

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA
INSTITUTO TERCIO PACITTI DE APLICAÇÕES E PESQUISAS
COMPUTACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

JORGE VIANA DORIA JUNIOR

OS ATINOS E FALHAS DO MÉTODO DE FINANCIAMENTO
INCREMENTAL

RIO DE JANEIRO
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA
INSTITUTO TÉRCIO PACITTI DE APLICAÇÕES E PESQUISAS
COMPUTACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

JORGE VIANA DORIA JUNIOR

**OS ATINOS E FALHAS DO METODO DE FINANCIAMENTO
INCREMENTAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientador: Prof. Antonio Juarez Alencar, D.Phil.

Rio de Janeiro
2013

D696 Doria Junior, Jorge Vianna.

Os Atinos e falhas do método de financiamento incremental. / Jorge Viana Doria Junior,-- 2013.

96 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti, Programa de Pós-Graduação em Informática, 2013.

Orientador: Antonio Juarez Alencar

1. MFI. 2. Engenharia de Software. 3. Método de Financiamento Incremental. 4. Módulos Minimamente Comercializáveis. 5. Desenvolvimento de Sistemas de Informação. I. Alencar, Antonio Juarez. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti, Programa de Pós-Graduação em Informática. III. Título

CDD

JORGE VIANA DORIA JUNIOR

**OS ATINOS E FALHAS DO METODO DE FINANCIAMENTO
INCREMENTAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Informática.

Aprovado em: Rio de Janeiro, _____ de _____ de _____.

Prof. Antonio Juarez Alencar, D.Phil.
PPGI/NCE - UFRJ (Orientador)

Prof. Eber Assis Schmitz, Ph.D.
PPGI/DCC/IM – UFRJ

Prof. Denis Silva da Silveira, D.Sc.
UFPE

Rio de Janeiro
2013

A Deus, minha família e amigos.

*"We can't solve problems by using the same kind
of thinking we used when we created them."
Albert Einstein.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **DEUS**, sem o qual não teria a mínima condição e capacidade de realizar este trabalho.

Agradeço à minha mãe **Neide**, a quem devo tudo o que tenho e sou, ao meu pai **Jorge** e aos meus irmãos **Eduardo** e **Carolina**, pelo apoio, paciência e entusiasmo.

Agradeço com grande amor e carinho a minha esposa **Luciana**, por todo seu empenho e apoio em todos os momentos de nossas vidas.

Ao meu querido e amado filho **Leonardo**, que é a razão do meu viver e minha motivação para tudo que faço.

Ao Departamento de Ciência da Computação, Instituto de Matemática e Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro pela excelência do ensino e oportunidade.

Aos alunos e funcionários do **NCE**, pelo apoio e pela colaboração nos momentos que mais precisei, em especial **Alayne Duarte**, **Antonio José**, **Bruno Araújo**, **Ivan Maia** e **Rafael Alcemar**.

Aos **professores**, pelo conhecimento que adquiri cursando as disciplinas.

Ao meu orientador **Antonio Juarez**, por compartilhar seus conhecimentos, experiência, determinação e, principalmente, pelo contínuo interesse em apoiar-me durante toda a jornada desse trabalho. Sua orientação, paciência e opiniões foram imprescindíveis.

Aos membros da banca examinadora, professores **Eber Schmitz** e **Denis Silva**, por aceitarem o convite de participar da banca de defesa deste trabalho e nos honrar com as suas presenças, sugestões e correções.

Aos amigos da **TRANSPETRO - Petrobras Transporte S.A.**, especialmente aos meus coordenadores **Paulo Shimura** e **Carlos Eduardo**, por todo o apoio e compreensão durante o curso.

A todos que de alguma forma contribuíram para a concretização dessa dissertação.

RESUMO

DORIA JUNIOR, Jorge Viana. **Os Atinos e Falhas do Método de Financiamento Incremental**. 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado em Informática) -- Programa de Pós-Graduação em Informática, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

O Método de Financiamento Incremental (MFI) surgiu recentemente como um mecanismo influente no esforço feito por gestores e pesquisadores para trazer disciplina financeira à prática de desenvolvimento de sistemas. De fácil compreensão e aplicação, os conceitos e técnicas do MFI têm encontrado muitos adeptos entre os profissionais ligados a área de desenvolvimento de sistemas, que se entusiasmaram com a ideia de melhorar o método e de desenvolver ferramentas que facilitassem o seu uso. Este trabalho analisa os acertos do MFI e seus algoritmos de agendamento de atividades em projetos de sistema de informação, contesta a alegação da eficácia e eficiência desses algoritmos feitos por seus autores, indica alternativas de possíveis soluções para as falhas do MFI e apresenta sugestões de temas para pesquisas que poderiam melhorar ainda mais o método.

Palavras-chave: MFI, Engenharia de Software Baseada em Valor, Método de Financiamento Incremental, Módulos Minimamente Comercializáveis, Desenvolvimento de Sistemas de Informação.

ABSTRACT

DORIA JUNIOR, Jorge Viana. **The Pros and Cons of the Incremental Funding Method**. 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado em Informática) -- Programa de Pós-Graduação em Informática, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

The Incremental Funding Method (IFM) has recently emerged as an influential mechanism in the effort made by managers and researchers to bring financial discipline to the practice of information systems development. Easy to understand and apply the IFM's concepts and techniques have found many supporters among information-systems development professionals, who gladly undertook the task of improving the method and developing tools that facilitate its use. This work analyses the pros of the IFM and its IS project-activity scheduling algorithms, refutes the claim of efficiency and efficacy of these algorithms made by their authors, indicates alternative solutions to its weakest points and presents suggestions of subjects for future research that could improve the method even further.

Keywords: IFM, Value-based Software Engineering, Incremental Funding Method, Minimum Marketable Feature, IS Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama de precedência.	25
Figura 2.2: Funções de distribuição acumulada de probabilidade com dominância.	35
Figura 2.3: Funções de distribuição acumulada de probabilidade sem dominância.	35
Figura 5.1: Diagrama de dependência do Modelo 1. Fonte: Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2003).	60
Figura 5.2: Diagrama de dependência do Modelo 2. Fonte: Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2003).	60
Figura 5.3: Distribuição de probabilidade acumulada do VPL das sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.1 (fluxo de caixa não determinista com distribuição de probabilidade triangular).	65
Figura 5.4: Distribuição de probabilidade acumulada do VPL da sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.1 (fluxo de caixa não determinista com MGB).	66
Figura 5.5: Distribuição de probabilidade acumulada do VPL das sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.2 (fluxo de caixa não determinista com distribuição de probabilidade triangular).	68
Figura 5.6: Distribuição de probabilidade acumulada do VPL das sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.2 (fluxo de caixa não determinista com MGB).	69
Figura 7.1: Tela para criação de um novo projeto.	81
Figura 7.2: Tela de propriedades do projeto.	81
Figura 7.3: Tela de inserção das novas MMCs.	82
Figura 7.4: Tela de inserção das relações de precedência do projeto.	83
Figura 7.5: Tela de inserção dos valores econômicos do projeto.	84
Figura 7.6: Tela para exibição do fluxo de caixa descontado do projeto.	85

