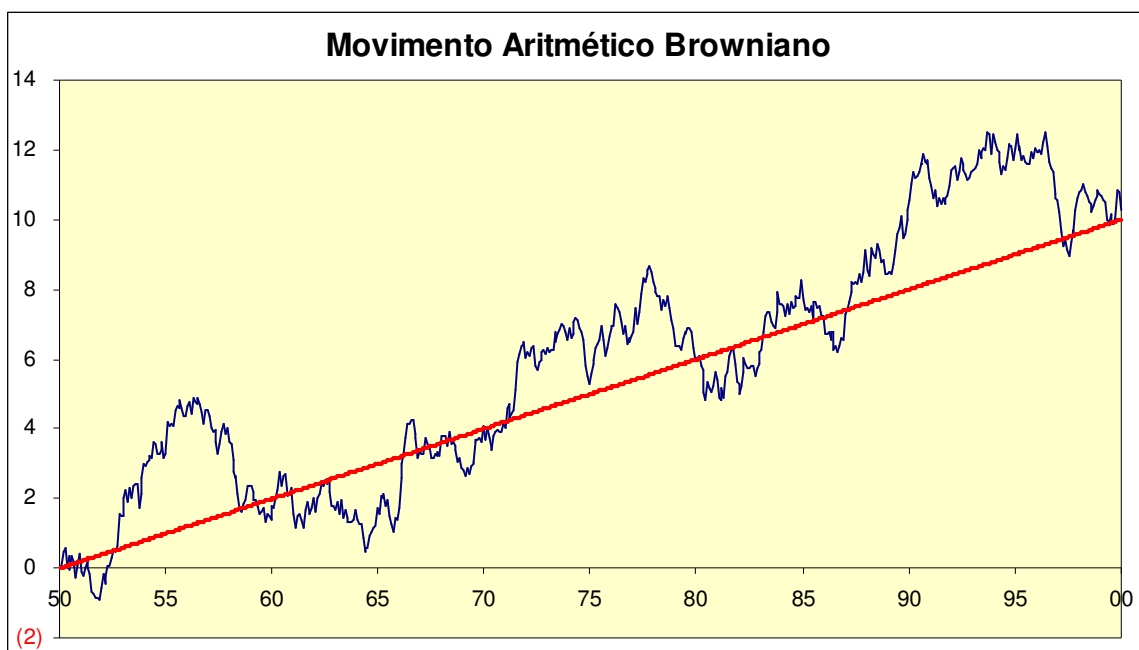


Figura 2. Exemplo de Movimento Aritmético Browniano

Podemos também modelar esta previsão utilizando um intervalo de confiança (por exemplo, 66%), e então teríamos a seguinte modificação na equação de x_t :

$$x_t = x_{t-1} + 0,016667 \cdot \Delta t \pm z_{66\%} \cdot 0,2887 \cdot \epsilon_t \cdot \Delta t$$

$$x_t = x_{t-1} + 0,016667 \cdot \Delta t \pm 0,9557 \cdot 0,2887 \cdot \epsilon_t \cdot \Delta t$$

$$x_t = x_{t-1} + 0,016667 \cdot \Delta t \pm 0,2759 \cdot \epsilon_t \cdot \Delta t$$

A figura abaixo mostra outro caminho aleatório, agora com um intervalo de confiança de 66%:

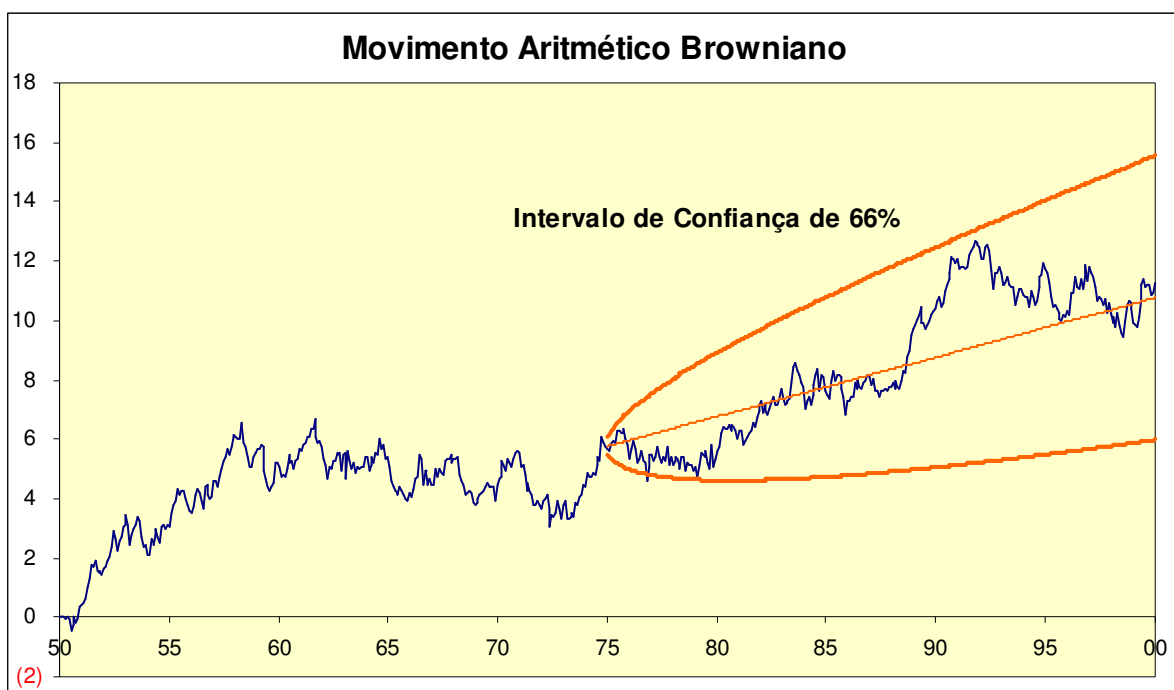


Figura 3. Exemplo de MAB, com intervalo de confiança de 66%

2.4.3.2 Movimento Geométrico Browniano

Ao descrevermos o movimento aritmético browniano no item anterior, estabelecemos que os parâmetros *drift* e variância seriam constantes. Mas existem casos onde esses parâmetros não ficam constantes e podem variar, por exemplo, com o tempo.

A generalização do Movimento Browniano, conhecida como Processo de Ito, é dada pela seguinte equação:

$$dx = a(x,t) dt + b(x,t) dz$$

Equação 10. Processo de Ito

onde novamente dz é um incremento do Processo de *Wiener* e $a(x,t)$ e $b(x,t)$ são funções (não aleatórias) conhecidas. As variáveis a e b são também conhecidas como parâmetros *drift* e variância, mas agora são funções do tempo e do estado atuais.

O Movimento Geométrico Browniano (MGB) é um caso particular do Processo de Ito, e é geralmente utilizado para modelar preço de ações, taxas de juros, preços de produtos e outras variáveis financeiras e econômicas. A restrição que existe ao uso do MGB é o fato de que este processo pode divergir levando $x(t)$ para o infinito, e assim alguns modelos que seguem o MGB podem não ser muito realistas.

No caso anterior do Movimento Aritmético Browniano, vimos que dx tinha uma distribuição normal. Agora no caso do MGB, a distribuição é lognormal, e portanto, podemos dizer que $F(x) = \ln x$ terá uma distribuição normal.

Abaixo uma figura de um caminho gerado por um MGB, usando um intervalo de confiança de 66%.

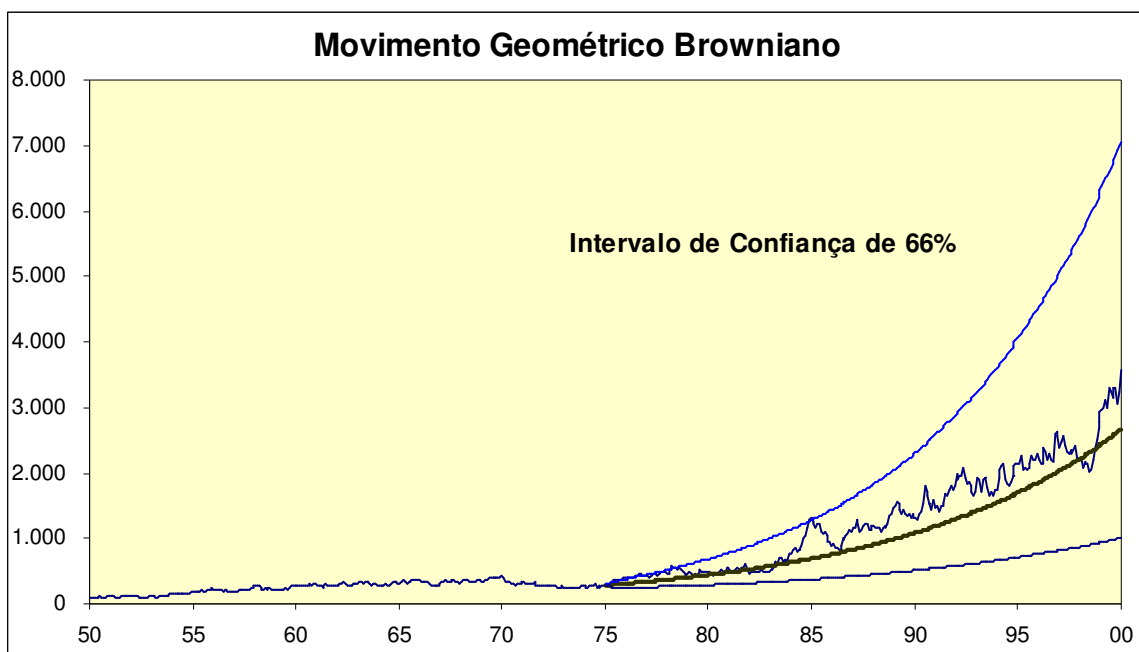


Figura 4. Exemplo de Movimento Geométrico Browniano

2.4.3.3 Reversão para a média

Uma das propriedades do Movimento Geométrico Browniano é que ele tende a divergir para longe do seu ponto de partida original, como pode ser visto na Figura 4. Em alguns tipos de problemas (por exemplo, preços de ativos especulativos), esta é uma característica desejada. Mas em outros casos (por exemplo, commodities), os preços ou valores tendem a estar relacionado com o custo marginal de produção de longo prazo. Isto significa que, no curto prazo, os valores podem subir ou descer aleatoriamente, mas no longo prazo eles tendem a voltar para o custo marginal de produção. Nesses casos, os valores devem seguir o modelo de reversão para a média (MRM).

A equação que define este processo, também conhecido como processo de Ornstein-Uhlenbeck, é dada por:

$$dx = \eta (x_m - x) dt + \sigma dz$$

Equação 11. Processo de Ornstein-Uhlenbeck

onde dz é um incremento de *Wiener*, η é a velocidade da reversão e x_m é o nível normal de x (o nível para o qual x tende a reverter). O processo de reversão para a média é um Processo de *Markov*, mas não possui incrementos independentes. Isto fica claro ao notarmos que a variação esperada em x depende da diferença entre x e x_m . Assim, se x é maior (menor) do que x_m , então é mais provável uma queda (subida) no próximo intervalo curto de tempo.

O parâmetro η , velocidade de reversão, indica a velocidade com que o processo tende a voltar para o valor médio. Normalmente, o processo de reversão para a média pode tomar um caminho que se desvie da média de longo prazo. Este desvio tende a ser revertido em determinado momento, e o processo volta para a sua média de longo prazo. Esta volta pode ser demorada ou mais rápida dependendo de η , ou seja, quanto menor η , mais demorado será o caminho de volta.

Assim como realizado no MAB e MGB, podemos modelar utilizando um intervalo de confiança. Abaixo segue um gráfico demonstrando um possível caminhado gerado por um processo de reversão para média.

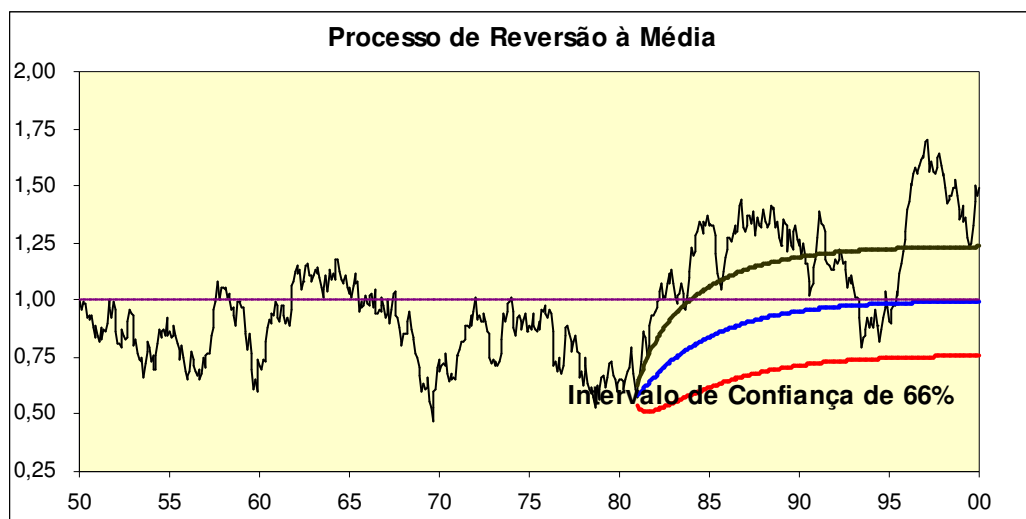


Figura 5. Exemplo de Movimento de Reversão à Média

2.4.4 Escolha do Modelo

Podemos resumir os modelos citados no quadro abaixo:

Quadro 2. Exemplos de modelos de previsão

Modelos de auto regressão de ordem n
Modelo de média móvel
Modelos mistos (ARMA, ARIMA e SARIMA)
Processo de Wiener (Movimento Browniano)
Movimento Browniano Aritmético
Movimento Browniano Geométrico
Modelo de reversão à média

A escolha do modelo vai depender do projeto a ser analisado. Dependendo das características que possuir, das projeções de mercado e da análise das prévias séries históricas, o projeto pode ter seus futuros fluxos de caixa estimados como tendo ou não um comportamento estacionário. No primeiro caso, poder-se-ia escolher um modelo de auto-regressão ou de passeio aleatório. Se o comportamento previsto for não estacionário, um modelo de movimento browniano poderia ser escolhido. Além disso, outros modelos de previsão não citados também poderiam ser objetos de escolha. A decisão final dependerá do analista ou equipe responsável pela análise do perfil comportamental do projeto.

O método para a determinação da seqüência de PMCs que possui o maior retorno financeiro não depende do modelo de previsão escolhido. O principal benefício de uma escolha correta desse modelo é uma maior aproximação da realidade, tornando mais confiáveis os resultados da simulação.

Por ser um processo não-estacionário, no longo prazo, o movimento geométrico browniano (MGB) pode gerar valores excessivamente altos ou baixos que não tenham significado econômico. Por isso, a sua aplicação na modelagem de projetos de software pode ser questionável em favor do modelo de reversão para a média.

3 PACOTE MÍNIMO COMERCIALIZÁVEL (PMC)

3.1 Definição

Tipicamente, o processo de compra de qualquer produto por consumidores tem quatro principais requisitos (KOTLER, 2007):

- Existir uma necessidade a ser satisfeita.
- Existir ao menos um produto que o consumidor perceba como podendo satisfazer tal necessidade.
- Existir recursos disponíveis para comprar o produto.
- Existirem consumidores dispostos a pagar pelo preço pedido.