Figura 7.7: Tela para execução do resultado ótimo do projeto.	86
Figura 7.8: Tela para execução das heurísticas do projeto.	87
Figura 7.9: Tela para avaliação do projeto.	88

LISTA DE ALGORITMOS

- 1 Procedimento para obter uma aproximação para a função de distribuição acumulada de probabilidade do VPL de um conjunto de elementos de fluxo de caixa descritos por variáveis aleatórias independentes. 32
- 2 Procedimento para obter uma aproximação para a função de distribuição acumulada de probabilidade do VPL de um conjunto de elementos de fluxo de caixa descritos por variáveis dinâmicas independentes. 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Opções de agendamento.	26
Tabela 2.2: Valores nominais dos elementos de fluxo de caixa.	27
Tabela 2.3: Valor presente líquido dos módulos.	28
Tabela 2.4: Retorno mínimo de cada alternativa.	36
Tabela 2.5: Retorno máximo de cada alternativa.	37
Tabela 2.6: Lucro médio gerado por cada alternativa.	38
Tabela 2.7: Coeficiente de otimismo de cada alternativa.	39
Tabela 2.8: Retorno mínimo e máximo por alternativa.	39
Tabela 2.9: Matriz de arrependimento máximo por alternativa.	40
Tabela 3.1: Todas as cadeias iniciais possíveis.	45
Tabela 3.2: Cadeias para o segundo período.	45
Tabela 3.3: O conjunto de cadeias para o primeiro período.	48
Tabela 3.4: Cadeias para o segundo período.	49
Tabela 3.5: Cadeias para o terceiro período.	49
Tabela 3.6: Cadeias para o quarto período.	49
Tabela 3.7: Resultados apresentados pelos Algoritmos de Agendamento do MFI.	50
Tabela 5.1: Características da Rede Modelo 1.	59
Tabela 5.2: Valores nominais dos elementos de fluxo de caixa do Modelo 1.	60
Tabela 5.3: Características da Rede Modelo 2.	60
Tabela 5.4: Valores nominais dos elementos de fluxo de caixa do Modelo 2.	61
Tabela 5.5: Sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.1 (fluxo de caixa fixo).	64
Tabela 5.6: Sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.1 (fluxo de caixa não determinista com distribuição de probabilidade triangular).	64
Tabela 5.7: Sequências obtidas da rede apresentada na Figura 5.1 (fluxo de caixa não determinista com MGB).	66

Tabela 5.8: Sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.2 (fluxo de caixa constante).	67
Tabela 5.9: Sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.2 (fluxo de caixa não determinista com distribuição de probabilidade triangular).	68
Tabela 5.10: Sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.2 (fluxo de caixa não determinista com MGB).	69
Tabela 5.11: Valor das alternativas do Modelo 1.	72
Tabela 5.12: Arrependimento máximo do Modelo 1.	72
Tabela 5.13: Valor das alternativas do Modelo 2.	72
Tabela 5.14: Arrependimento máximo do Modelo 2.	73
Tabela 6.1: Sumário dos acertos do MFI e suas consequências.	75
Tabela 6.2: Sumário das falhas do MFI e suas consequências.	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EA	Elemento Arquitetural
FCF	Fluxo de Caixa Fixo
FDAP	Função de Distribuição Acumulada de Probabilidade
IFM	Incremental Funding Method
IS	Information Systems
JVM	Java Virtual Machine
MFI	Método de Financiamento Incremental
MGB	Movimento Geométrico Browniano
MMC	Módulos Minimamente Comercializáveis
TI	Tecnologia da Informação
VPL	Valor Presente Líquido
WLA	Weighted Look-Ahead

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Contextualização do problema	17
1.2	Objetivo deste Trabalho	19
1.3	Relevância deste Trabalho	20
1.4	Contribuições	21
1.5	Organização da Dissertação	21
2	ARCABOUÇO CONCEITUAL	23
2.1	Método de Financiamento Incremental	23
2.2	Modelos de previsão de fluxo de caixa	30
2.2.1	Tipos de Modelos de Previsão de Fluxo de Caixa	30
2.2.2	Cálculo do Valor Presente Líquido de um Fluxo de Caixa	31
2.3	Métodos de avaliação das alternativas com incertezas	34
2.3.1	Dominância Probabilística	34
2.4	Princípios de Escolha	36
2.4.1	Princípio Maximin ou Minimax	36
2.4.2	Princípio Maximax ou Minimin	37
2.4.3	Princípio de Laplace	37
2.4.4	Princípio de Hurwicz	38
2.4.5	Princípio de Savage	39
3	OS ALGORITMOS DE AGENDAMENTO DO MFI	41
3.1	O Algoritmo <i>Greedy</i>	41
3.2	O Algoritmo <i>Simple Look-Ahead</i>	43
3.3	O Algoritmo <i>Weighted Look-Ahead</i>	46
3.4	Comparando os resultados apresentados pelos algoritmos de agendamento do MFI	50

4	OS ATINOS E FALHAS DOS ALGORITMOS DE AGENDAMENTO DO MFI	52
4.1	Os Atinos	52
4.2	As Falhas	54
4.3	Superando as Falhas e Estendendo o MFI	57
5	AVALIAÇÃO EMPÍRICA DO MFI COM INCERTEZAS	59
5.1	Descrição dos Modelos	59
5.2	Resultados Obtidos	63
5.2.1	Modelo 1	63
5.2.2	Modelo 2	65
5.3	Discussão dos Resultados	70
5.3.1	Conclusões do experimento	73
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
6.1	Conclusão	74
6.2	Trabalhos Futuros	77
7	APÊNDICE	79
7.1	O que é o MMF Planner?	80
7.2	Propriedades do Projeto	80
7.3	Fluxo de Caixa	83
7.4	Fluxo de Caixa Descontado	84
7.5	Resultado Ótimo	85
7.6	Heurísticas do MFI	86
7.7	Avaliação do Projeto	87
	REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema

Desde os anos 50, quando os primeiros computadores eletrônicos foram disponibilizados para uso pelas grandes corporações, o papel que estas máquinas desempenham no cenário empresarial mudou consideravelmente. De um ajudante capaz de fazer cálculos precisos e rápidos, os computadores, juntamente com os sistemas de informações que executam, foram utilizados respectivamente um dispositivo eficiente de armazenamento e recuperação de informações, uma ferramenta eficaz na automação de processos de negócio e um assistente poderoso no suporte a decisão (SWEDIN; FERRO, 2007).

Além disso, nestes últimos anos, os computadores ganharam o *status* de um artefato tecnológico que as empresas podem utilizar para fortalecer sua posição competitiva em diferentes mercados (PAVLOU; SAWY, 2010; BHATTA et al., 2010).

Apesar da contribuição significativa que a tecnologia da informação tem propiciado as mais variadas linhas de negócios ao longo dos anos, nos dias de hoje a disponibilidade de capital para investimento em projetos de desenvolvimento de sistema

de informação tornou-se uma questão crucial para os gestores e desenvolvedores de sistemas.

Quando o assunto é a construção de sistemas de informação, as exigências por maiores retornos financeiros, menor tempo de retorno do investimento, menor exposição a riscos, menor tempo de chegada ao mercado e mais flexibilidade para adaptação às futuras necessidades dos clientes têm se tornado motivo de preocupação para aqueles que financiam o processo de desenvolvimento desses sistemas. Em decorrência, está se tornando cada vez mais difícil executar projetos de desenvolvimento de sistema de informação que não tragam benefícios claros para os negócios (AURUM; WOHLIN, 2005).

Em sintonia com essas ideias, Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005) criaram o *Incremental Funding Method* ou IFM. Em português, Método de Financiamento Incremental ou MFI. O autor desta dissertação acredita que “Método de Financiamento Incremental” é a tradução que expressa de forma mais precisa os diversos conceitos preconizados pelo MFI, em posição a outras opções possíveis.

O MFI é um conjunto de conceitos e procedimentos capaz de trazer disciplina financeira à atividade de desenvolvimento de sistema de informação e se baseia na ideia de que sistemas de informação podem, frequentemente, serem decompostos em módulos com alta coesão interna e baixo acoplamento (HARMAN, 2007).

Segundo Denne e Cleland-Huang (*op. cit.*), enquanto alguns desses módulos geram ganhos imediatos quando implantados, outros geram valor para o negócio de maneira indireta, preparando o caminho para a implantação de outros módulos. Os módulos que geram ganhos imediatos são denominados “módulos auto-rentáveis” e os demais “módulos de rentabilidade indireta”. Além disso, o cronograma de desenvolvimento desses módulos pode alterar de maneira significativa o valor total que o sistema de

informação resultante propicia ao negócio.

Em (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005) são fornecidas orientações valiosas sobre como decompor um sistema de informação a ser desenvolvido em módulos auto-rentáveis e de rentabilidade indireta, juntamente com um conjunto de algoritmos que ajudam a planejar a ordem de desenvolvimento destes módulos, visando maximizar o retorno financeiro para o negócio.

1.2 Objetivo deste Trabalho

Esta dissertação analisa o Método de Financiamento Incremental juntamente com cada um dos seus algoritmos de agendamento, revelando seus acertos e falhas, para que os desenvolvedores possam adquirir uma melhor compreensão do que se pode ganhar ou perder quando os utilizarem. Além disso, esta dissertação mostra como algumas das falhas do MFI foram superadas ao longo do tempo e aponta várias cujas soluções ainda se encontram em aberto.

Em adição, com o objetivo de facilitar o uso do MFI uma ferramenta originalmente desenvolvida por (GYLTERUD et al., 2007) foi estendida para acomodar os algoritmos de agendamento propostos por Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005). Por fim, esta dissertação realiza uma avaliação empírica da eficácia da principal heurística de agendamento proposta por Denne e Cleland-Huang (*op. cit.*).

1.3 Relevância deste Trabalho

O MFI fornece subsídios para maximizar o valor presente líquido (VPL) de projetos de desenvolvimento de sistema de informação através da escolha adequada de como os diversos módulos de software e/ou subprojetos que compõem esses sistemas serão implementados.

Deve-se notar que a escolha da sequência de implementação de maior valor tende a causar um impacto considerável no retorno propiciado pelos projetos que uma organização executa ao longo do tempo e, em última instância, no desempenho financeiro e estratégico da organização como um todo.

Não chega portanto a surpreender que, no decorrer do tempo, o MFI tenha se tornando um método influente junto à comunidade de pesquisadores e desenvolvedores de sistemas de informação.

Desde a publicação do primeiro trabalho sobre o MFI em 2003 o número de citações ao MFI vem aumentando consistentemente ao longo do tempo. Além disso, mais recentemente, dois ícones da engenharia de software, isto é os professores Barry W. Boehm e Philippe Kruchten, apresentaram, separadamente, métodos para a gestão do processo de desenvolvimento de software que incorporam as ideias do MFI (KUKREJA et al., 2012; KRUCHTEN, 2010).

Em consequência, dado que nos dias de hoje os sistemas de informação permeiam por todas as funções de negócio, é importante que os tomadores de decisão estejam cientes de como o MFI indica a melhor sequência de implementação, como ele se comporta diante da presença de incertezas nas estimativas do valor de elementos de fluxo de caixa e em que condições as orientações propiciadas pelo método podem ser seguidas sem restrições.

1.4 Contribuições

Resultados parciais desta dissertação foram apresentados no 6^{th} *International Conference on Information Processing (ICIP)*, que aconteceu nos dias 10 a 12 de agosto de 2012 em Bangalore, Índia.

Um artigo originário desta dissertação foi publicado no *Communication in Computer and Information Science Journal*, nº 292 (ALENCAR et al., 2012).

Outro resultado alcançado foi o aceite para publicação de um artigo no *International Journal of Information Processing*, Vol. 7, Issue 1, 2013 (ALENCAR et al., 2013).

1.5 Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

- Capítulo 2 apresenta uma revisão dos principais conceitos e métodos utilizados nesta dissertação, tais como: Método de Financiamento Incremental (MFI), Módulos Minimamente Comercializáveis (MMC), Elementos Arquiteturais (EAs), etc.;
- Capítulo 3 apresenta os algoritmos de agendamento de atividades concebidos por Denne e Cleland-Huang (*op. cit.*);
- Capítulo 4 discute os acertos e falhas do MFI e de seus algoritmos. Este capítulo também indica soluções alternativas para algumas das falhas do MFI;
- Capítulo 5 apresenta os experimentos computacionais empíricos que avaliam o MFI;

- Capítulo 6 aponta direções para futuras pesquisas e apresenta as conclusões desta dissertação; e o
- Apêndice apresenta as extensões desenvolvidas para facilitar o uso do MFI.

2 ARCABOUÇO CONCEITUAL

2.1 Método de Financiamento Incremental

De acordo com Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2004a), o MFI é um método de cunho financeiro que utiliza as ideias de Chang *et. al.* sobre decomposição funcional de classes de objetos (*Functional Class Decomposition*) (CHANG et al., 2001) para particionar o sistema de informação a ser desenvolvido em módulos menores que criam valor para o negócio, podendo ser implantados rapidamente.

Segundo Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005) estes módulos são chamados de Módulos Minimamente Comercializáveis, ou simplesmente MMCs. MMCs são módulos que contém pequenos conjuntos de funcionalidades que podem ser entregues de forma rápida e que criam valor para o negócio em uma ou mais das seguintes áreas:

- *Diferenciação Competitiva* - O sistema de informação permite a criação de produtos e serviços com características que são valorizadas pelos consumidores e que são diferentes de tudo que está sendo oferecido no mercado;

- *Geração de Receita* - Embora o sistema de informação não ofereça nenhuma característica que seja única e que tenha valor para os clientes, ele provê receita extra ao permitir que sejam oferecidos produtos com a mesma qualidade por um preço menor;
- *Redução de Custo* - O sistema de informação leva a redução de custos ao permitir que um ou mais processos de negócio sejam executados a um custo mais baixo;
- *Projeção da Marca* - A construção do sistema de informação permite reforçar na mente dos clientes os atributos pelos quais a empresa deseja ser conhecida, tais como: tecnologicamente avançada, socialmente responsável, ecologicamente consciente, eticamente correta na forma como conduz seus negócios, etc.; e
- *Aumento da Lealdade do Cliente* - O sistema de informação influencia o consumidor a comprar mais, com maior frequência ou ambos.