No mundo comercial, o desenvolvimento de software pode ser encarado como um processo de investimento, onde o resultado final pode ser visto como um produto. O desenvolvimento deste produto é feito com certos riscos e as empresas dedicadas a esta finalidade certamente também possuem o objetivo de obter algum ganho financeiro. O valor deste produto não é geralmente visto como algo monolítico, mas sim como resultante da existência de diversas características e facilidades que o produto oferece.

Enquanto produtos simples tendem a ter um conjunto reduzido de características que atendam os consumidores, produtos mais complexos tendem a ter um conjunto muito grande de características desejáveis (LITTLE, 2004). Portanto, deve-se esperar que um software, encarado como produto, possa ser decomposto em unidades funcionais independentes, cada qual fornecendo um determinado valor ao produto final. É uma propriedade especial que os softwares possuem é que essas unidades em geral podem ser construídas e entregues separadamente. É muito comum um software ser entregue de forma “incompleta”, e uma próxima versão apresentar novas características e funcionalidades, agregando mais valor a um produto já existente.

Ao se construir o software de maneira cuidadosa, podemos, portanto, criar partes individuais, que podem ser colocadas em modo operacional separadamente e que agreguem valor para o cliente. A essas partes chamamos de Pacotes Mínimos Comercializáveis. O PMC ideal é um conjunto pequeno de características, autocontida, que pode ser desenvolvida rapidamente e que forneça um ganho significativo para o cliente (DENNE, 2003).

A decomposição de um sistema desta maneira não é nova. Há relatos em 1988 sobre um projeto da IBM de 200 pessoas/ano que foi entregue com sucesso ao longo de quatro anos em 45 entregas incrementais (GILB, 1988). Mais recentemente, grupos e comunidades tradicionais de desenvolvimento têm enfatizado o valor da entrega antecipada de funcionalidades de um sistema (ERDOGMUS, 2002). Na mesma linha, outro trabalho (CHAOS, 1995) identificou como um dos principais fatores de sucesso de um projeto o fato de ter tamanho pequeno. Ao se decompor um projeto em PMCs, há uma grande redução dos riscos inerentes ao desenvolvimento de projetos de grande escala.

PMCs podem também gerar valor para o negócio nos seguintes aspectos:

- Diferenciação competitiva
 - a unidade de software permite a criação de serviços ou funcionalidades importantes para o usuário e que são diferentes de qualquer outra coisa oferecida no mercado
- Geração de receita
 - a unidade de software provê uma receita extra oferecendo a mesma qualidade que outros produtos no mercado, mas por um preço mais competitivo
- Redução de custos
 - a unidade de software permite que o negócio poupe dinheiro ao tornar mais baratos os processos de negócio.
- Projeção da marca
 - ao disponibilizar a unidade de software, o projeto se mostra tecnologicamente mais avançado
- Fidelidade do cliente
 - a unidade de software pode influenciar os clientes a comprar maiores quantidades, com mais frequência, ou ambos.

3.2 Processo de Identificação

A identificação dos PMCs pode ser realizada através de duas técnicas: decomposição *top-down* ou construção *bottom-up* (DENNE, 2003). Na primeira abordagem, os requisitos gerais do sistema são refinados até que um PMC seja identificado. Esse PMC é então decomposto em casos de uso e requisitos mais básicos. Essa abordagem é mais aplicável nos

projetos onde foram empregadas técnicas mais tradicionais de desenvolvimento de software, como o RUP. Em contraste, a técnica *bottom-up* pega um conjunto de requisitos e os agrupa de modo a formar PMCs. Este método é bastante apropriado para projetos que precisem de agilidade.

Uma vez identificado um PMC, é necessário que os desenvolvedores de software definam os custos e o esforço necessário para sua construção, bem como os executivos e acionistas estimem o ganho que esse PMC pode proporcionar ao longo de um número pré-definido de períodos. Esses dados fornecerão os elementos básicos para decidir qual a melhor seqüência a ser realizada. Ao longo do projeto, mais informações podem surgir e influências novas do mercado podem aparecer e, portanto, as estimativas e a seqüência podem ser revistas em função da nova realidade. Desta maneira, o projeto está preparado para responder rapidamente às mudanças do mercado e o aparecimento de novas necessidades.

3.3 Elementos de Arquitetura

Além da decomposição da funcionalidade do projeto global em PMCs, a infraestrutura básica, geralmente compartilhada por vários PMCs, pode também ser decomposta em elementos que podem ser entregues separadamente, denominados elementos de arquitetura (EA). Isso gera a vantagem que a arquitetura pode ser previamente projetada de maneira a formar uma solução globalmente ótima, e que pode ser construída apenas quando necessária. Do ponto de vista financeiro, isto aumenta a lucratividade, através da redução da necessidade de se construir toda arquitetura antecipadamente (DENNE, 2004). Os EAs são tratados de forma idêntica aos PMCs, sendo a única diferença o fato de não gerarem nenhuma receita, sendo puramente elementos de custo no modelo.

3.4 Precursores

Uma vez que PMCs e EAs tenham sido identificados, um grafo de precedência pode ser criado, refletindo todas as relações de dependências de desenvolvimento e entregas. Por exemplo, se a prática do negócio diz que o PMC 6 requer um serviço do PMC 4, então existe uma dependência de entrega do PMC 6 em relação ao PMC 4. Da mesma forma, se o código

do PMC 7 tem uma dependência técnica sobre o código do PMC 6, então PMC 7 é tecnicamente dependente do PMC 6. Ou seja, os dados acima levam à conclusão que PMC 4 é precursor do PMC 6, que por sua vez é precursor do PMC 7. A construção de um grafo permite o mapeamento claro de tais dependências, mostrando claramente quem é precursor de quem.

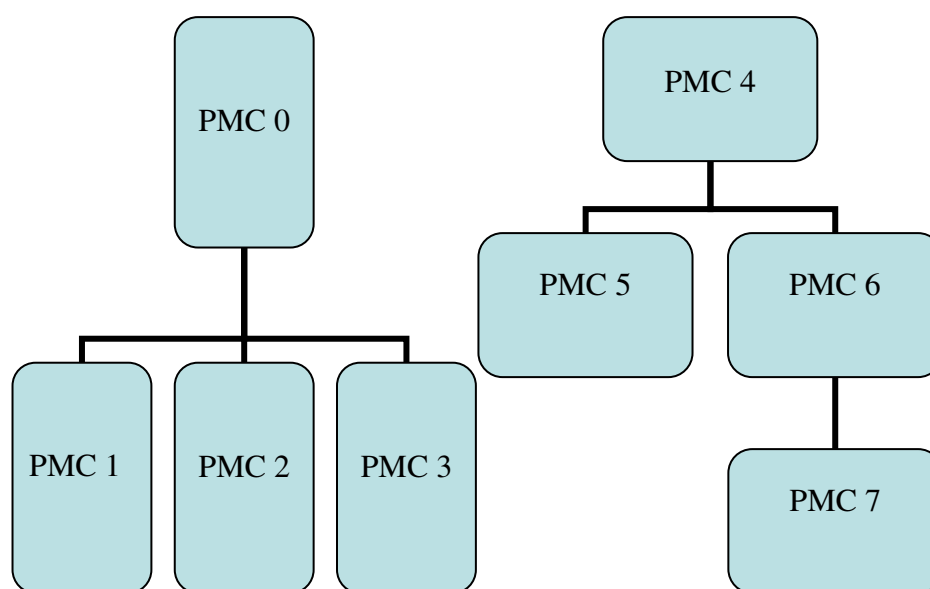


Figura 6. Exemplo de um grafo de precedência de PMCs

3.5 Retorno financeiro do projeto

Após a criação do grafo de precedência, os PMCs podem ser então seqüenciados. Cada PMC tem seu próprio fluxo de caixa, com os respectivos custos e ganhos previamente calculados e/ou estimados. Para descobrir o retorno financeiro do projeto, calculamos seu valor presente líquido, que no caso seria a soma dos valores presentes líquidos de cada PMC em seqüência.

Vejam os um exemplo, onde a tabela de fluxo de caixa dos PMCs por período está descrita abaixo:

Quadro 3. Tabela de Fluxo de Caixa para um projeto com 3 PMCs

PMC	Fluxo de caixa por período							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	-100	80	81	82	83	84	85	86
B	-50	-50	100	102	104	106	108	110
C	-75	90	95	100	105	110	115	120

Nesse exemplo, os custos de desenvolvimento são representados por valores negativos, e os valores positivos mostram o ganho de cada PMC por período. Podemos observar, pela tabela, que o PMC C parece ser atraente, pois tem um custo menor de desenvolvimento em apenas um período, e oferece ganhos maiores por período em relação ao PMC A. No entanto, o PMC B, apesar de ter dois períodos de desenvolvimento, apresenta em alguns períodos ganhos maiores do que PMC C, o que pode representar um maior lucro no final.

Portanto, qual seqüência de PMCs produz o melhor VPL para o projeto? A resposta para isso, no caso da tabela acima, é simples, pois como só existem 3 PMCs, existem apenas 6 seqüências possíveis (ABC, ACB, BAC, BCA, CAB, CBA), supondo não haver nenhuma dependência entre os PMCs. Assim, o VPL de cada seqüência possível pode ser calculado e a seqüência ótima (ou seja, a que tem o maior VPL) pode ser encontrada facilmente.

Para demonstrar o cálculo do VPL, tomaremos o caso dos 3 PMCs acima, em um período de tempo equivalente a oito períodos, a uma taxa de juros de 10% por períodos. Podemos ver que, para o desenvolvimento seqüencial dos três PMCs, são necessários quatro períodos, e depois ocorrerão mais quatro períodos de ganhos. Assim, para a seqüência ABC, o PMC A iniciaria no primeiro período. No segundo período, o PMC A já teria sido concluído e já começaria a render ganhos. Neste mesmo tempo, com a equipe de desenvolvimento liberada, pode-se iniciar a construção do PMC B, que necessita de dois períodos para ser montado. Então, nesse período, o fluxo de caixa seria o resultado do ganho do PMC A menos o gasto com o PMC B. No quarto período, termina o desenvolvimento do PMC B e inicia-se a construção do PMC C. O fluxo de caixa para esse período e os demais segue o mesmo raciocínio realizado anteriormente. Para calcular o VPL do projeto, basta trazer para valor presente o fluxo de caixa de cada período e depois somar todos os resultados. Abaixo, um quadro que sumariza o processo:

Quadro 4. Cálculo de VPL para seqüência ABC

PMC	1	2	3	4	5	6	7	8	VPL
A	-100	80	81	82	83	84	85	86	
B		-50	-50	100	102	104	106	108	
C				-75	90	95	100	105	
Fluxo	-100	30	31	107	275	283	291	299	
VP	-91	25	23	73	170	160	149	139	650

A linha *Fluxo* mostra o fluxo de caixa no período, e a linha *VP* mostra o valor presente relativo ao respectivo fluxo de caixa, levando em conta a taxa de juros anteriormente fixada em 10% ao período. Se fizermos o mesmo cálculo para outras seqüências (por exemplo, BAC ou CAB), teremos:

Quadro 5. Cálculo de VPL para seqüência BAC

PMC	1	2	3	4	5	6	7	8	VPL
B	-50	-50	100	102	104	106	108	110	
A			-100	80	81	82	83	84	
C				-75	90	95	100	105	
Fluxo	-50	-50	0	107	275	283	291	299	
VP	-45	-41	0	73	171	160	149	139	606

Quadro 6. Cálculo de VPL para seqüência CAB

PMC	1	2	3	4	5	6	7	8	VPL
C	-75	90	95	100	105	110	115	120	
A		-100	80	81	82	83	84	85	
B			-50	-50	100	102	104	106	
Fluxo	-75	-10	125	131	287	295	303	311	
VP	-68	-8	94	89	178	167	155	145	752

Se realizarmos o procedimento para todas as seqüências, encontraremos a que possui o maior VPL (no caso, é a seqüência CAB). No entanto, se o número de PMCs em um projeto for muito grande, será muito difícil encontrar, em um tempo razoável, a seqüência ótima, pois o número de seqüências possíveis é o fatorial do número de PMCs, e tem, portanto, crescimento exponencial em função do número de PMCs existentes no projeto. O problema se situa na categoria NP-Completo, onde não há soluções polinomiais conhecidas (DENNE, 2003).

Atualmente, existem dois tipos de solução para o problema de seqüências de PMCs: por força bruta e a através de heurísticas. A solução via força bruta é aquela que tenta a descoberta da solução através de uma pesquisa exaustiva em todas as seqüências possíveis. Como todas as possibilidades são testadas, o método da força bruta sempre encontra a solução ótima. O problema é que o cálculo do VPL para cada seqüência possível em um projeto complexo pode demorar muito tempo.

Em projetos com três PMCs (A, B e C), teríamos seis seqüências possíveis – ABC, ACB, BAC, BCA, CAB e CBA. Neste caso, seria fácil analisar todas as possibilidades para determinar qual seria a melhor. De modo similar, se o projeto tivesse 4 PMCs, sem restrição de precedência, haveria 24 possíveis seqüências, o que também poderia ser facilmente tratado em um pequeno espaço de tempo com o atual poder computacional.

Entretanto, à medida que cresce o número de PMCs, o número de seqüências possível cresce exponencialmente. Sem restrições de precedência, o número total de seqüências é o fatorial do número de PMCs. Por exemplo, em um projeto com 20 PMCs independentes, o número total de seqüências seria de $20! = 2.432.902.008.176.640.000$. Certamente, seria impraticável calcular o VPL, em um período razoável de tempo, de todas essas seqüências para encontrar aquela com o resultado ótimo. Mesmo havendo uma diminuição do número total de seqüências através da existência de precedências entre os PMCs, ainda assim o número final ainda continuaria sendo muito alto para ser tratado por força bruta.

Portanto, em projetos complexos com diversos PMCs, o uso de força bruta se torna impraticável para encontrar a melhor solução. Nesses casos, o caminho possível seria o uso de heurísticas, que embora não garantam encontrar a solução ótima, geralmente permitem encontrar soluções sub-ótimas em um tempo bastante plausível.

3.5.1 MAXNPV de PMCs - Definição formal

No caso do ordenamento de PMCs, as atividades continuam gerando fluxos de caixa, mesmo após o seu término. Dessa maneira, cada uma delas vai gerar um fluxo de caixa por período, até o fim do projeto ou um prazo determinado. Esta pequena alteração, com relação ao problema de MAXNPV tratado no capítulo anterior, faz com que o problema se torne NP-completo, como visto.

Portanto, para o caso em análise, podemos descrever formalmente uma rede de PMCs como:

$$PMC_n = (PMC, G)$$

Onde

PMC = é o conjunto de nós M_i , $i = 1..n$.; onde cada nó representa um PMC em particular.

G é o grafo acíclico orientado, representando a dependência entre PMCs. M_1 e M_n são PMCs vazios, com duração igual a zero, representando o início e fim do projeto.

Cada nó M_i é caracterizado pelos seguintes parâmetros:

FCD_i (Fluxo de Caixa Descontado)

$\{g_{it}\}$ onde $g_{1t}, g_{2t}.. g_{nt}$ são os conjuntos ordenados dos elementos de fluxo de caixa líquidos derivados de M_i

D_i = duração do nó M_i , onde $where 1 \leq d_i \leq T$ é o número de períodos necessário para o desenvolvimento de M_i .

T = tempo de vida total do projeto

Assim, o problema para encontrar a melhor seqüência de PMCs com o valor máximo de NPV pode ser definido formalmente como:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^n \sum_{t=S_i}^{\delta} g_{it} / (1 + \alpha)^t$$

sendo:

n – número de PMCs

δ - número de períodos do projeto

α - Taxa de Desconto

g_{it} – fluxo de caixa do PMC_i no período t

S_i – período de início do PMC_i

Cabe observar que para obter a seqüência de PMCs com o valor máximo de NPV, as seguintes restrições devem ser satisfeitas:

- Apenas um PMC pode ser implementado por vez
- Um PMC só pode iniciar após seu PMC precedente ter terminado
- O primeiro PMC deve começar no tempo zero
- Não há atrasos entre o fim de um PMC e o começo de outro.