Embora os MMCs sejam módulos autocontidos, frequentemente nos deparamos com situações nas quais o desenvolvimento de um MMC só pode começar depois que outras partes do projeto tenham sido desenvolvidas. Essas outras partes podem ser tanto outras MMCs quanto a infraestrutura arquitetural, isto é, o conjunto de funcionalidades básicas que não oferecem nenhum valor direto para os clientes, mas que são necessários para o desenvolvimento dos MMCs.

É importante se ter em mente que a própria infraestrutura arquitetural pode ser frequentemente decomposta em módulos autocontidos. Estes módulos, chamados de elementos arquiteturais ou EAs, permitem que a arquitetura seja disponibilizada sob demanda, reduzindo ainda mais o investimento inicial necessário para executar o projeto. A biblioteca de interfaces gráficas que permite que os diversos módulos

de um mesmo sistema de informação sejam construídos com a mesma identidade visual, o conjunto de funções georeferenciadas que auxiliam o funcionamento de um sistema de informação geográfica e os módulos que calculam os impostos devidos na emissão de notas fiscais eletrônicas são exemplos de elementos arquiteturais.

Sendo assim, o valor total propiciado para o negócio por um sistema de informação composto de diversos MMCs e EAs interdependentes, cada qual com seu próprio fluxo de caixa e restrições de precedência, é altamente dependente da ordem na qual estes módulos são desenvolvidos. Por exemplo, a Figura 2.1 apresenta o diagrama de precedência de um sistema de informação que foi dividido em MMCs e EAs.

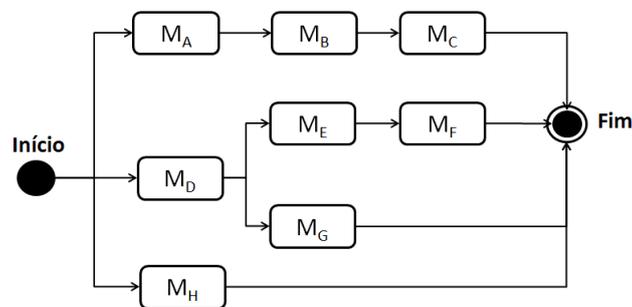


Figura 2.1: Diagrama de precedência.

No diagrama *Início* e *Fim* são módulos fictícios que indicam respectivamente o início e o final do desenvolvimento dos módulos de um sistema de informação. Estes módulos não consomem nenhum tempo para serem desenvolvidos, não necessitam de investimento de capital e não propiciam retornos. Além disso, uma seta conectando um módulo a outro, por exemplo, $M_A \rightarrow M_B$, indica que o desenvolvimento do primeiro (M_A) deve preceder o desenvolvimento do segundo (M_B). Neste caso, M_A é chamado predecessor de M_B . Deve-se notar que “predecessor” é uma relação transitiva. Portanto, como $M_A \rightarrow M_B$ e $M_B \rightarrow M_C$, então necessariamente $M_A \rightarrow M_C$.

A Tabela 2.1 indica todas as sequências de desenvolvimento possíveis para os módulos apresentados na Figura 2.1, considerando que:

- (a) o tempo total de desenvolvimento dos módulos foi dividido em períodos de tempo de igual tamanho;
- (b) o desenvolvimento dos módulos deve começar no primeiro período;
- (c) em qualquer período apenas um módulo pode estar sendo desenvolvido;
- (d) uma vez iniciado o desenvolvimento de um módulo ele não pode ser suspenso ou interrompido;
- (e) não há tempo de espera entre a conclusão do desenvolvimento de um módulo e o início do desenvolvimento do outro, e
- (f) todos os módulos devem ser obrigatoriamente desenvolvidos.

Tabela 2.1: Opções de agendamento.

Opção	Períodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	M_D	M_E	M_F	M_G	M_A	M_B	M_C	M_H
2	M_D	M_E	M_G	M_F	M_A	M_B	M_C	M_H
3	M_D	M_G	M_E	M_F	M_A	M_B	M_C	M_H
4	M_D	M_E	M_F	M_G	M_H	M_A	M_B	M_C
5	M_D	M_E	M_F	M_G	M_A	M_H	M_B	M_C
6	M_D	M_E	M_G	M_A	M_F	M_B	M_C	M_H
7	M_D	M_E	M_G	M_F	M_H	M_A	M_B	M_C
8	M_D	M_E	M_F	M_G	M_A	M_B	M_H	M_C
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
840	M_D	M_A	M_B	M_H	M_E	M_F	M_G	M_C

A Tabela 2.2 mostra o valor nominal dos elementos de fluxo de caixa de cada módulo apresentado na Figura 2.1. Observe que na Tabela 2.2 os valores são expressos em uma unidade monetária genérica cujo símbolo é \$. Consulte (GROPPELLI; NIKBAKHT, 2006) para uma introdução aos conceitos básicos de avaliação financeira de projetos de sistemas de informação.

Por exemplo, de acordo com as informações apresentadas na Tabela 2.2, M_A requer um investimento inicial de \$ 200 mil. Uma vez concluído seu desenvolvimento ao final do primeiro período, M_A fornece uma série de ganhos até o décimo sexto período, quando o sistema de informação como um todo se torna obsoleto e precisa ser substituído por uma solução mais avançada. O mesmo acontece com os módulos M_C , M_E , M_F , M_G e M_H . Em consequência, todos estes módulos são de fato MMCs.

Por outro lado, os módulos M_B e M_D seguem um caminho completamente diferente. Estes módulos, quando concluídos, não propiciam nenhum retorno financeiro direto, apesar do capital investido no seu desenvolvimento. Portanto, esses módulos são elementos arquiteturais.

Tabela 2.2: Valores nominais dos elementos de fluxo de caixa.

Elementos de Fluxo de Caixa (\$ 1.000)								
Módulos	Períodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
M_A	-200	98	89	81	72	63	54	45
M_B	-250	0	0	0	0	0	0	0
M_C	-250	63	90	117	144	171	198	200
M_D	-200	0	0	0	0	0	0	0
M_E	-350	35	35	70	90	108	126	144
M_F	-120	90	90	90	135	135	135	135
M_G	-350	60	80	100	60	70	70	70
M_H	-220	350	350	400	350	100	100	100
Módulos	Períodos							
	9	10	11	12	13	14	15	16
M_A	36	27	18	9	5	4	3	2
M_B	0	0	0	0	0	0	0	0
M_C	225	225	225	225	225	225	225	225
M_D	0	0	0	0	0	0	0	0
M_E	162	180	180	180	180	180	180	180
M_F	135	135	135	135	135	135	135	135
M_G	80	120	150	250	250	100	100	100
M_H	100	20	20	20	30	30	30	30

Uma vez que é incorreto executar operações matemáticas sobre valores monetários

apropriados em diferentes instantes de tempo sem antes corrigi-los por uma taxa de juros, para que se possa comparar os valores financeiros propiciados pelos MMCs e o investimento necessário para o desenvolvimento de EAs devem-se utilizar os seus respectivos fluxos de caixa descontados (GROPPELLI; NIKBAKHT, 2006).

A Tabela 2.3 mostra, em cada período, o somatório do fluxo de caixa descontado de cada módulo na Figura 2.1, considerando uma taxa de juros de 0,5% por período. Cada somatório é o valor presente líquido (VPL) do fluxo de caixa de um módulo.

No intuito de facilitar o entendimento, os valores apresentados na Tabela 2.3 foram arredondados para o valor inteiro mais próximo. Os valores restantes apresentados neste artigo seguem a mesma convenção.

Tabela 2.3: Valor presente líquido dos módulos.

Valor Presente Líquido (\$ 1.000)							
Módulos	Períodos						
	1	2	3	4	...	15	16
M_A	391	387	382	376	...	-95	-185
M_B	-249	-248	-246	-245	...	-232	-231
M_C	2.398	2.179	1.962	1.745	...	-174	-231
M_D	-199	-198	-197	-196	...	-186	-185
M_E	1.578	1.405	1.232	1.061	...	-292	-323
M_F	1.684	1.552	1.420	1.289	...	-28	-111
M_G	1.230	1.132	1.035	938	...	-269	-323
M_H	1.760	1.723	1.687	1.651	...	119	-203

Por exemplo, de acordo com as informações apresentadas na Tabela 2.3, se M_C for desenvolvido no primeiro período, ele gera um VPL de \$ 2.398K, onde:

$$2.398 = \frac{-250}{(1 + 0,5\%)^1} + \frac{63}{(1 + 0,5\%)^2} + \frac{90}{(1 + 0,5\%)^3} + \dots + \frac{225}{(1 + 0,5\%)^{16}}$$

Por outro lado, se M_C for desenvolvido no segundo período, ele gera um VPL de

\$ 2.179K, no terceiro \$ 1.962K e assim por diante.

Obviamente, nem todos os MMCs podem ser desenvolvidos no primeiro período. O diagrama de precedência apresentado na Figura 2.1 indica que somente M_A , M_D ou M_H podem ser desenvolvidos neste período. Porque, neste exemplo, em um determinado momento, apenas um módulo pode estar em desenvolvimento, M_C não pode ser desenvolvido até o terceiro período na melhor das hipóteses.

Além disso, cada sequência de desenvolvimento de módulos gera seu próprio VPL. Sendo assim, o valor de um projeto depende da ordem de desenvolvimento dos seus módulos. Por exemplo, a sequência

$$M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_F \rightarrow M_G \rightarrow M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C \rightarrow M_H$$

gera \$ 6.330 mil, que é o maior VPL entre todas as sequências de desenvolvimento possíveis.

É importante notar que o VPL da sequência de desenvolvimento de um módulo é o somatório do VPL de cada um de seus componentes, considerando o período no qual serão construídos. Portanto,

$$\begin{aligned} & \text{VPL}(M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_F \rightarrow M_G \rightarrow M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C \rightarrow M_H) \\ & = \\ & \text{VPL}_1(M_D) + \text{VPL}_2(M_E) + \text{VPL}_3(M_F) + \text{VPL}_4(M_G) + \dots + \text{VPL}_8(M_H) \\ & = \\ & (-199 + 1.405 + 1.420 + 938 + \dots + 1.537) \\ & = \\ & \$ 6.330\text{K} \end{aligned}$$

onde $\text{VPL}_t(M_X)$ é o VPL do módulo M_X considerando que o seu desenvolvimento começa no período t .

2.2 Modelos de previsão de fluxo de caixa

Para avaliar o MFI 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 ideia desse modelo é fazermos uma previsão comportamental do futuro usando variáveis conhecidas (por exemplo, através da análise do comportamento do passado) (DAGUM; CHOLETTE, 2006).

A seguir, são descritos os tipos de modelos de previsão que serão utilizados no experimento desta dissertação, conforme descrito no capítulo 5.

2.2.1 Tipos de Modelos de Previsão de Fluxo de Caixa

Todo MMC está associado a um fluxo de caixa. A avaliação financeira de um projeto depende essencialmente dos valores dos fluxos de caixa. Esses valores devem ser estimados antes do projeto ser executado e portanto se constituem uma previsão dos fluxos de caixa a serem realmente recebidos durante o ciclo de vida do sistema de informação.

Nesse trabalho, consideraremos três tipos de modelo de estimativa de fluxos de caixa:

- (1) O valor dos elementos de fluxos de caixa permanecem fixos ao longo do tempo;
- (2) Os valores dos elementos de fluxos de caixa são descritos por uma variável aleatória independente e
- (3) O valor de um elemento de fluxo de caixa no período t , para $t \geq 2$, está associado, de alguma forma, ao elemento de fluxo de caixa no período $t-1$. Neste

caso, assumiremos que o processo estocástico segue o movimento geométrico browniano (MGB).

O movimento geométrico browniano é utilizado para modelar preço de ações, taxas de juros, preços de produtos e outras variáveis financeira e econômicas. Consulte (DIXIT; PINDYCK, 2012) para uma introdução aos conceitos sobre processos estocásticos.

2.2.2 Cálculo do Valor Presente Líquido de um Fluxo de Caixa

Para o caso dos fluxos de caixa onde o valor dos elementos permanecem fixos ao longo do tempo, o valor presente líquido, ou VPL, representa a soma do fluxo de caixa descontado (DENNE; CLELAND-HUANG, 2004b).

Em termos formais, o VPL de um módulo m , cujo desenvolvimento inicia no período t , considerando uma taxa de juros constante i , é dado pela Equação 2.1

$$\text{VPL}(m, t) = \sum_{j=t}^n \frac{fc(m, j - t + 1)}{(1 + i)^j}, \quad (2.1)$$

onde $fc(m, j - t + 1)$ é uma função que retorna o elemento de fluxo de caixa do módulo m no período $j - t + 1$, t é o período onde o módulo inicia seu desenvolvimento, i é a taxa de juros e n é o último período da janela de oportunidade de m .

Para o caso em que os valores dos elementos de fluxos de caixa são descritos por uma variável aleatória independente, o VPL é dado por uma função de distribuição acumulada de probabilidade correspondente a soma ponderada de n variáveis aleatórias

independentes.

Como a solução analítica para esse problema pode tornar-se extremamente complexa, duas soluções aproximativas podem ser utilizadas: a primeira, válida quando n é grande, consiste na utilização do Teorema Central do Limite (FISCHER, 2011). Infelizmente, em nosso caso, n é pequeno. Portanto, essa aproximação não poderá ser utilizada. A segunda abordagem, que é mais comumente utilizada, é conhecida por técnica de Monte Carlo (RUBINSTEIN; KROESE, 2007).