4 SOLUÇÃO VIA MÉTODO DETERMINÍSTICO

Como visto anteriormente, o problema de ordenamento de PMCs é do tipo NP-completo. Para este tipo de problema, não existe solução polinomial, sendo possível sua solução através de força bruta ou através do uso de heurísticas.

4.1 HEURÍSTICA IFM

Em seu livro *Software by Numbers*, Mark Denne descreve uma heurística denominada *Incremental Funding Method* (IFM) (DENNE, 2003). Para examinar o impacto no VPL do projeto através das diferentes seqüências de PMCs, a heurística verifica como os retornos de cada PMC são afetados por potenciais atrasos no desenvolvimento das mesmas. Isto pode ser obtido calculando-se o fluxo de caixa descontado de cada PMC para cada período de início possível, de acordo com as limitações de precedência entre os PMCs. Esse resultado chama-se de *Sequence-Adjusted NPV* (SANPV).

A heurística IFM começa através da criação de seqüências de PMCs, chamadas *strands*, que são definidas como caminhos dentro do grafo de precedência, caminhos estes compostos por atividades respeitando a relação de precedência existente. Os PMCs ou EAs individuais são casos especiais de *strands*, caminhos com apenas uma atividade.

O próximo passo no processo é o calculo do SANPV para cada *strand*, representando o VPL combinado de todos os elementos contidos nele, para um dado período de início. O *strand* que oferecer o melhor VPL contém a seqüência de PMCs mais interessante para o projeto do ponto de vista financeiro.

No entanto, um aprimoramento ainda é necessário. A simples comparação entre SANPVs de diferentes *strands* não leva em consideração o número de períodos necessários para o desenvolvimento do PMC. Assim, um *strand* que tem um VPL de R\$ 50K em dois períodos é obviamente mais interessante que um *strand* que forneça os mesmos R\$ 50K, mas em três períodos. Por isso a heurística faz uma ponderação negativa no SANPV de acordo com o tamanho da *strand*, e então utiliza esse SANPV ponderado (*Weighted Sequence-Adjusted Net Present Value* - WSANPV) para fazer a seleção da melhor seqüência. A seguinte fórmula é aplicada para o cálculo do WSANPV:

$$\text{WSANPV} = \text{SANPV} \times (1 - (\text{FP} \times (\text{NP} - 1)))$$

Equação 12. Equação do cálculo de WSANPV

onde FP é o fator de ponderação e NP é o número de períodos na *strand*.

Isto tem o efeito de dar mais peso a *strands* mais curtas e menos peso para os mais longos, durante o processo de seqüenciamento. O fator de ponderação (FP) é obtido empiricamente, e resultados sugerem um valor entre 12 e 20% (DENNE, 2003).

4.2 UM EXEMPLO

Um exemplo ilustra melhor todos os conceitos listados e o uso da heurística IFM. Vamos utilizar um projeto hipotético – a construção de um portal de serviços financeiros para uma instituição bancária.

O banco deseja desenvolver uma aplicação *Web* para fornecer para seus clientes um conjunto de serviços transacionais e informativos. Como no caso de muitos portais, existem distintas partes associadas a diferentes funcionalidades, cada qual com seu próprio tempo de desenvolvimento e de retorno financeiro. Neste exemplo, serão identificadas seis destas partes. No entanto, não é claro como o desenvolvimento deve ser realizado, de modo a garantir o maior retorno financeiro possível. É necessário determinar que características serão desenvolvidas em primeiro lugar, que elementos arquiteturais devem ser construídos e quando, e qual a projeção do retorno financeiro em função destas variáveis.

Em termos financeiros, o banco requer que o projeto produza um ROI positivo em quatro anos, e que o tempo total de desenvolvimento total não ultrapasse dois anos. Os dados financeiros serão tratados em períodos quadrimestrais.

4.2.1 Seleção dos PMCs

A definição de PMCs deve ser conduzida primariamente pela análise do problema no contexto do domínio da aplicação, das necessidades e limitações dos donos ou acionistas, e pelo contexto do negócio. A técnica usada para a seleção dos PMCs pode ser *top-down* ou *bottom-up*, dependendo do caso.

No nosso exemplo, utilizaremos os PMCs descritos no quadro abaixo:

Quadro 7. Descrições dos PMCs

PMCs	Descrição
0	Mostra o balanço corrente
1	Mostra as últimas 10 transações
2	Mostra o extrato corrente ou anterior em formato eletrônico
3	Realiza transferência de fundos
4	Gerencia pagamentos e devedores
5	Permite o uso eletrônico de cartões de crédito

PMC 0 – Mostra o balanço corrente:

- Este PMC permite que um usuário ou cliente visualize o saldo corrente da sua conta bancária e de suas aplicações financeiras

PMC 1 – Mostra as últimas 10 transações

- Mostra um sumário simplificado das últimas 10 (dez) transações na conta de um cliente, mas sem os detalhes de um extrato completo.

PMC 2 - Mostra o extrato corrente ou anterior em formato eletrônico

- Este PMC mostra o extrato atual ou passado de um cliente.

PMC 3 - Realiza transferência de fundos

- Permite que um cliente realize transferências domésticas ou internacionais a partir de sua conta.

PMC 4 - Gerencia pagamentos e devedores

- Fornece facilidades para o gerenciamento de pagamentos e devedores.

PMC 5 - Permite o uso eletrônico de cartões de crédito

- Permite que um cliente utilize eletronicamente um cartão de crédito. O PMC não provê nenhuma capacidade transacional adicional, e permite economia de recursos ao evitar o processamento manual dos pagamentos.

4.2.2 Elementos de arquitetura

Neste exemplo, vamos supor que uma análise da arquitetura do sistema demonstrou a necessidade de existência de um *framework* de conectividade entre os diferentes PMCs citados acima. Este *framework* conteria diversos elementos necessários, essenciais para a construção dos PMCs, funcionando muitas vezes como elos de ligação, e que são denominados elementos de arquitetura.

Como já visto, os EAs têm o mesmo comportamento dos PMCs, tendo como diferença apenas a questão de não gerarem receita, apenas custos. No caso em questão, os elementos de arquitetura necessários ao projeto estão listados no quadro abaixo:

Quadro 8. Elementos de infra-estrutura

	Elementos de arquitetura	Descrição
1	<i>Messaging</i>	Interface de informação para o sistema de registro do banco
2	Monitor de transações	Interface transacional para o sistema de registro do banco
3	Processamento de <i>forms</i>	Tratamento dos formulários da aplicação
4	Infra-estrutura <i>Web</i>	Onde a parte de interface Web vai residir
5	Servidor de aplicação	Onde vão residir os objetos de negócio
6	Sistema de autenticação	Controle de acesso
7	Balanceamento de carga	Distribuição de carga de processamento para melhor desempenho

Observemos que a instituição bancária poderia optar em não desenvolver os quatro últimos EAs no quadro acima, podendo o desenvolvimento destes ser delegado a terceiros (por exemplo, através da hospedagem do *site* em um *datacenter*, onde essa infra-estrutura básica já estivesse sendo oferecida).

Para efeitos desse exemplo, vamos supor que o banco tenha tomado tal decisão. Assim sendo, para o banco ficou a responsabilidade de construir apenas os três primeiros EAs, que denominaremos EA6, EA7 e EA8 respectivamente.

4.2.3 Precedência dos PMCs

Combinando as informações relativas aos EAs e PMCs, bem como suas dependências, podemos formar o quadro abaixo:

Quadro 9. Dependências arquiteturais

Descrição	PMC	EA	Descrição
Mostra balanço corrente	0	6	<i>Messaging</i>
Mostra últimas 10 transações	1	6	<i>Messaging</i>
Mostra extrato corrente	2	6	<i>Messaging</i>
Transferência de fundos	3	7	Monitor de transações
Gerencia pagamentos	4	7	Monitor de transações
Uso eletrônico de cartão de crédito	5	8	Processamento de form

O grafo de dependência dos PMCs e EAs é mostrado a seguir:

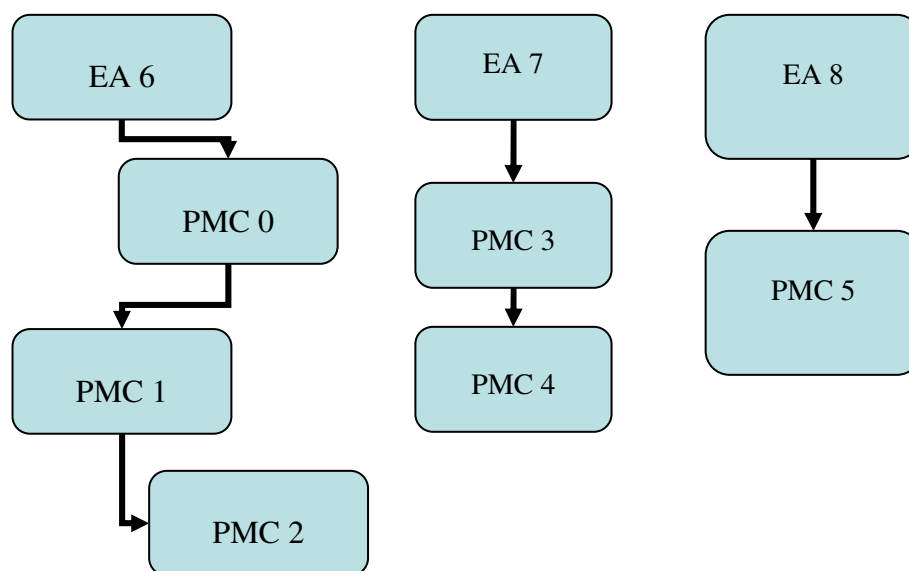


Figura 7. Precedências dos PMCs

4.2.4 Análise financeira dos PMCs

Uma vez que os PMCs e EAs tenham sido definidos e suas dependências identificadas, o próximo passo consiste na construção da tabela de fluxo de caixa de cada PMC. Para isso, se faz necessário uma análise individual do comportamento financeiro de cada PMC:

PMC 0 – Mostra o balanço corrente

Este PMC tem a previsão de um retorno moderado por quadrimestre, principalmente devido a reduções no tempo de atendimento pelo *callcenter*. Os ganhos têm uma previsão de decréscimo ao longo do tempo, pois a tendência é que o PMC0 seja substituído pelos PMC1 e PMC2, que possuem mais funcionalidades. O tempo estimado de desenvolvimento desse PMC é de um período de quatro meses.

PMC 1 – Mostra as últimas 10 transações

Este PMC tem a previsão de um retorno inicial de R\$ 290.000,00 por quadrimestre, podendo chegar a R\$ 430.000,00, sendo necessários três períodos para seu desenvolvimento.

PMC 2 - Mostra o extrato corrente ou anterior em formato eletrônico

O PMC2 traz grandes benefícios na forma de redução de impressão e custos de correio, além de atrair novos clientes que desejam a facilidade de extratos em formato eletrônico. Esse PMC tem um custo de desenvolvimento um pouco superior às anteriores, levando um período para sua conclusão.

PMC 3 - Realiza transferência de fundos

Este PMC tem um custo maior de desenvolvimento que PMC0 e PMC1, e tem uma previsão de retorno variando inicialmente de R\$ 180.000,00, podendo chegar a R\$ 240.000,00, principalmente devido à substituição dos custos do processamento manual. O tempo de desenvolvimento é de dois períodos quadrimestrais.

PMC 4 - Gerência pagamentos e devedores

O retorno gerado por esse PMC se deve principalmente à redução de custos de checagem e pela aquisição de novos clientes atraídos pela possibilidade de pagamento por via eletrônica. O tempo de desenvolvimento é de um período.

PMC 5 - Permite o uso eletrônico de cartões de crédito

O esforço de desenvolvimento deste PMC é equivalente ao PMC3, tendo custo e tempo de construção similares. O retorno é obtido principalmente pela redução de custos no processamento das transações, iniciando com R\$ 90.000,00 e podendo chegar a R\$ 140.000,00.

EA6 – *Messaging*

Esse elemento arquitetural é relativamente simples, onde o valor total de compra, instalação e custo de suporte são de R\$ 100.000,00, gastos igualmente em dois períodos quadrimestrais.

4.2.5 Fase Computacional

Temos agora todos os dados necessários para calcular as métricas e valores derivados essenciais para a aplicação da heurística IFM. No entanto, ainda falta destacar os *strands* possíveis. Para representá-los, usaremos uma nomenclatura onde os elementos arquiteturais serão representados pela letra “E” e os PMCs pela letra “P”, ambos seguidos por seus respectivos números. No caso de um PMC ter mais de um período de desenvolvimento, cada período extra será representado pelo carácter ‘.’, adicionado após o número. Assim, neste exemplo, os *strands* possíveis são: E7P3.P4 , E7P3. , E7 , P3.P4 , P3. , P4 , E6.P0P1..P2 , E6.P0P1.. , E6.P0 , E6. , P0P1..P2 , P0P1.. , P0 , P1..P2 , P1.. , P2 , E8P5 , E8 e P5.

O passo seguinte é o cálculo do SANPV de cada *strand*, começando no período 1, depois no período 2, e assim por diante. Para os *strands* simples, compostos por um único PMC ou EA, o SANPV é calculado como demonstrado na seção 3.5. Vejamos, por exemplo, o cálculo de SANPV(PMC3, período2), ou seja, PMC 3 iniciando no período 2. O quadro abaixo mostra os valores presentes, por período, para cada fluxo de caixa do PMC3, com uma taxa de juros de 2,5% por período:

Quadro 11. Valores presentes dos fluxos de caixa do PMC3, a 2,5% ao período.

Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PMC 3		-100	-100	50	70	90	110	130	150	160	180	180	180	180	180	180
VP		-95	-93	45	62	78	93	107	120	125	137	134	131	127	124	121

Somando os valores presentes de todos os períodos, obtemos o valor de 1216 para o SANPV(PMC3, período 2). Para um *strand* mais complexo, composto de vários PMCs e/ou EAs, basta calcular o SANPV de seus componentes básicos, iniciando no período correto. Por exemplo, para a mesma taxa de juros de 2,5% por período, podemos calcular:

SANPV(E7P3.P4, período 1)

= SANPV(E7,Período 1)+SANPV(P3., Período 2)+SANPV(P4, Período 4)

= -195 + 1216 + 1056 = 2077

Estendendo o cálculo para os demais *strands*, e aplicando um fator de ponderação de 15% para o cálculo de WSANPV, podemos montar o quadro abaixo, onde temos para cada *strand* possível, nas linhas brancas os respectivos SANPVs por período, e nas linhas cinza os WSANPVs.