A essência da técnica de Monte Carlo aplicado ao problema da soma de n variáveis aleatórias independentes, representando os elementos de um fluxo de caixa, pode ser obtida pelo Algoritmo 1.

Resultado: Gerar a distribuição acumulada de probabilidade do VPL simulado, que é, na verdade uma aproximação para a distribuição acumulada de probabilidade do VPL.

Seja

- $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ um conjunto de variáveis aleatórias independentes
- i a taxa de juros e
- M o número de cenários que se deseja coletar

início

repita

para $i = 1, \dots, n$ sorteie um valor $v_i \in V$;
 Calcular o VPL dos valores sorteados;
 Armazenar o VPL;

até M ;

retorna *A distribuição acumulada de probabilidade do VPL simulado;*

fin

Algoritmo 1: Procedimento para obter uma aproximação para a função de distribuição acumulada de probabilidade do VPL de um conjunto de elementos de fluxo de caixa descritos por variáveis aleatórias independentes.

Note que um cenário é uma observação contendo valores pontuais de todas as variáveis de interesse. Para exemplificar, vamos supor que os valores dos elementos de

fluxos de caixa são dados por uma função de distribuição de probabilidade triangular. Para cada um dos elementos de fluxo de caixa, serão escolhidos três valores: mínimo, mais provável e máximo. O sorteio consiste em um algoritmo computacional que gera valores aleatórios de acordo com os parâmetros dessa função triangular. Consulte (ALENCAR; SCHMITZ, 2010) para uma introdução aos conceitos sobre a função de distribuição de probabilidade triangular, que é utilizada para modelar a distribuição de probabilidade contínua.

Quando o comportamento dos elementos de fluxo de caixa, representados por variáveis aleatórias, segue um MGB, a técnica de Monte Carlo também pode ser utilizada para obter a soma desses elementos conforme descrito no Algoritmo 2.

Resultado: Gerar a distribuição acumulada de probabilidade do VPL simulado, que é, na verdade uma aproximação para a distribuição acumulada de probabilidade do VPL.

Seja

- e_1 um valor previamente estabelecido
- $e_1, \dots, e_{n \geq 2}$ elementos do fluxo de caixa
- i a taxa de juros e
- M o número de cenários que se deseja coletar

início

repita

para $i = 2, \dots, n$ sorteie um valor para e_i de acordo com a fórmula do MGB;

Calcular o VPL dos valores do fluxo de caixa sorteado;

Armazenar o VPL;

até M ;

retorna *A distribuição acumulada de probabilidade do VPL simulado;*

fin

Algoritmo 2: Procedimento para obter uma aproximação para a função de distribuição acumulada de probabilidade do VPL de um conjunto de elementos de fluxo de caixa descritos por variáveis dinâmicas independentes.

2.3 Métodos de avaliação das alternativas com incertezas

Após utilizarmos os modelos de previsão descritos na seção 2.2.2 para os sorteios dos cenários, a análise e a comparação dos VPLs para auxiliar o processo de tomada de decisão diante das incertezas serão realizadas com base no critério de dominância probabilística, conforme descrito em (HOLLOWAY, 1979; SZANIAWSKI; CHMIELEWSKI; WOLENSKI, 2012; CHERRY; KROLL; SHOGREN, 2007).

2.3.1 Dominância Probabilística

De acordo com (HOLLOWAY, 1979; SZANIAWSKI; CHMIELEWSKI; WOLENSKI, 2012; CHERRY; KROLL; SHOGREN, 2007), em circunstâncias onde a probabilidade de uma das alternativas sendo avaliadas alcançar valores de interesse é sempre maior ou igual que a probabilidade de qualquer outra alternativa alcançar os mesmos valores, diz-se que esta domina probabilisticamente todas as demais.

Sendo assim, sua existência deve ser encarada como um fator importante para a escolha de uma alternativa em relação a outra. A Figura 2.2 apresenta um exemplo onde há presença de dominância probabilística da alternativa 1 sobre a alternativa 2, ou seja, a sequência que fica mais à direita no gráfico é a dominante, e normalmente é a que deve ser escolhida.

Nos casos onde não ocorre a dominância probabilística, cada uma das alternativas restantes deve ser analisada, levando em consideração seus riscos e benefícios para o negócio. Durante esta análise, é importante considerar o perfil do investidor (tomador de decisão) para definir se deve ser adotada uma postura mais arriscada ou mais conservadora. A Figura 2.3 apresenta as distribuições de probabilidade de três alternativas diferentes, chamadas de A, B e C, onde nenhuma delas domina

probabilisticamente as outras.

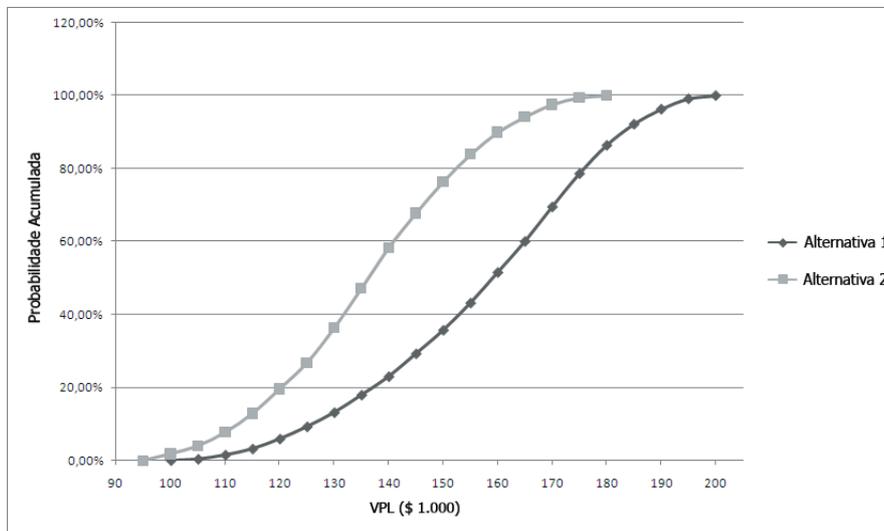


Figura 2.2: Funções de distribuição acumulada de probabilidade com dominância.

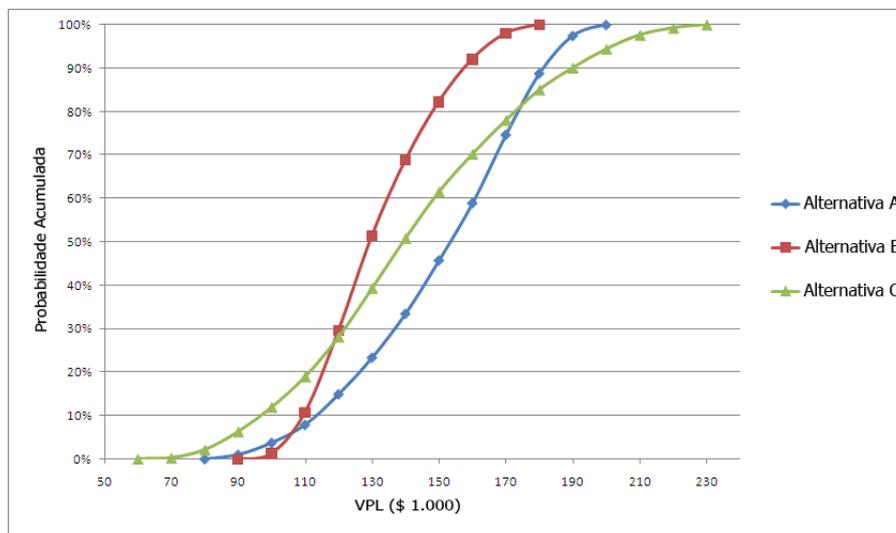


Figura 2.3: Funções de distribuição acumulada de probabilidade sem dominância.

2.4 Princípios de Escolha

2.4.1 Princípio Maximin ou Minimax

Esse método é pessimista ao extremo. Baseia-se na escolha do pior caso para cada alternativa. Desta forma, ao comparar o mínimo de lucro que se pode obter em cada alternativa, ele escolhe sempre o maior valor entre os lucros mínimos (Maximin) ou o menor valor entre os gastos máximos (Minimax), dependendo do contexto em que é aplicado. Representa a melhor entre as piores condições possíveis para o projeto. Consiste assim em um critério de extrema segurança. Esse método é conservador ao extremo (FORGIONNE, 1990; SZANIAWSKI; CHMIELEWSKI; WOLENSKI, 2012; CHERRY; KROLL; SHOGREN, 2007).

No exemplo da Figura 2.3, ao optar por utilizar o princípio do *Maximin*, o tomador de decisão deve considerar os valores mínimos oferecidos por cada alternativa, estes valores são apresentados na Tabela 2.4, devendo selecionar a alternativa *B* como melhor opção de investimento, pois permite a obtenção de um lucro que será, no pior caso, de \$ 90K.

Tabela 2.4: Retorno mínimo de cada alternativa.

Alternativa	Retorno Mínimo (\$ 1.000)
A	80
B	90
C	65

2.4.2 Princípio Maximax ou Minimin

Ao contrário do método descrito no item 2.4.1, o critério Maximax ou Minimin é otimista ao extremo. Desta forma, ele sempre escolhe o maior valor entre os lucros máximos (Maximax) ou o menor valor entre os gastos mínimos (Minimin) (FORGIONNE, 1990; SZANIAWSKI; CHMIELEWSKI; WOLENSKI, 2012; CHERRY; KROLL; SHOGREN, 2007).

No exemplo da Figura 2.3, ao aplicar o princípio *Maximax*, o tomador de decisão deve considerar os valores máximos oferecidos por cada alternativa, estes valores são apresentados na Tabela 2.5, devendo selecionar a alternativa *C* como a melhor opção de investimento, porque ela permite que os lucro obtidos à partir do investimento feito sejam de até \$ 230K.

Tabela 2.5: Retorno máximo de cada alternativa.

Alternativa	Retorno Máximo (\$ 1.000)
A	200
B	180
C	230

2.4.3 Princípio de Laplace

Também conhecido como “princípio da razão insuficiente”. O método se baseia na ideia de que quando não se conhece as probabilidades de ocorrência dos eventos, elas devem ser consideradas iguais. Desta forma, o critério compara todas as alternativas utilizando apenas o valor de suas médias aritméticas (FORGIONNE, 1990; SZANIAWSKI; CHMIELEWSKI; WOLENSKI, 2012; CHERRY; KROLL; SHOGREN, 2007).

A Tabela 2.6 apresenta as médias das alternativas apresentadas no exemplo da Figura 2.3. Neste caso, o tomador de decisão deve optar pela alternativa *C*, que oferece o maior lucro médio, sendo assim, a melhor opção de investimento.

Tabela 2.6: Lucro médio gerado por cada alternativa.

Alternativa	Lucro Médio (\$ 1.000)
A	140
B	135
C	145

2.4.4 Princípio de Hurwicz

Os métodos anteriores baseiam-se em situações extremas. O primeiro é muito pessimista e o segundo muito otimista. O método de Hurwicz combina linearmente estes dois métodos, utilizando um coeficiente de otimismo (α), que é estimado por especialistas baseados no histórico dos projetos e costuma variar entre diferentes empresas (FORGIONNE, 1990; SZANIAWSKI; CHMIELEWSKI; WOLENSKI, 2012; CHERRY; KROLL; SHOGREN, 2007). Uma vez definido α , é possível calcular o valor ponderado da alternativa de acordo com a Equação 2.2.

$$H_{CO} = \alpha \times \text{Max}(VPL) + (1 - \alpha) \times \text{Min}(VPL) \quad (2.2)$$

Onde H_{CO} é um índice relativo ao coeficiente de otimismo, $\text{Max}(VPL)$ é o valor máximo da alternativa e $\text{Min}(VPL)$ é o valor mínimo da alternativa.

A Tabela 2.7 apresenta os valores de H_{CO} para cada uma das alternativas apresentadas na Figura 2.3, considerando α igual a 70%. Neste cenário, o tomador de decisão usando o princípio de Hurwicz deve dar preferência à alternativa *C* em detrimento a qualquer outra opção de investimento.

Tabela 2.7: Coeficiente de otimismo de cada alternativa.

Alternativa	H_{CO} (\$ 1.000)
A	164
B	153
C	180

2.4.5 Princípio de Savage

Assim como o princípio de Hurwicz, o princípio de Savage também considera os valores mínimos e máximos ao comparar as alternativas no processo decisório. Porém, neste princípio, isto é feito de uma maneira completamente diferente. O objetivo do princípio de Savage é calcular a diferença entre o melhor e o pior cenário resultante de cada alternativa e computar o chamado “Minimax Regret”. Este método procura minimizar o “arrependimento máximo” de cada escolha.

Para montar a matriz de arrependimentos, determina-se o lucro máximo de cada evento. Para todos os eventos, calcula-se a diferença entre o lucro máximo e os lucros das alternativas em questão (FORGIONNE, 1990; SZANIAWSKI; CHMIELEWSKI; WOLENSKI, 2012; CHERRY; KROLL; SHOGREN, 2007), conforme as Tabelas 2.9 e 2.8.

Tabela 2.8: Retorno mínimo e máximo por alternativa.

Alternativa	Retorno Mínimo (\$ 1.000)	Retorno Máximo (\$ 1.000)
A	80	200
B	90	180
C	65	230
Máximo	90	230

Após calcular o arrependimento máximo de cada alternativa (ou seja 30, 50 e 25) o princípio de Savage seleciona a alternativa que minimiza este valor (ou seja 25)

por isso, é conhecido pelo nome de “Minimax Regret”. No cenário do exemplo apresentado pela Tabela 2.9, o tomador de decisão deve escolher a alternativa C como a melhor opção de investimento.