Quadro 12. Valores de SANPV e WSANPV para cada *strand* por período

<i>Strands</i>	PERÍODOS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
E7P3.P4	2077	1809	1548	1294	1045	803	566	349	143	-18	-136	-218	-285	-278	-205	-135
	1142	995	852	712	575	442	312	192	79	-10	-75	-120	-157	-153	-113	-74
E7P3.	1020	877	738	601	468	339	212	102	1	-85	-155	-210	-251	-278	-205	-135
	714	614	516	421	328	237	148	71	0	-59	-108	-147	-176	-195	-144	-94
E7	-195	-190	-186	-181	-177	-172	-168	-164	-160	-156	-152	-149	-145	-142	-138	-135
	-195	-190	-186	-181	-177	-172	-168	-164	-160	-156	-152	-149	-145	-142	-138	-135
P3.P4	2551	2272	2000	1734	1475	1222	975	735	513	303	138	17	-69	-140	-136	-67
	1786	1590	1400	1214	1032	855	683	514	359	212	97	12	-48	-98	-95	-47
P3.	1367	1216	1068	923	783	645	511	380	266	161	71	-3	-62	-106	-136	-67
	1162	1033	908	785	665	548	434	323	226	137	61	-2	-52	-90	-116	-57
P4	1448	1315	1184	1056	932	811	692	577	464	354	247	143	67	19	-8	-34
	1448	1315	1184	1056	932	811	692	577	464	354	247	143	67	19	-8	-34
E6.P0P1.	5781	5060	4366	3688	3013	2368	1778	1241	751	299	68	14	-46	-104	-68	-34

.P2	578	507	437	369	301	237	178	124	75	30	7	1	-5	-10	-7	-3
E6.P0P1.	3860	3470	3070	2667	2247	1830	1437	1067	713	380	68	14	-46	-104	-68	-34
	965	868	768	667	562	458	359	267	178	95	17	3	-11	-26	-17	-8
E6.P0	1222	1179	1117	1044	946	844	738	628	514	397	275	150	22	-104	-68	-34
	855	825	782	731	662	591	517	440	360	278	193	105	15	-73	-48	-24
E6.	-96	-94	-92	-89	-87	-85	-83	-81	-79	-77	-75	-73	-72	-70	-68	-34
	-96	-94	-92	-89	-87	-85	-83	-81	-79	-77	-75	-73	-72	-70	-68	-34
P0P1..P2	7334	6597	5877	5162	4458	3777	3100	2453	1861	1322	830	376	143	87	26	-34
	2934	2639	2351	2065	1783	1511	1240	981	744	529	332	150	57	35	10	-13
P0P1..	4743	4345	3956	3564	3162	2756	2334	1916	1521	1148	792	457	143	87	26	-34
	2609	2390	2176	1960	1739	1516	1284	1054	836	632	435	251	79	48	14	-19
P0	1385	1351	1318	1272	1209	1134	1034	930	821	709	594	474	351	224	93	-34
	1385	1351	1318	1272	1209	1134	1034	930	821	709	594	474	351	224	93	-34
P1..P2	6670	5949	5245	4559	3889	3249	2644	2067	1523	1039	613	237	-98	-207	-136	-67
	3669	3272	2885	2507	2139	1787	1454	1137	838	572	337	130	-54	-114	-75	-37
P1..	3732	3358	2994	2638	2291	1953	1622	1300	986	699	439	198	-17	-207	-136	-67
	2612	2351	2096	1847	1604	136	1136	910	690	489	307	139	-12	-145	-95	
P2	4035	3660	3295	2938	2591	2252	1921	1598	1296	1021	766	537	340	174	38	-81
	4035	3660	3295	2938	2591	2252	1921	1598	1296	1021	766	537	340	174	38	-81
E8P5	1235	1113	994	877	764	653	545	440	337	237	139	44	-49	-107	-164	-81
	1050	946	845	746	649	555	464	374	287	202	118	37	-42	-91	-139	-69
E8	-117	-114	-111	-109	-106	-103	-101	-98	-96	-94	-91	-89	-87	-85	-83	-81
	-117	-114	-111	-109	-106	-103	-101	-98	-96	-94	-91	-89	-87	-85	-83	-81
P5	1480	1352	1227	1105	986	870	757	646	539	433	331	231	133	38	-22	-81
	1480	1352	1227	1105	986	870	757	646	539	433	331	231	133	38	-22	-81

A heurística IFM então opera da seguinte forma: compara, para o primeiro período, todos os *strands* que não tenham precursores ou cujos já tenham sido tratados e seleciona aquele que tem maior WSANPV. No exemplo dado, os únicos *strands* que satisfazem à condição dos precursores são aqueles que começam com EA6, EA7 ou EA8. No caso, o strand com maior WSANPV para o período 1 é E7P3.P4 com o valor de 1142. Portanto, EA7 é desenvolvido no período 1.

Uma vez que EA7 tenha sido construído, vamos considerar agora um conjunto adicional de *strands* para o período 2. Agora, são candidatos possíveis todos os *strands* que tenham EA1 como precursor (pois foi tratado no primeiro período), ou que não tenham precursores. Teremos então os *strands* P3.P4, P3. , E6. , E6.P0P1..P2, E6.P0P1.. , E6.P0 , E8P5 e E8, e destes, o que tem maior WSANPV é P3.P4, com o valor de 1590. Como o PMC 3 leva dois períodos de desenvolvimento, pula-se o período 3 e passamos a avaliar o período 4. Desta vez, a heurística escolhe o *strand* PMC 4, com o valor de WSANPV de 1056. O processo então continua até o último período, ou até não haver *strands* com SANPV positivo. Neste exemplo, a heurística selecionaria a seqüência E7P3.P4E6P0P1..P2E8P5.

A heurística IFM encontra apenas uma solução sub-ótima, mas geralmente tem ótimo desempenho em velocidade e boa eficiência (DENNE, 2004), e trabalhos recentes mostram que, em média, consegue-se obter retorno de cerca de 98,5% em relação ao resultado ótimo (JWO-HORNG, 2004).

4.3 O ALGORITMO USADO NA HEURÍSTICA IFM

Para utilizar a heurística IFM, existem algumas restrições no grafo de dependências de PMCs:

- Cada PMC deve ter apenas um precursor, de modo a não termos caminhos cruzados.
- Os fluxos de caixas devem ser sempre zero ou positivos, após o período de desenvolvimento.

Assim, podemos representar formalmente o algoritmo usado na heurística IFM da seguinte maneira:

- m representa um PMC
- $p(m)$ é o predecessor do PMC m
- $f(m)$ é um sucessor do PMC m
- s representa um *strand*
- $s(1)$ representa o primeiro PMC do *strand* s
- d_j representa o tempo de desenvolvimento do PMC m_j
- δ representa o número de períodos do projeto
- ELG é um conjunto de PMCs possíveis de serem selecionados
- ST é o conjunto de *strands* encontrados
- SQ é a seqüência sub-ótima de PMCs

1. Inicialização

- a. $ELG \leftarrow \emptyset$
- b. $t \leftarrow 0$
- c. $ST \leftarrow \emptyset$
- d. $SQ \leftarrow \emptyset$

2. Inicializa ELG

- a. $ELG \leftarrow \{ m_j \mid \forall (m_j, \text{ que não tenha } p_j(m_j))$

3. Monta os strands

- a. Executa recursivamente a rotina $\text{montaStrands} (m_j \mid \forall (m_i, m_j))$

4. Corpo Principal

4.1 Execute enquanto ($ELG \neq \emptyset$ ou $t \leq \delta$)

- a. $\forall s_i \in ST \mid \text{se } (s_i(1) \in ELG \text{ e } VPL(s_i, t) \text{ é máximo) então } s_b = s_i;$
- b. $SQ = SQ \cup \{ s_b(1) \}$
- c. $t = t + d_j$
- d. $ELG = ELG - s_b(1)$
- e. $\forall f_i (s_b(1)) \mid ELG = ELG + f_i (s_b(1))$

5. Rotina MontaStrands (s_i)

1. if (existe $p_j(s_i(1))$ then $\text{montaStrands} (\{ p_j(s_i(1)) \} \cup \{ s_i \});$
2. $ST = ST \cup \{ s_i \};$

5 SOLUÇÃO VIA MODELO ESTOCÁSTICO

5.1 FALHAS NO MODELO DETERMINISTA

O emprego da heurística IFM se mostrou bastante eficaz na resolução do exemplo anterior, em termos de velocidade de processamento e eficiência da solução sub-ótima. Cabe notar que usamos um modelo determinista, onde todas as variáveis envolvidas tiveram um valor único, preciso, determinado. Isso se aplicou à taxa de desconto, custos de desenvolvimento, fluxos de caixa futuros, etc. Os custos de desenvolvimento também tiveram um valor único, pois como é comum a utilização de uma mesma equipe do início ao fim do desenvolvimento, é fácil prever o gasto no primeiro período, e depois apenas replicá-lo para os demais períodos de desenvolvimento.

No entanto, para as demais variáveis, foi utilizado algum critério de previsão, uma vez que os valores ainda vão ocorrer no futuro. E por mais que tenhamos um bom palpite, dificilmente iremos acertar sempre a previsão de cada valor. Como saber com precisão o fluxo de caixa de um PMC daqui a um ano? São tantas as variáveis envolvidas (juros, inflação, estratégia de marketing, aceitação do produto, etc.), a maior parte delas intangível, que se torna praticamente impossível prever com precisão tal valor.

Portanto, utilizar variáveis determinísticas torna o problema apenas acadêmico, não sendo aplicável na prática. Teremos de trabalhar cada valor em um intervalo de confiança, onde é estipulada uma faixa de valores, mínimo e máximo, faixa na qual provavelmente o valor real deve se encaixar.

Assim, nos projetos reais, um desafio comum é incerteza de sua duração e a natureza estocástica de vários atributos de suas atividades, entre eles o valor dos fluxos de caixa futuros nos diferentes períodos. Sempre se torna necessário fazer uma estimativa, havendo uma margem de incerteza nesta previsão.

5.2 MODELO ESTOCÁSTICO

Portanto, podemos modificar o exemplo descrito na seção anterior, de modo a termos, por exemplo, um intervalo de variação de +/- 30%, ou seja, cada fluxo de caixa pode sofrer uma variação de 30% para cima ou para baixo em relação ao valor inicialmente

previsto, que chamaremos de valor original. Em outras palavras, poderemos usar uma distribuição de probabilidade (por exemplo, a triangular), para estimar os valores de cada fluxo de caixa. Desta forma, para cada fluxo seriam escolhidos três valores: mínimo, provável e máximo, que no caso corresponderiam respectivamente ao valor original menos 30%, ao valor original, e a ele mais 30%. Isso seria feito apenas para os valores de caixa positivo, pois os valores iguais a zero representam os elementos de arquitetura, e os valores negativos representam custo, que como já citados, podem ser estimados com parâmetros mais precisos. Para exemplificar, o quadro abaixo mostra a faixa de valores de fluxo de caixa para o PMC 4 do exemplo anterior, nos períodos 3 a 7 (os períodos 1 e 2 são de desenvolvimento). Cada período tem agora três valores: mínimo (provável-30%), provável e máximo (provável+30%),

Quadro 13. Faixa de valores para os fluxos de caixa do PMC4

	Período 3			Período 4			Período 5			Período 6			Período 7		
	Min	Prov	Max	Min	Prov	Max	Min	Prov	Max	Min	Prov	Max	Min	Prov	Max
PMC4	28	40	52	28	40	52	49	70	91	77	110	143	105	150	195

A escolha do valor do período a ser usado se dá através de uma distribuição de probabilidade, por exemplo a triangular. Através de um processo de Monte Carlo, várias amostras podem ser geradas, cada uma sorteando os fluxos de caixa de cada período segundo aquela distribuição. Cada amostra é então processada individualmente, e através da heurística IFM, encontra-se a melhor seqüência de PMCs e o respectivo VPL para cada uma delas.

Cabe observar que várias seqüências podem ser encontradas, e não serão necessariamente iguais, nem os respectivos VPLs, pois os valores sorteados de fluxo de caixa serão diferentes em cada amostra. Encontrada essas seqüências, cada uma delas é reprocessada em todos os cenários sorteados, de forma a encontrar um comportamento estatístico das mesmas, com um dado VPL médio e um desvio padrão para cada seqüência.

Em uma simulação do exemplo anterior, com 5000 amostras, podemos tabular as seqüências encontradas:

Quadro 14. Valores estocásticos de VPLs encontrados em 5000 amostras

Freqüência	Média	DP	Seqüência
3005	5117	121	E7P3.P4E6.P0P1..P2E8P5
1795	4601	106	E7P3.P4E8P5E6.P0P1..P2
152	4543	105	E8P5E7P3.P4E6.P0P1..P2
37	5583	136	E8P5E6.P0P1..P2
11	5074	120	E7P3.P4E6.P0P1..P2

Assim, podemos ver que agora temos várias seqüências possíveis, ao invés de apenas uma como no modelo determinístico. Qual destas seqüências é a melhor, em termos de maximização do VPL?

Uma resposta simplista seria escolher aquela que tem a maior média de VPL. No caso acima, seria a quarta seqüência. No entanto, podemos ver que ela ocorre apenas 37 vezes, em 5000 cenários sorteados. O que implica que a chance do cenário ocorrer na prática, onde ela é a melhor, é pequena. Desta forma, fica-se com o dilema: apostar num maior VPL, com pouca chance de ocorrência, ou em um menor VPL, com grande chance? Além disso, mesmo em um cenário favorável, aquela seqüência pode não produzir o melhor VPL, pois existe um desvio padrão, que representa um risco adicional.

No meio financeiro, é comum nos depararmos com o dilema em colocar o dinheiro em aplicações de alto risco, com maiores ganhos, ou em aplicações de baixo risco, com ganhos pífios. O tipo de escolha é o que diferencia o aplicador de perfil agressivo em relação a outro com perfil conservador. No exemplo em análise, temos uma dúvida parecida. A escolha da melhor seqüência envolve três variáveis - freqüência, média e desvio padrão – e a preferência por cada uma delas vai depender do perfil do “investidor”.

5.3 ESCOLHA DE UM MODELO DE PREVISÃO

No modelo estocástico tratado anteriormente, foi criada uma faixa de valores para cada fluxo de caixa por período, eliminando a fragilidade prática de uma previsão exata, que ocorria no modelo determinista. Para trazer o problema ainda mais próximo da realidade, a estimativa futura dos fluxos de caixa deve ser tratada de forma mais sistemática. É necessário definirmos um modelo de previsão de seus comportamentos, e a faixa de valores em que tais fluxos irão se situar. A idéia desse modelo é fazermos uma previsão comportamental do

futuro usando variáveis conhecidas (por exemplo, através da análise do comportamento do passado) (MORETTIN, 1985).

Como já visto anteriormente no capítulo 2, existem diversos modelos de previsão, cada um mais adequado a um determinado perfil de problema. Então, para um dado projeto, o analista deve tentar identificar esse perfil, de modo a escolher um modelo mais apropriado: auto-regressão, movimento browniano, uso ou não de *drift*, etc. É essa escolha acertada que vai levar a estimativas mais consistentes dos valores futuros dos fluxos de caixa, de modo depois a permitir o sorteio de cenários bem ajustados, refinando os dados e aprimorando o modelo estocástico.

5.4 CRITÉRIO DE DECISÃO

Após a escolha do modelo de previsão adequado e dos sorteios dos cenários no modelo estocástico, cabe definir qual o critério final de decisão a ser adotado para a escolha da melhor seqüência. Tal critério pode depender de dois fatores: dos resultados obtidos e do perfil do analista, se é conservador ou agressivo. Um detalhe a realçar é que a decisão não precisa recair necessariamente em apenas uma seqüência, mas pode selecionar mais de uma, que seriam equivalentes em função do critério de escolha adotado.

Os resultados obtidos podem mostrar claramente uma (ou mais) seqüência vencedora, por exemplo, se ela possuir ao mesmo tempo três características: maior valor médio de VPL, menor desvio padrão e maior probabilidade de ocorrência. Nesse caso, não haveria nenhuma dúvida na seqüência a ser escolhida, pois ela seria completamente dominante em relação às demais.

No caso dos resultados não mostrarem nenhuma seqüência na condição dominante, o tomador de decisão terá de entender o risco e a incerteza associada a cada alternativa. Ele poderá usar três critérios para decidir (HOLLOWAY, 1979), dependendo do problema.

5.4.1 Uso de medidas de resumo

As medidas óbvias para análise são os valores da média, desvio padrão, máximo e mínimo. Um maior desvio padrão indica uma maior incerteza (a distribuição é mais

espalhada). Os valores mínimo e máximo indicam que há uma chance de obter valores muito ruins ou muito bons, e podem levar à decisão de descartar ou privilegiar uma dada seqüência.

Uma boa estratégia seria traçarmos um gráfico da média pelo desvio padrão, ou de distribuição cumulativa de probabilidade das seqüências, onde pudéssemos visualmente verificar quais as seqüências que melhor têm melhor adequação ao perfil desejado. Usando os dados do exemplo mostrado no item 5.2, teríamos o seguinte gráfico:

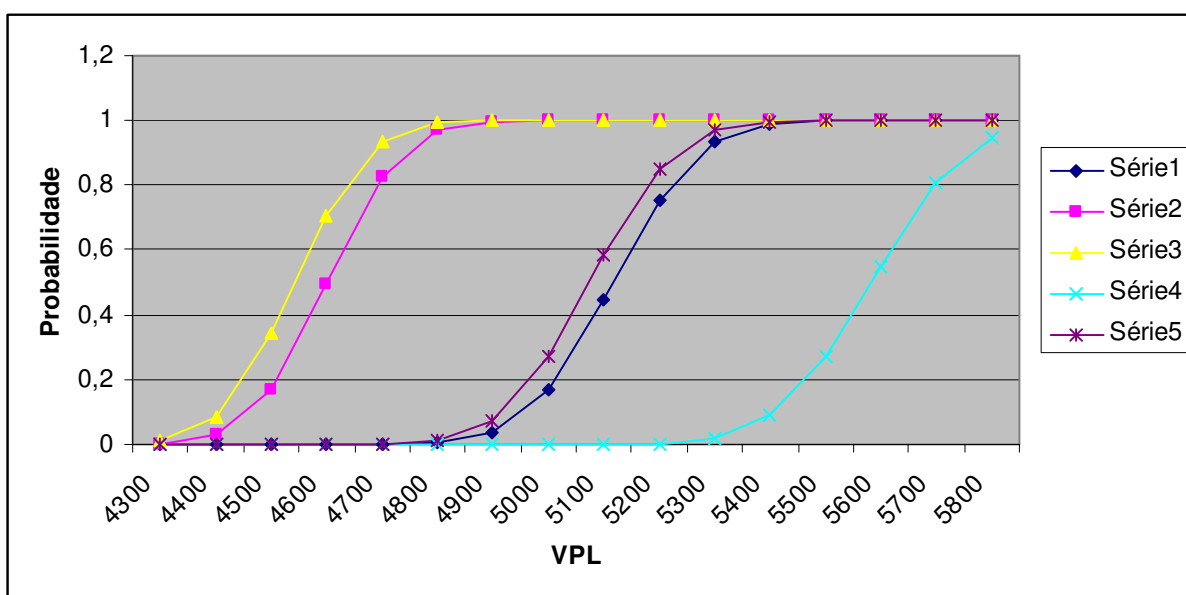


Figura 8. Gráfico de seqüências (distribuição cumulativa de probabilidade)

A seqüência que fica mais à direita no gráfico é a dominante estatisticamente, e normalmente é a que deve ser escolhida.

Outro critério de decisão pode ser a média de VPL e o desvio padrão de cada seqüência selecionada. Se o tomador de decisão for conservador, poderá escolher aquela com menor desvio padrão, ou seja, com menor risco. Se for agressivo, pode escolher a seqüência com maior média de VPL, mesmo tendo um risco maior.

5.4.2 Uso de nível de aspiração

Outra hipótese seria usar como critério de comparação uma determinada meta importante a se obter – um nível de aspiração. Por exemplo, em um dado projeto, é

extremamente importante que o retorno financeiro tenha um dado valor mínimo a ser alcançado. Assim, seqüências com VPLs menores que esse valor seriam descartadas.

Um possível aprimoramento nesta técnica seria determinar a probabilidade de uma dada seqüência ter um VPL acima do valor mínimo necessário. Nesse caso, o tomador de decisão poderia escolher a seqüência com maior probabilidade.

No caso do exemplo citado anteriormente do item 5.2, poderíamos ter como nível de aspiração para o projeto um VPL acima de 5.000. Consultando o Quadro 14, podemos ver que apenas três seqüências satisfazem esta condição. Se o nível de aspiração fosse um VPL maior que 5.300, apenas uma seqüência seria possível de ser utilizada. Podemos ver claramente, então, que o nível de aspiração pode determinar o escopo das seqüências candidatas.

5.4.3 Uso de equivalente de certeza

O uso de equivalente de certeza é baseado na escolha de um valor, máximo ou mínimo dependendo do problema, a partir do qual o tomador de decisão passa a tender a aceitar ao invés de assumir o risco da incerteza. Por exemplo, suponha que uma pessoa tenha a possibilidade de ter a oferta de um emprego com um salário de R\$ 10.000,00, mas a concretização da proposta ainda depende de vários fatores, sendo, portanto, incerta. Outro empregador oferece um salário de R\$ 3.000,00. Certamente ela recusaria. A oferta aumenta para R\$ 5.000,00. A pessoa continua recusando. A oferta passa para R\$ 7.000,00. Agora ela começa a ficar em dúvida. Se a oferta fosse R\$ 8.000,00, ela aceitaria. Nesse caso, o valor equivalente de certeza seria R\$ 8.000,00.

No caso das seqüências de PMC, o tomador de decisão também pode adotar esse critério para decidir. Por exemplo, se uma seqüência for escolhida como a melhor em mais de 60% das vezes nos sorteios dos cenários, ela seria a escolhida, visto a alta probabilidade de sua ocorrência. No exemplo citado anteriormente, pelo Quadro 14, nota-se que a primeira seqüência é a única a satisfazer este critério do valor equivalente de certeza, e ela portanto seria a escolhida, a despeito de não ter o VPL médio mais alto.

6 UM MÉTODO PARA DETERMINAR O MAX-NPV

Com os elementos acima descritos, podemos então descrever uma proposta de um método para a solução do ordenamento de PMCs, usando um modelo estocástico. A seguir, descrevemos as fases de tal método, para um projeto com um determinado grafo de precedência de PMCs.

6.1 ETAPA INICIAL

- Escolhe-se um modelo adequado de previsão de comportamento de fluxo de caixa futuro para os PMCs do projeto.
- Os parâmetros (ordem, *drift*, variância, etc.) para o modelo escolhido são estabelecidos, bem como a taxa de juros a ser utilizada.
- Diversos cenários para o projeto são sorteados, com diferentes valores de fluxos de caixa, obedecendo ao modelo de previsão adotado.

6.2 PRIMEIRO PASSO

- Para cada cenário, utiliza-se o método de força bruta ou uma heurística (no caso, IFM) para determinar a seqüência de PMCs que fornece o maior VPL do projeto.
- Serão obtidas diversas seqüências, que serão ordenadas pelas suas freqüências de ocorrência na amostragem. Essa freqüência de ocorrência representa a probabilidade de uma dada seqüência ser a melhor, na prática.
- Se o número de seqüências obtidas for muito grande, pode-se impor um corte baseado em dominância probabilística (HOLLOWAY, 1979), utilizando um intervalo de confiança desejado, de modo a reduzir o número total e focar apenas nas seqüências mais prováveis. No entanto, cabe frisar que tal corte pode teoricamente eliminar seqüências que poderiam ser escolhidas como as melhores.

6.3 SEGUNDO PASSO

Após o primeiro passo, obteremos um conjunto de seqüências vencedoras em cada cenário sorteado. No entanto, é necessário verificar como será o comportamento de cada seqüência em todos os cenários, e não apenas naquele onde ela foi vencedora. Isso é importante para obtermos uma freqüência de distribuição cumulativa mais precisa para cada seqüência, obtendo um VPL médio e seu correspondente desvio padrão. Assim o segundo passo se resume a:

- Aplicar cada seqüência selecionada no primeiro passo em cada cenário sorteado, tendo seu respectivo VPL calculado pelo método de força bruta ou pela heurística empregada.
- Para cada seqüência, determinar a média e o desvio padrão dos VPLs calculados para cada cenário.
- Aplicar um critério de decisão para escolher a seqüência preferida, a partir das distribuições cumulativas de probabilidade de cada uma.

6.4 UM EXEMPLO

Para ilustrar o método, vamos usar o exemplo apresentado no livro *Software by Numbers*, onde é mostrado um projeto de razoável complexidade, possuindo o seguinte grafo de precedência:

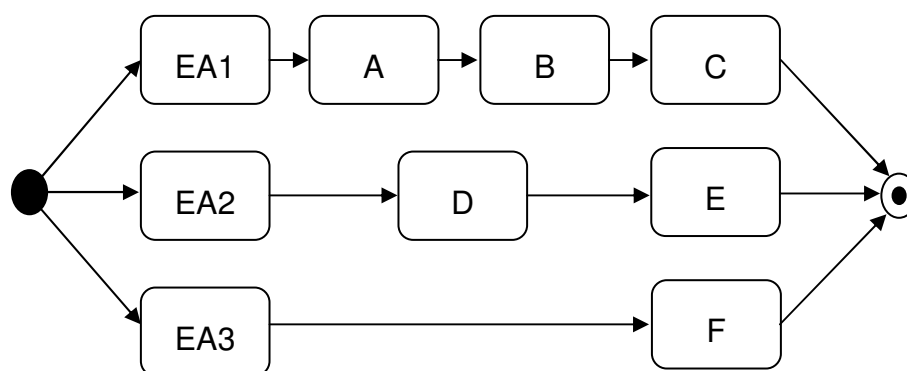


Figura 9. Grafo de precedência dos EAs e PMCs do projeto

6.4.1 Usando o modelo determinista

Doravante, para simplificar a notação, os EAs serão identificados por números e os PMCs serão identificados por letras. Os valores do fluxo de caixa, estimados de forma determinista no exemplo, são mostrados no quadro abaixo.

Quadro 15. Valores de fluxo de caixa e custo de desenvolvimento dos PMCs

PMC/EA	Períodos															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	-200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	-200	90	90	81	72	63	54	45	36	27	18	9	0	0	0	0
B	-200	90	117	144	171	198	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
C	-200	-200	80	112	144	176	208	240	272	304	320	320	320	320	320	320
2	-400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	-250	-250	45	72	90	108	126	144	162	180	180	180	180	180	180	180
E	-350	-350	35	70	105	140	175	210	245	245	245	245	245	245	245	245
3	-200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	-100	-100	90	90	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135

Para calcular a melhor seqüência, usando a solução via força bruta, foram examinadas 1260 seqüências, sendo a seqüência 1AB.C.2D.E.3F. determinada como a ótima, com o valor de VPL de 2.796.

Já através da heurística IFM, a seqüência encontrada para o melhor retorno financeiro para o projeto foi 1AB.C.3F.2D.E, com o valor de VPL de 2667.

6.4.2 Usando o modelo estocástico

Para o modelo estocástico, utilizaremos as fases descritas acima para o método proposto. Na etapa inicial, usaremos um modelo de previsão uniforme, onde os fluxos de caixa são sorteados a partir de uma distribuição triangular com os mesmos valores ao longo do tempo, para todos os períodos. No caso, utilizamos uma faixa de variação de +/- 25% com relação aos valores usados no modelo determinista.

Assim, foram geradas 5000 amostras, selecionando o valor de cada fluxo de caixa através de uma distribuição de probabilidade triangular, usando a variação de -25% como valor mínimo, o dado original como valor provável e a variação de +25% como valor máximo.

6.4.2.1 Força Bruta

Uma primeira abordagem foi usar a solução via força bruta para encontrar a seqüência ótima de cada cenário, junto com o respectivo VPL. É importante notar que, como o projeto tem 7 PMCs e 2 EAs, perfazendo o total de 9 unidades, o número total de seqüências previstas a tratar em cada cenário seria $9! = 362.880$, mas devido às precedências existentes entre os PMCs e EAs, só existem 1.260 seqüências válidas possíveis para esse projeto.

Aplica-se então o primeiro passo do método, ou seja, para cada cenário sorteado é descoberta a melhor seqüência de PMCs (no caso, via força bruta) e o respectivo VPL. Em seguida, o segundo passo é aplicado, onde as seqüências resultantes do passo 1 são aplicadas em cada cenário, de modo a ver como elas se comportam. Os resultados obtidos são mostrados no quadro abaixo:

Quadro 16. Resultados do método, usando força bruta – primeiro passo

Seqüências	Frequência
1AB.C.2D.E.3F.	4711
2D.E.1AB.C.3F.	289

Observa-se, pelo quadro acima, que duas seqüências apareceram como as melhores nos 5000 cenários sorteados, e não apenas uma, como no método determinista. A primeira delas, 1AB.C.2D.E.3F., foi escolhida como a melhor seqüência em 4711 dos 5000 cenários, ou seja, em 94,22% das vezes. A segunda foi eleita com a melhor nos 289 cenários restantes, com a porcentagem de 5,78%.

Para verificar o comportamento estatístico de ambas as seqüências, aplicamos então o segundo passo do método, onde cada seqüência é aplicada em cada um dos 5000 cenários, o respectivo VPL é calculado, e posteriormente, calculamos os valores médios de VPL e o desvio padrão para cada seqüência. O quadro abaixo mostra o resultado encontrado.

Quadro 17. Resultados do método, usando força bruta – segundo passo

Seqüências	Valores VPL			DP
	Min	Max	Médio	
1AB.C.2D.E.3F.	2309	3262	2796	131
2D.E.1AB.C.3F.	2265	3187	2673	125

Podemos então agora traçar um gráfico de distribuição cumulativa de probabilidade das duas seqüências para verificar qual delas é estatisticamente dominante.

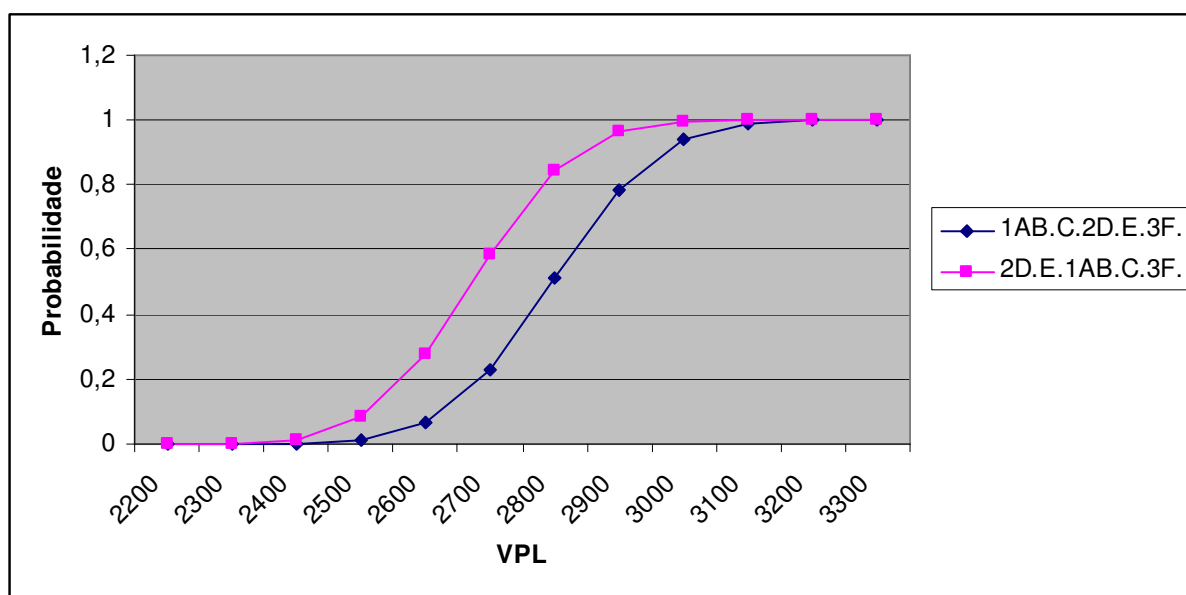


Figura 10. Distribuição cumulativa de probabilidades (força bruta)

Neste exemplo, podemos ver claramente que a seqüência 1AB.C.2D.E.3F. é estatisticamente dominante. Nesse caso, a seqüência escolhida coincide com a encontrada pelo modelo determinista.

6.4.2.2 Heurística IFM

Os mesmos procedimentos do método foram repetidos utilizando a heurística IFM para achar a melhor seqüência em cada cenário, no lugar da solução via força bruta. Os valores obtidos estão no quadro abaixo:

Quadro 18. Resultados do método, com IFM – primeiro passo

Seqüências	Frequência
1AB.C.3F.2D.E.	4800
2D.E.3F.1AB.C.	172
3F.1AB.C.2D.E.	22
2D.E.1AB.C.3F.	6

Observa-se agora que apareceram quatro seqüências nos 5000 cenários sorteados. Isso é explicado ao lembrarmos que a heurística encontra soluções sub-ótimas e, portanto, as seqüências escolhidas pela heurística podem ter um VPL menor que as seqüências encontradas pela força bruta.

A fase seguinte é aplicar o segundo passo do método, onde as seqüências são aplicadas em todos os cenários, para podermos traçar o gráfico de distribuição cumulativa de probabilidade de cada uma delas.

Quadro 19. Resultados do método, com IFM – segundo passo

Seqüências	Valores VPL			DP
	Min	Max	Médio	
1AB.C.3F.2D.E.	2325	3009	2649	96
2D.E.3F.1AB.C.	1931	2523	2253	87
3F.1AB.C.2D.E.	1651	2305	1933	82
2D.E.1AB.C.3F.	2257	2983	2652	93

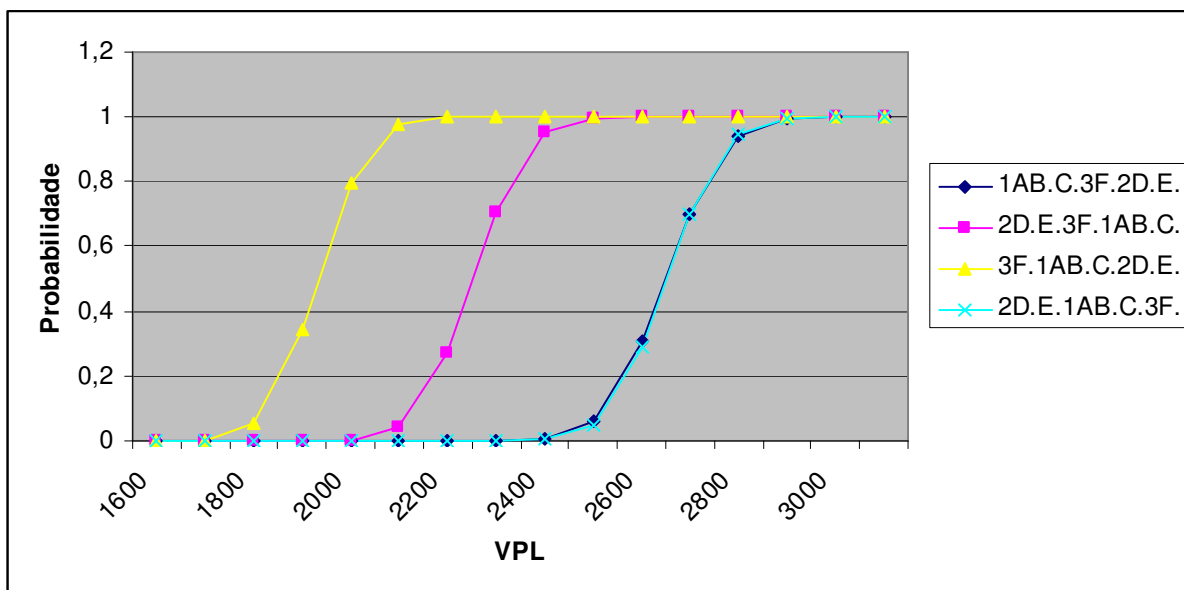


Figura 11. Distribuição cumulativa de probabilidades (heurística IFM)

Podemos ver agora que as seqüências 1AB.C.3F.2D.E. e 2D.E.1AB.C.3F. apresentam dominância estatística e têm uma distribuição cumulativa de probabilidades praticamente coincidentes, o que as tornam equivalentes na prática. Já sob o ponto de vista do valor médio de VPL, a seqüência 2D.E.1AB.C.3F. apresenta um resultado pouco melhor que a seqüência 1AB.C.3F.2D.E., que foi a escolhida pelo método determinista.

Uma pergunta que pode surgir é: se as duas seqüências citadas acima são estatisticamente equivalentes, pois seus gráficos de distribuição cumulativa são coincidentes, porque suas freqüências de aparecimento são tão diferentes no primeiro passo? Essas freqüências deveriam ser próximas entre si, visto que as seqüências são equivalentes e, conseqüentemente, os respectivos VPL. A explicação para a discrepância é o fato de usarmos uma heurística, que escolhe preferencialmente uma seqüência, mesmo esta tendo um VPL menor do que a outra em alguns cenários

Vemos então que duas seqüências podem satisfazer o projeto, em termos de maximização do retorno financeiro. Um critério mais específico de decisão poderia escolher uma em detrimento da outra. O que podemos verificar, pois, é que as seqüências encontradas pelo modelo estocástico podem ser diferentes daquelas identificadas pelo modelo determinista.

7 AVALIAÇÃO EMPÍRICA DO MÉTODO

7.1 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Para testar a eficácia do método proposto, decidiu-se montar um experimento de simulação, onde foram gerados projetos com diferentes números de PMCs, com e sem grafos de precedência, e com distintos valores de fluxos de caixa modelados de formas diferentes.

As seguintes características foram parametrizadas para a geração de cada projeto a ser simulado e analisado:

- Número de PMCs.
- Tempo de vida (em períodos).
- Grafo de precedência dos PMCs.
- Número de períodos de desenvolvimento de cada PMC.
- Valor mínimo e máximo do custo do desenvolvimento de cada PMC, por período.
- Valor mínimo e máximo do retorno financeiro de cada PMC, para o primeiro período após o término do desenvolvimento. Para os períodos seguintes, até o fim da vida útil do projeto, os fluxos de caixa de cada período foram estimados através de um dado modelo de previsão.

7.1.1 Número de PMCs

Foram estimados 2 tipos de projetos

- Projetos de menor porte – 5 PMCs
- Projetos de maior porte – 10 PMCs

7.1.2 Tempo de vida do projeto

Cada projeto tem um tempo de vida útil estimado, onde cada PMC desenvolvido passa a fornecer um retorno financeiro até o fim deste tempo de vida. Na simulação, cada período equivale a 1 mês. Os valores usados foram os seguintes:

- Projetos de menor porte – 18 períodos (1,5 ano)
- Projetos de maior porte – 36 períodos (3 anos)

7.1.3 Grafo de precedência dos PMCs

Os PMCs têm entre si relações de dependência, ou seja, o término do desenvolvimento de um PMC pode depender que outro seja construído previamente. Essas relações, mostrando precursores e sucessores, podem ser explicitadas em um grafo de dependência. Portanto, para simular os projetos, é necessário criar esses grafos de dependência para os mesmos.

Em problemas de escalonamento de projetos (PEP) temos situações similares, onde tarefas dependentes e recursos limitados tornam complexo o escalonamento dos projetos e a conseqüente geração dos grafos de atividades. Aproveitando o ferramental existente para a resolução de PEPs, foi utilizado, para gerar os grafos de dependência na simulação dos projetos deste experimento, um software gerador de escalonamento de projetos, o ProGen/Max (SCHWINDT, 2004). Ele é uma versão melhorada do gerador Progen, desenhado para geração básica de dados e construção de estruturas de redes acíclicas.

O software ProGen/Max gera grafos baseados em redes do tipo *Activity on Network* (AoN), e cria escalonamentos de acordo com três tipos de critérios de desempenho:

- *Makespan* mínimo
- *Resource levelling*
- Valor Presente Líquido

Outros parâmetros podem ser configurados, como as durações das tarefas e o número de predecessores e/ou sucessores delas. Também foram gerados projetos onde não há precedência, ou seja, os PMCs podem ser construídos em qualquer ordem.

7.1.4 Número de períodos de desenvolvimento de cada PMC

O Progen/Max permite que se alterem os valores dos parâmetros referentes às durações mínimas e máximas de cada atividade. No caso de projetos com PMC, esse conceito precisa ser ligeiramente modificado, uma vez que o PMC não pára de apresentar resultados financeiros após sua conclusão, mas apenas no fim da vida útil do projeto.

Portanto, a duração da atividade do Progen/MAX vai determinar na verdade o número mínimo e máximo de períodos necessários para o desenvolvimento de um PMC, e não da sua duração total.

7.1.5 Valor do custo do desenvolvimento de cada PMC

Após determinar qual a duração do desenvolvimento de um PMC, precisamos estimar qual o custo financeiro desse desenvolvimento por cada período.

Como para desenvolver um PMC em geral é utilizada uma mesma equipe do início ao fim, é razoável supor que os custos de cada período devem ser iguais. Na simulação, usaremos essa suposição, sendo atribuídos três valores para o custo de desenvolvimento: custo mínimo, custo provável e custo máximo. Durante a simulação, um sorteio baseado na distribuição triangular de probabilidades será realizado e o resultado usado como custo de desenvolvimento por período.

7.1.6 Valor do retorno financeiro de cada PMC por período

Após o seu desenvolvimento, cada PMC passa a prover um retorno financeiro, proveniente de um fluxo de caixa positivo. Esse retorno é dependente de cada PMC, de suas características e opções oferecidas ao cliente e/ou mercado.

Na simulação, para estimar esse retorno, atribuímos três valores para o primeiro período: retorno mínimo, retorno provável e retorno máximo. Um sorteio baseado na distribuição triangular de probabilidades é então realizado para escolher o primeiro valor.

Cabe frisar que, na prática, um analista de negócios deveria usar um modelo de previsão mais próximo da realidade, onde os retornos de cada período não são fixos e constantes, mas sim flutuantes e sujeitos a variações. De qualquer forma, como já dito

anteriormente, a escolha do modelo de previsão não altera o funcionamento do método proposto.

7.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO

Passa-se então para a aplicação do método proposto para a determinação da melhor seqüência de PMCs, em um modelo estocástico, utilizando os passos abaixo.

7.2.1 Escolha dos valores dos fluxos de caixa

Como citado no capítulo anterior, a escolha do modelo de previsão para os fluxos de caixa é independente do processo de seleção da melhor seqüência de PMCs para o máximo retorno financeiro do projeto. É função dos analistas, que conhecem bem o perfil e características do projeto, a escolha do modelo de previsão que melhor represente o projeto em questão.

Para o experimento foi considerado um modelo de previsão uniforme, onde os fluxos de caixa de cada período são sorteados a partir de uma distribuição triangular com os mesmos valores ao longo do tempo. Os valores usados para o sorteio dos fluxos de caixa no experimento estão listados abaixo:

Quadro 20. Valores usados para o sorteio dos fluxos de caixa

PMC	Valor Mínimo	Valor Provável	Valor Máximo
PMC 0	320	400	550
PMC 1	900	1000	1100
PMC 2	200	300	400
PMC 3	1500	1600	1700
PMC 4	150	250	350
PMC 5	850	1100	1400
PMC 6	700	800	900
PMC 7	100	400	700
PMC 8	1150	1300	1450
PMC 9	1600	1700	2000

7.2.2 Geração dos lotes

Para a simulação, foram criadas instâncias de projetos com 5 e 10 PMCs, a partir do Progen/Max. Cada instância tem o seu próprio grafo de precedência, gerada pelo software.

Posteriormente, para cada instância, foram geradas diversas amostras distintas. Para determinar o número de amostras mínimas necessárias, usamos o Teorema de Kolmogorov-Smirnov (FELLER,1948). De acordo com este teorema, existe uma relação entre o número de amostras, o nível de confiança desejado e o erro máximo aceitável. Para um número de amostras superior a 50, pode-se usar o quadro abaixo:

Quadro 21. Determinação do número mínimo de amostras

Confiança	90 %	95 %	99 %
Erro (Dn %)	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$
Número de Amostras	$\frac{1,1449}{D_{n,\alpha}^2}$	$\frac{1,8596}{D_{n,\alpha}^2}$	$\frac{2,5949}{D_{n,\alpha}^2}$

O quadro mostra níveis de confiança de 90%, 95% e 99%. Pode-se ver que para obter um erro máximo de Dn% com 95% of certeza, é necessário gerar $(1,8596 / D_{n,\alpha}^2)$ amostras. Por exemplo, para obter um erro máximo de 2% com 95% de confiança, devem ser geradas pelo menos 4649 amostras.

Para o experimento, portanto, para cada projeto foram geradas 5000 amostras. Cada amostra é processada de forma que os PMCs contidas nela tenham o seu número de período de desenvolvimento e os valores de fluxos de caixa sorteados conforme descrito nos itens 7.1.4, 7.1.5 e 7.1.6 acima.

Abaixo temos um exemplo de um arquivo de configuração para uma dada amostra gerada:

maxPMC=5
 Periodos=18
 taxaJuros=0.025

PMC0
 pre=-1
 roi=-312,498,495,508,509,527,522,547,575,533,532,574,565,530,554,515,515,515

PMC1
 pre=0
 roi=-255,-255,-255,569,620,571,602,634,617,646,627,592,529,510,545,570,601,586

PMC2
 pre=-1
 roi=-150,-150,-150,-150,272,248,235,241,246,215,234,252,250,297,284,288,274,249

PMC3
 pre=2
 roi=-285,-285,-285,-285,755,773,855,822,829,884,883,866,897,885,877,835,834,837

PMC4
 pre=3
 roi=-435,-435,-435,-435,875,901,948,963,945,946,977,1017,1061,1091,1169,1135,1104,1192

Neste arquivo, temos as seguintes características:

- A primeira linha (MAXPMC) informa o número de PMCs do projeto.
- A segunda linha (Períodos) informa o número total de períodos que serão considerados de vida útil para o projeto.
- A terceira linha (taxaJuros) informa a taxa de juros por período.
- Os próximos campos definem os atributos de cada PMC.
 - O primeiro deles define o seu nome (PMC0).
 - Depois, o campo “pre” define os PMCs predecessores, separados por vírgulas. Se este campo tiver o valor -1, significa que não há predecessores.

- O campo seguinte “roi” define os valores dos fluxos de caixa para cada período. Os valores negativos representam os períodos de desenvolvimento do PMC (pois nesses períodos só houve despesa). Para os elementos de arquitetura, os valores são iguais a zero por definição.

7.2.3 Primeiro passo para determinação das seqüências

Usando o método de Monte Carlo, depois de geradas as diversas amostras, em cada uma delas é aplicada a solução via força bruta ou a heurística IFM para calcular o VPL ótimo e determinar a melhor seqüência de PMCs para aquele cenário. São obtidas então diversas seqüências para os cenários em que foram geradas.

Essas seqüências são então ordenadas por ordem de freqüência de aparecimento. As mais freqüentes são as mais prováveis de ocorrer na prática.

7.2.4 Segundo passo para determinação das seqüências

Cada seqüência encontrada no passo anterior é selecionada e aplicada em cada um dos 5000 cenários anteriormente sorteados. Para cada um deles, utilizando a solução via força bruta ou a heurística IFM, é calculado o VPL daquela seqüência naquele cenário. Ao fim do processo, calcula-se então a média e o desvio padrão desses VPLs encontrados nos diversos cenários para esta seqüência.

7.3 RESULTADOS OBTIDOS

Para verificar o comportamento do modelo estocástico em situações diversas, selecionamos dois parâmetros:

- Tamanho do projeto, designado pelo número de PMCs (5 e 10) e respectivo número de períodos (18 e 36)
- Inexistência ou presença de dependências entre os PMCs

O método é repetido para todas as combinações dos parâmetros acima, com um desenho do gráfico das médias de VPL encontradas, versus o respectivo desvio padrão, de forma a poder ajudar visualmente o analista no processo de decisão.

7.3.1 Projeto de menor porte usando fluxo de caixa uniforme

7.3.1.1 Com Dependência entre os 5 PMCs

Para um projeto pequeno (5 PMCs), com grafo de dependência e com fluxos de caixa modelados com valores uniformes utilizando distribuição triangular, em 18 períodos, obtivemos os dados mostrados no quadro abaixo:

Quadro 22. Seqüências obtidas (5 PMCs com dependência)

Frequência	Mínimo VPL	Máximo VPL	Média VPL	Desvio Padrão	Seqüência
5000	24518	26667	25594	296	P1..P2..P3..P0.P4.

Nesse caso, só uma seqüência foi selecionada para todos os cenários, indo ao encontro do resultado encontrado pelo modelo determinista.

7.3.1.2 Sem Dependência entre os 5 PMCs

Para um projeto pequeno (5 PMCs), sem dependências entre os PMCs, com fluxos de caixa modelados com valores uniformes, utilizando distribuição triangular, em 18 períodos, obtivemos os dados mostrados no quadro abaixo, sumarizando os dois passos do método:

Quadro 23. Seqüências obtidas (5 PMCs independentes)

Série	Frequência	Mínimo VPL	Máximo VPL	Média VPL	Desvio Padrão	Seqüência
1	4879	30014	32103	31036	300	P3.P1..P0.P4.P2..
2	121	29900	31957	30919	298	P3.P1..P0.P2..P4.

O gráfico da média de VPL versus o desvio padrão é mostrado abaixo:

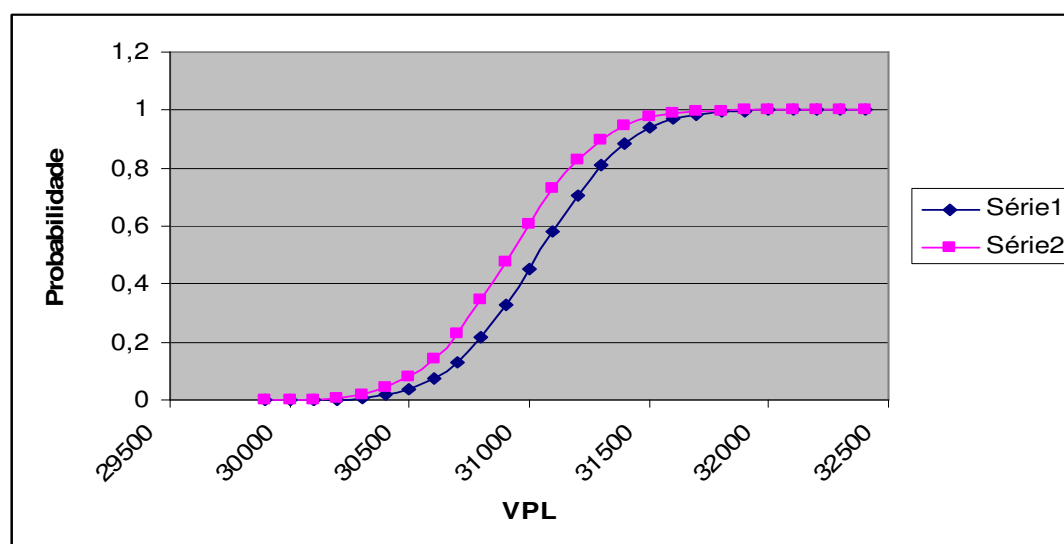


Figura 12. Seqüências para projeto com 5 PMCs independentes, uniforme

Observamos aqui a obtenção de duas seqüências pelo método estocástico, sendo a seqüência P3.P1..P0.P4.P2.. dominante estatisticamente, como podemos observar pelo gráfico acima.

7.3.2 Projeto de maior porte usando fluxo de caixa uniforme

7.3.2.1 Com Dependência entre os PMCs

Para o projeto com 10 PMCs com grafo de dependência, em 36 períodos, usando o modelo de previsão uniforme, obtivemos os seguintes dados:

Quadro 24. Seqüências obtidas para 10 PMCs, com dependência

Série	Freq.	Mínimo VPL	Máximo VPL	Média VPL	Desvio Padrão	Seqüência
1	3722	102488	106769	104541	601	P0P3...P2...P9P1..P5...P6...P7.P4...P8.
2	706	102450	106865	104570	612	P2...P9P0P3...P1..P5...P6...P7.P4...P8.
3	426	102463	106671	104563	615	P0P3...P2...P9P1..P5...P7.P6...P4...P8.
4	91	102389	106797	104592	625	P2...P9P0P3...P1..P5...P7.P6...P4...P8.
5	50	102774	107034	104842	584	P0P3...P2...P9P1..P5...P6...P4...P8.P7.
6	5	102876	107206	104871	595	P2...P9P0P3...P1..P5...P6...P4...P8.P7.

O gráfico da média do VPL versus o desvio padrão é mostrado abaixo:

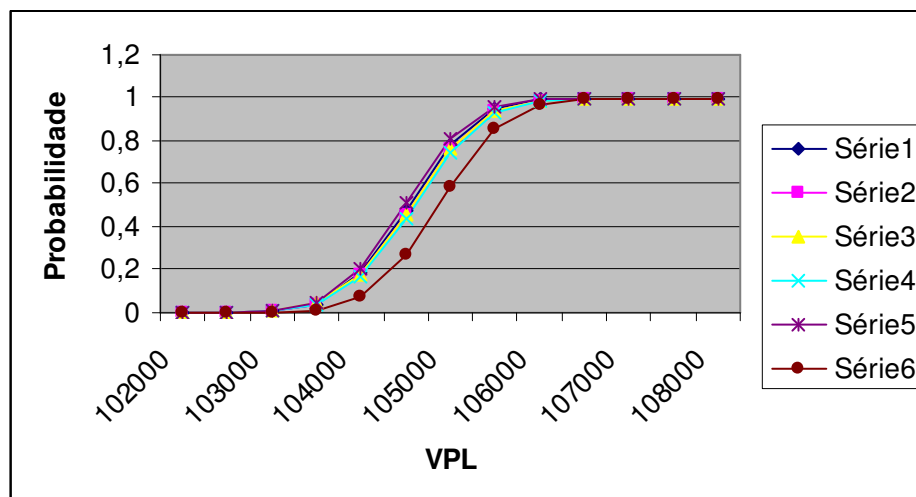


Figura 13. Seqüências para projeto com 10 PMCs dependentes

Podemos observar agora que a seqüência número seis é a estatisticamente dominante, apesar de só ter sido eleita em 6 dos 5000 cenários sorteados. Lembramos que isso é explicável pelo fato da heurística IFM nem sempre escolher seqüências com os maiores VPLs.

7.3.2.2 Com as 10 PMCs independentes

Para o projeto com 10 PMCs sem restrição de dependência, em 36 períodos, com modelo de previsão uniforme, obtivemos os seguintes dados:

Quadro 25. Sequências para projeto com 10 PMCs independentes

Série	Freq.	Mínimo VPL	Máximo VPL	Média VPL	Desvio Padrão	Seqüência
1	2323	153366	158782	155782	715	P3P8P5P9...P1.P6.P0..P4P7..P2..
2	1037	153585	159006	156020	716	P3P8P5P9...P1.P6.P4P0..P7..P2..
3	509	153165	158598	155547	719	P3P8P5P9...P1.P6.P0..P7..P4P2..
4	456	153245	158887	155718	732	P3P8P5P9...P1.P6.P7..P4P0..P2..
5	448	153016	158695	155497	732	P3P8P5P9...P1.P6.P7..P0..P4P2..
6	204	153521	159046	155973	728	P3P8P5P9...P1.P6.P4P7..P0..P2..
7	7	153243	158427	155600	706	P3P8P5P9...P1.P6.P0..P4P2..P7..
8	5	153885	159218	156243	710	P3P8P5P1.P9...P6.P0..P4P7..P2..
9	4	153600	159034	156008	714	P3P8P5P1.P9...P6.P0..P7..P4P2..
10	3	153395	158651	155838	707	P3P8P5P9...P1.P6.P4P0..P2..P7..
11	2	153754	159323	156179	727	P3P8P5P1.P9...P6.P7..P4P0..P2..
12	1	154104	159442	156481	711	P3P8P5P1.P9...P6.P4P0..P7..P2..
13	1	153525	105254	155958	727	P3P8P5P1.P9...P6.P7..P0..P4P2..

Nesse caso, como o número de seqüência encontrado era muito grande, aplicou-se um intervalo de confiança de modo a limitar o numero de seqüências a tratar. Abaixo, é mostrado o gráfico da média do VPL versus o desvio padrão, onde cada seqüência é um ponto:

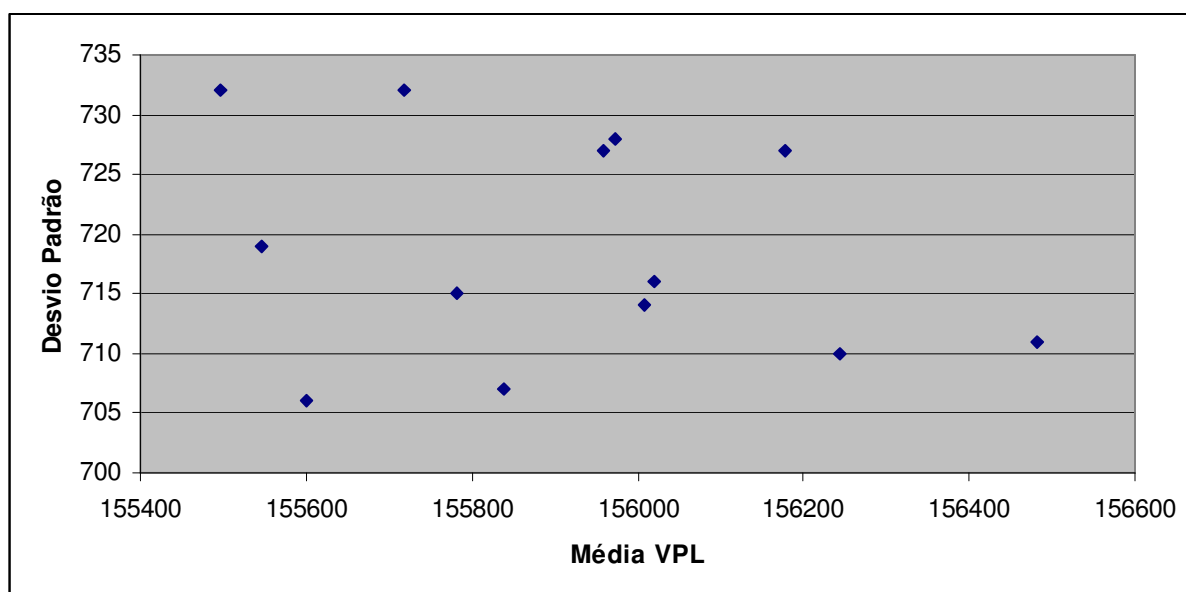


Figura 14. Sequências para projeto com 10 PMCs independentes

Por este tipo de gráfico, a melhor seqüência seria aquela que tivesse a maior média de VPL e o menor desvio padrão. Como podemos verificar, nenhuma seqüência atende simultaneamente os dois critérios, sendo necessário então aplicar algum critério de decisão subjetivo para a escolha da melhor seqüência.

7.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.4.1 Projeto de menor porte usando fluxo de caixa uniforme

Podemos observar que, nos casos de projeto de menor porte e usando um fluxo de caixa uniforme, o experimento demonstra a existência de uma seqüência dominante (em termos de freqüência de aparecimento nos cenários), que é a mesma seqüência encontrada no modelo determinista. Quando existe dependência entre os PMCs, houve também o aparecimento de uma segunda seqüência, de freqüência muito menor, mas com melhor média de VPL e com um menor desvio padrão, o que indica ser uma melhor escolha. No entanto, como os valores das médias de VPL e dos desvios padrões de ambas as seqüências são muito próximas, as seqüências são equivalentes na prática, para o efeito de ordenamento dos PMCs.

Quando os PMCs não possuem dependências entre si, todas as seqüências possíveis são válidas, ampliando em muito o leque de soluções. No caso de 5 PMCs, temos 120 seqüências possíveis. No modelo estocástico, várias seqüências serão escolhidas, mas ainda assim em número bem menor do que o número total de seqüências possíveis. No caso em questão, tivemos 2 seqüências escolhidas, num conjunto de 120. Assim como no caso anterior, também surgiu uma seqüência dominante, mas que desta vez não é a mesma seqüência encontrada no modelo determinista. Podemos observar também que os valores das médias de VPL e dos desvios padrões das seqüências também são muito próximas, o que pode implicar numa equivalência das mesmas, em termos pragmáticos.

7.4.2 Projeto de maior porte usando fluxo de caixa uniforme

Com o aumento de números de PMCs para 10 e de períodos para 36, temos uma grande aumento do número de seqüências possíveis no total. A dependência entre os PMCs

limita muito esse número máximo de seqüências e, no experimento usando o modelo estocástico, foram encontradas 6 seqüências, ainda mantendo a característica de médias de VPL e desvios padrões muito próximos.

Neste modelo de previsão baseado em valores uniformes e com os PMCs sem dependências entre si, o modelo estocástico encontrou 13 seqüências como as melhores opções nos cenários sorteados. A escolha da seqüência dominante não é tão óbvia, e neste caso vai certamente depender do perfil conservador ou arrojado do analista, escolhendo ou uma seqüência de menor VPL, mas com risco menor, ou então uma seqüência de VPL máximo, mas com um risco também maior.

8 CONCLUSÃO

8.1 A ABORDAGEM FINANCEIRA NOS PROJETOS DE SOFTWARE

O processo de desenvolvimento de software geralmente tem uma preocupação maior com as técnicas de programação, forma colaborativa de desenvolvimento, estratégias de depuração, desenho dos testes de verificação e a manutenção do sistema, com a finalidade de produzir um software de qualidade, com um mínimo de falhas e atendendo integralmente os requisitos do usuário. Em geral, pouca atenção se dá à questão financeira, ou seja, como desenvolver um projeto de software de forma a otimizar o retorno financeiro desse projeto.

Entretanto, essa abordagem deveria ser mais bem tratada, pois somente através da determinação de quais decisões de desenvolvimento afetam criticamente o retorno financeiro do projeto, as empresas podem criar um ambiente de desenvolvimento baseado em valor, que apóie o sucesso do esforço dispendido.

Além do mais, à medida que os negócios pressionam para que o foco esteja nas competências centrais da empresa, essas últimas acabam caindo na terceirização como a melhor opção. E isto introduz o desafio de encontrar o melhor preço e opções de pagamento. Portanto, a estratégia de dividir uma aplicação em unidades menores que possam ser comercializadas individual e separadamente, reduz o risco do desenvolvimento de projetos de larga escala, e ao mesmo tempo fornece uma estrutura para estabelecer pagamentos parcelados. Isto é benéfico tanto para o integrador de sistemas quanto para o usuário final.

Esse modelo também pode ser estendido para os *Application Service Providers* (ASP), denominação dada às empresas que disponibilizam serviços ou aplicações com base na *Web*. Os PMCs fornecem aos ASPs a informação necessária para calcular a estrutura de custos que é mais benéfica para todas as partes envolvidas. Tanto o ASP quanto o usuário final têm vantagens claras a partir da melhor visibilidade no progresso técnico e financeiro do projeto. A natureza incremental dos PMCs permite a rápida detecção quando o projeto começa a trilhar um caminho errado, permitindo correções no meio do caminho.

Demonstrada a vantagem do uso de PMCs, um dos fatores a determinar a rentabilidade do projeto será como esses PMCs serão construídos, e como serão entregues ao usuário final, determinando assim a forma como as despesas e receitas irão ocorrer ao longo do tempo, ou seja, os fluxos de caixa nos diversos períodos. Assim, a ordem de confecção e entrega dos PMCs, respeitadas as suas interdependências, afeta diretamente o retorno financeiro do

projeto. Portanto, é de suma importância podermos determinar de maneira eficiente e prática qual a melhor ordem de PMCs para um dado projeto, com o objetivo de maximizar o seu rendimento financeiro.

8.2 MODELO DETERMINISTA *versus* MODELO ESTOCÁSTICO

Na maior parte da literatura sobre o tema, a abordagem financeira sobre a seqüência dos PMCs de um projeto de software é tratada de forma determinística, ou seja, os valores de fluxo de caixa futuros são estimados de forma fixa. Especificamente, uma heurística, chamada IFM, já foi desenvolvida para achar a seqüência sub-ótima dos PMCs nesse modelo determinista. No entanto, esse modelo não se aplica bem à vida real, pois dificilmente iremos acertar todos os valores estimados, o que o distancia de uma realidade prática.

Mais sensato é usarmos faixas de valores possíveis para esses fluxos de caixa, valores esses limitados por intervalos de confiança. Podemos então sortear diversos cenários, onde para cada um deles os fluxos de caixa receberão um valor dentro dessa faixa, usando uma dada distribuição de probabilidade. Esse modelo estocástico se aproxima bem mais da realidade, ainda mais se aplicarmos, para a evolução dos fluxos de caixa, modelos de previsão adequados para o perfil do projeto tratado. Se quisermos aperfeiçoar ainda mais a modelagem, devemos incluir métodos de previsão para estimar como os fluxos de caixa irão se comportar ao longo do tempo.

No entanto, o simples emprego da heurística IFM não se aplica mais no modelo estocástico e, portanto, um método adaptativo deve ser usado para encontrar a melhor seqüência nesse novo contexto.

8.3 VANTAGENS DO MÉTODO PROPOSTO

No modelo estocástico, não encontramos apenas uma seqüência vencedora, mas uma para cada cenário sorteado, pois cada um deles pode ser encarado como um modelo determinista, e pode-se então aplicar a heurística para cada cenário individualmente. O método proposto, portanto, auxilia o analista no processo de tomada de decisão, escolhendo qual das seqüências encontradas é a mais apropriada para maximizar o VPL.

Parâmetros como frequência de aparecimento, o valor médio de VPL e desvio padrão são os indicadores disponíveis para a tomada de decisão. Nos resultados obtidos no experimento realizado, observamos que algumas seqüências têm entre si uma pequena variação da média e do desvio padrão do VPL, variação esta menor que a taxa de erro utilizada nos valores sorteados dos fluxos de caixa. Isto praticamente iguala as seqüências de PMCs em termos práticos, ou seja, é indiferente escolher uma seqüência ou outra, pois elas retornam o mesmo rendimento financeiro para o projeto. Isto implica que o método aqui proposto pode selecionar mais de uma seqüência vencedora, em oposição ao modelo determinista, onde apenas uma seqüência é escolhida como a melhor. Cabe frisar também que o método é independente do modelo de previsão utilizado.

Se quisermos ser mais precisos, o método propõe que utilizemos um gráfico de VPL por desvio padrão, e a escolha da melhor seqüência se dará de forma subjetiva, de acordo com o perfil do analista: assumindo menos ou mais riscos, adotando uma postura mais conservadora ou mais agressiva.

Outro ponto importante a destacar como vantagem é que o método se apresentou simples e rápido de ser usado, bem como se mostrou eficiente quando aplicado nos projetos de menor e maior porte.

8.4 LIMITAÇÕES

Uma limitação existente no método é o uso de um intervalo de confiança para possibilitar cortes de seqüências no primeiro passo, caso o número encontrado delas seja muito grande. Esse corte pode eliminar seqüências vencedoras, que apareceram poucas vezes como vencedoras nos cenários unicamente devido ao funcionamento da heurística. O ideal, portanto, seria que não houvesse nenhum corte, trabalhando-se com todas as seqüências vencedoras encontradas. Obviamente isso pode não ser viável em projetos com um grande número de PMCs, onde o corte se faz obrigatório para viabilizar computacionalmente o método.

Outra limitação é que o método não consegue fornecer sempre um critério de decisão puramente objetivo, tendo de levar em conta a opinião de analistas e especialistas se as seqüências vencedoras encontradas possuem métricas conflitantes.

8.5 TRABALHOS FUTUROS

O presente estudo foi calcado em alguns pressupostos, no que se refere à utilização dos recursos e nível de paralelismo para o desenvolvimento dos PMCs, tipo de grafos de precedências e previsão dos valores de fluxos de caixa ao longo do tempo. No entanto, alguns aspectos adicionais podem ser abordados em futuros trabalhos de forma a aumentar o escopo e abrangência do método aqui proposto.

8.5.1 O tratamento de restrição de recursos no desenvolvimento de PMCs

O trabalho atual teve o foco na variante MAXNPV do problema de maximização de VPL, onde não há restrição de recursos. O método pode ter sua abrangência incrementada caso seja adicionada a ele a o tratamento de projetos que tenham restrição no uso de recursos no desenvolvimento dos PMCs, caindo na variante RCPSPDC, conforme classificação de (DREZET, 2003).

8.5.2 Grafo genérico de dependência dos PMCs.

Uma limitação existente na aplicação e no funcionamento da heurística IFM é que os PMCs só podem ter um único precursor no grafo de precedência. No livro *Software by Numbers*, que descreve a heurística IFM, essa limitação não é explícita, porém todos os exemplos só mostram esse caso, e uma análise mais detalhada da heurística mostram que ela realmente só funciona se esta restrição for aplicada.

No entanto, esta limitação não é um fator muito preocupante, pois na prática não é comum encontrar projetos de software onde um PMC dependa de vários outros. Portanto, o tipo de grafo de precedência onde cada PMC tem um precursor, e apenas um, é plenamente aplicável e presente na maioria dos projetos reais.

Porém, seria interessante em trabalhos futuros buscar outras abordagens onde fosse possível o uso de grafos genéricos, com qualquer número de antecessores, de forma a satisfazer todas as possíveis formas de projetos.

8.5.3 Alteração dos fluxos de caixa em função do período de lançamento

No presente trabalho, apresentamos os casos onde a previsão dos fluxos de caixa para um dado PMC é a mesma independente do período onde é liberado para o mercado. Por exemplo, se olharmos no quadro 8, o PMC 0 tem a previsão de um fluxo de caixa de R\$ 190.000,00 no primeiro período após o seu desenvolvimento. Tanto faz se o PMC começar no período 1 ou no período 9, o primeiro fluxo de caixa tem o mesmo valor estimado de R\$ 190.000,00 (apesar de mostramos um exemplo determinista, o mesmo vale para um caso estocástico). Mas isto pode não se confirmar na prática.

Se duas organizações estiverem competindo para ver qual delas lança primeiro o seu produto na praça, quem vencer provavelmente terá uma fatia significativamente maior do *market share*. Portanto, um dado PMC pode ter o seu fluxo de caixa bem diferente, dependendo do período em que for lançado. Esta dinâmica precisa estar representada na análise de custo-benefício e, portanto, duas projeções são necessárias para representar os dois cenários diferentes.

A heurística IFM não seleciona consistentemente a seqüência sub-ótima quando os PMCs têm esse comportamento. Em geral, os PMCs com grandes restrições de lançamento no tempo ou que tenham uma previsão de crescimento exponencial devem ser desenvolvidos primeiros, enquanto aqueles que demonstrem ter um potencial de aumento do ROI se lançados mais tarde, devem ter seu desenvolvimento postergado. Uma análise mais aprofundada deve ser feita no caso de um modelo estocástico ser usado para tratar essa situação.

8.5.4 Desenvolvimento paralelo de PMCs

Outra perspectiva de trabalho futuro é a que trata de desenvolvimento paralelo de PMCs. Nos exemplos e casos que tratamos, partimos da premissa que havia uma única equipe de desenvolvimento, e que a mesma só tinha capacidade de desenvolver um PMC de cada vez. Na verdade, a heurística IFM é funcional no caso de haver mais de um PMC sendo desenvolvido em paralelo, em um modelo determinista. No entanto, há certo compromisso entre o desenvolvimento concorrente e o seqüencial. O desenvolvimento paralelo pode ser interessante porque permite a entrega de mais características funcionais em um menor espaço

de tempo, aumentando o VPL do projeto. Por outro lado, ele pode exigir um grande investimento inicial, maior do que a empresa pode suportar. O tratamento desta situação em um modelo estocástico precisa ser mais investigado.

8.5.5 Consideração sobre serviços e componentes

Uma arquitetura de software trata basicamente de como os componentes fundamentais de um sistema se relacionam intrinsecamente e extrinsecamente. Uma arquitetura orientada a serviços (*SOA – Service Oriented Architecture*) tem como seu componente fundamental o conceito de serviços.

Tal conceito é definido de diversas formas, principalmente na literatura não acadêmica. Apesar das distintas definições, na maioria das vezes, serviço é usado para se referenciar a um componente de software binário baseado em um contrato. Já na literatura acadêmica o que é conhecido como “serviço” na literatura não acadêmica é conhecido como “componentes” ou “contratos”. Se tratarmos o serviço como uma definição ou descrição de ações a serem executadas, um serviço é um contrato. Porém, se definirmos o serviço como a implementação direta dessas ações, um serviço é um componente. Assim, é possível classificar aplicações orientadas a serviços como sistemas cooperativos abertos distribuídos, pois apresentam todas as características descritas para estes tipos de sistemas.

Ao tratarmos da visão financeira de um projeto, foi abordado o conceito de PMC como unidade funcional mínima contendo valor para o cliente. Em muitos casos, um PMC pode ser visto e tratado como um componente ou serviço, embora nem sempre o reverso seja verdadeiro. Assim, talvez seja possível estender o tratamento do retorno financeiro de projetos para as arquiteturas orientadas a serviços, da mesma forma como foi tratada para a questão dos PMCs. Isto ampliaria muito o leque para a análise financeira dos projetos, visto a existência de muitos componentes e serviços, inclusive via Web. A ordem da utilização destes componentes em um projeto de software pode influenciar o retorno financeiro do mesmo, assim como o faz a seqüência de PMCs, como visto nesse trabalho. Certamente, é um tema que merece uma maior investigação em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- BECK, K., **Extreme programming explained, embrace change**. Nova York: Addison Wesley, 1999.
- BLACK, F.; SCHOLLES, M. **The price of options and corporate liabilities**. Journal of Political Economy, v. 81, p. 637-659, 1973.
- BOEHM, B. **Value-based software engineering**. ACM SIGSOFT Software Eng. Notes, vol. 28, n. 2, p. 4, 2003.
- BRANDÃO, L. **Study guide for Dixit and Pindyck's real options textbook**. 1994. Disponível em: <http://www.mcombs.utexas.edu/faculty/luiz.brandao/MIS383N/Dixit%20and%20Pindyck%20Files/dixit_and_pindyck.htm>. Acesso em: 13 jun. 2006.
- DENNE, M.; CLELAND-HUANG, J. **Software by numbers: low-risk high-return development**. New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- _____, _____, **The incremental funding method: data driven software development**. IEEE Software, vol 21, n. 3, p. 39-47, 2004.
- DEMEULEMEESTER, E.; HERROELEN, W.S. **Project scheduling: a research handbook**. Springer, 2002. 712 p.
- DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investment under uncertainty**. New Jersey: Princeton University Press, 1993. 476 p.
- DREZET, L.E.; TACQUARD, C. **Multi-constrained project scheduling**. Seventh Annual Meeting on Health, Science and Technology, 2003.
- ERDOGMUS, H.; FAVARO, J. **Keep your options open: extreme programming and the economics of flexibility, extreme programming perspectives**. Nova York: Addison-Wesley, 2002.
- FELLER, W. **On the Kolmogorov-Smirnov limit theorems for empirical distributions**. The Annals of Mathematical Statistics, vol. 19, n. 2. jun. 1948, p. 177-189, 1948.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.
- GILB, T. **Principles of software engineering management**. Addison-Wesley, 1988.
- HAYES, M. **Payback time: making sure ROI measures up**. Information Week, 6 ago. 2001.
- HERROELEN, W.S.; VAN DOMMELEN, P.; DEMEULEMEESTER, E.L. **Project network models with discounted cash flows: A guided tour through recent developments**. European Journal of Operational Research, vol. 100, p. 97-121, 1997.
- HOLLOWAY, C. A. **Decision making under uncertainty: models and choices**. New Jersey: Prentice-Hall, 1979.

JWO-HORNG, Lin. **Genetic algorithm for prioritizing minimum marketable feature**. 2004, Disponível em: <<http://re.cti.depaul.edu/projects/ga-mmf.htm>>. Acesso em: 5 de abr. 2005.

KOTLER, P.; ARMSTRONG, G. **Principles of Marketing**. 12 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007.

KRUTCHEN, P. **The rational unified process**, an introduction. 2. ed. Nova York: Addison Wesley, 2000.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 1993.

LIMA, G.; SUSLICK, S. **Estimativa da volatilidade de projetos de bens minerais**. Revista da Escola de Minas, vol. 59, n. 1, jan.-mar. 2006, p. 37-46. Disponível em: <<http://www.rem.com.br/ojs/include/getdoc.php?id=492&article=136&mode=pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2006.

LITTLE, T. **Value creation and capture: a model of the software development process**. IEEE Software, mai/jun 2004.

MARTINS, Sérgio Vasconcelos. **Gerenciamento de projeto: meta-heurísticas para otimização do escalonamento de atividades na exploração e produção de petróleo**. Campos dos Goytacases: UENF, 2000. 130 p.

MATIAS, M.; SILVA, C. **Analysis of price behavior patterns for revenue projections: statistical tests of a copper price time series**. Brazilian Business Review. Vitoria: vol.2, n. 2, jul.-dez. 2005. p. 110-125. Disponível em:< <http://www.bbronline.com.br/artigos/i/41.pdf>>. Acesso em: 28 mai 2006.

MORETTIN, P., **Previsão de séries temporais**. 2 ed. São Paulo: Atual Editora, 1985.

PALMER, S. **A Practical guide to feature-driven development**. New Jersey: Prentice-Hall, 2002

RUSSEL, A.H. **Cash flows in networks**. Management Science, vol. 16, p. 357-373, 1970.

SCHWINDT, C. **ProGenMax software package with documentation**. 2004. Disponível em:<http://www.wior.uni-karlsruhe.de/LS_Neumann/Forschung/ProGenMax/index_html>. Acesso em: 10 jun. 2005.

SOUZA, R.C. **Modelos estruturais para previsão de séries temporais: abordagens clássica e bayesiana**. In: 17º Colóquio Brasileiro de Matemática. Rio de Janeiro, 1989.

TERCEIRO, A. **Métodos probabilísticos de pesquisa operacional**. UFBA: 2003. Disponível em: <<http://twiki.im.ufba.br/bin/view/MAT160/ProcessosEstocasticos>>. Acesso em: 18 nov. 2005.

The CHAOS Report. Standish Group, 1995.