Tabela 2.9: Matriz de arrependimento máximo por alternativa.

Alternativa	Retorno Mínimo (\$ 1.000)	Retorno Máximo (\$ 1.000)
A	$10 = 90 - 80$	$30 = 230 - 200$
B	$0 = 90 - 90$	$50 = 230 - 180$
C	$25 = 90 - 65$	$0 = 230 - 230$
Máximo	25	50

3 OS ALGORITMOS DE AGENDAMENTO DO MFI

Seja k um número de módulos (MMCs e EAs) nos quais um sistema de informação foi dividido. Neste caso o número de sequência de implementações possíveis para estes módulos cresce exponencialmente com k (DENNE; CLELAND-HUANG, 2003). Em decorrência, frequentemente nos deparamos com situações nas quais as sequências que maximizam os retornos financeiros de um sistema de informação não podem ser encontradas em tempo polinomial (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005).

Portanto, para projetos de desenvolvimento de sistemas de informação que foram divididos em MMCs e EAs, o MFI fornece aos gestores e desenvolvedores de sistemas de informação três algoritmos aproximativos distintos para encontrar a sequência de implementação que maximiza o VPL de um projeto. São eles: *greedy*, *simple look-ahead* e *weighted look-ahead*.

3.1 O Algoritmo *Greedy*

O algoritmo *greedy* (ou guloso) é baseado em uma heurística de visão curta, que seleciona o próximo módulo a ser construído entre aqueles cujos predecessores já

foram totalmente desenvolvidos. De acordo com o algoritmo *greedy*, o próximo módulo a ser desenvolvido é sempre aquele com o maior VPL.

Por exemplo, considere os dados apresentados na Seção 2.1. Inicialmente, o algoritmo *greedy* analisa os módulos M_A , M_D e M_H , porque são os únicos módulos que podem ser desenvolvidos no primeiro período. Se entregue no final do primeiro período, M_A propicia um VPL de \$ 391K, enquanto M_D propicia \$ -199K e M_H propicia \$ 1.760K. Portanto, M_H propicia o maior VPL e é o módulo selecionado para desenvolvimento.

No segundo período, os módulos M_A e M_D são os únicos candidatos para desenvolvimento, pois não possuem precursores a desenvolver. Consulte a Figura 2.1 na página 25 para verificar a inexistência de precursores de M_A e M_D .

No entanto, neste ponto do ciclo de desenvolvimento M_A propicia um VPL de \$ 387K, enquanto M_D propicia \$ -198K. Portanto, M_A propicia o maior VPL e é o módulo selecionado para desenvolvimento. Consulte a Tabela 2.3 para verificar o VPL dos módulos M_A e M_D .

No terceiro período, o algoritmo *greedy* identifica corretamente que M_B e M_D são os únicos módulos que estão disponíveis para desenvolvimento. Já que M_B propicia um VPL de \$ -246K e M_D propicia um VPL de \$ -197K, é este último módulo que é selecionado para desenvolvimento.

No quarto período, os módulos M_B , M_E e M_G são os únicos candidatos para desenvolvimento, pois não possuem precursores a desenvolver. No entanto, é M_E que propicia o maior VPL, isto é \$ 1.061K. Conseqüentemente, M_E é selecionado para desenvolvimento.

No quinto período, os módulos M_B , M_F e M_G são os únicos candidatos para desenvolvimento. Uma vez que M_B propicia um VPL de \$ -244K, M_F um VPL de \$ 1.158K e M_G um VPL de \$ 703K, é M_F que é selecionado para desenvolvimento pelo algoritmo *greedy*.

No sexto período, os módulos M_B e M_G são os únicos módulos que estão disponíveis para desenvolvimento. Como eles propiciam um VPL de \$ -243K e \$ 470K respectivamente, é M_G que é escolhido para desenvolvimento.

No sétimo período, somente o módulo M_B está disponível para o desenvolvimento. Quando desenvolvido neste período M_B propicia um VPL de \$ -241K. Ao final, no oitavo período, o módulo M_C com um VPL de \$ 890K é o único que pode ser desenvolvido. Portanto,

$$M_H \rightarrow M_A \rightarrow M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_F \rightarrow M_G \rightarrow M_B \rightarrow M_C$$

é a sequência de implementação selecionada pelo algoritmo *greedy* que propicia um VPL de \$ 5.288K.

3.2 O Algoritmo *Simple Look-Ahead*

O algoritmo *simple look-ahead* (antecipação simples) é uma heurística de perspectiva futura que analisa os caminhos conectando os módulos que já foram construídos aos módulos a serem desenvolvidos. Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005) chamam esses caminhos de *strands* ou cadeias.

Segundo o algoritmo *simple look-ahead*, o próximo módulo a ser desenvolvido é sempre aquele que encabeça a cadeia que gera o maior VPL, considerando o período corrente do esforço de desenvolvimento do sistema de informação.

Considere o exemplo apresentado na Seção 2.1. Como o módulo fictício *Início* não consome nenhum tempo de projeto nem requer nenhum investimento para ser construído, no início do primeiro período, o conjunto inicial de cadeias analisadas pelo algoritmo *simple look-ahead* contém

$$M_A, M_A \rightarrow M_B \text{ e } M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C,$$

que são os caminhos conectando o módulo *Início* aos módulos a desenvolver M_A , M_B e M_C . Neste momento, o conjunto de cadeias também contém

$$M_D, M_D \rightarrow M_E, M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_F, M_D \rightarrow M_G \text{ e } M_H,$$

que são os caminhos que levam aos módulos a desenvolver M_D , M_E , M_F , M_G e M_H , e assim por diante. A Tabela 3.1 mostra todas as cadeias iniciais possíveis para o exemplo apresentado na seção anterior.

O VPL de uma cadeia é a soma do VPL de cada um de seus componentes, considerando o período no qual serão desenvolvidos. Conseqüentemente,

$$\begin{aligned} & \text{VPL}(M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C) \\ & = \\ & \text{VPL}_1(M_A) + \text{VPL}_2(M_B) + \text{VPL}_3(M_C) \\ & = \\ & 391 + -248 + 1.962 \\ & = \\ & 2.105\text{K} \end{aligned}$$

A Tabela 3.1 também mostra os VPLs de todas as cadeias iniciais possíveis.

Com base nas informações apresentadas na Tabela 3.1.

$$M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_F$$

é a cadeia com o maior VPL. Sendo assim, o projeto de sistema de informação começa com o desenvolvimento do módulo M_D .

No início do segundo período o módulo M_D já foi construído, de modo que o conjunto de cadeias requer alguma atualização. A Tabela 3.2 apresenta as cadeias que são identificadas pelo algoritmo *simple look-ahead* naquele momento.

Tabela 3.1: Todas as cadeias iniciais possíveis.

Cadeia	VPL (\$ 1.000)
M_A	391
$M_A \rightarrow M_B$	143
$M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C$	2.105
M_D	-199
$M_D \rightarrow M_E$	1.206
$M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_F$	2.626
$M_D \rightarrow M_G$	933
M_H	1.760

Tabela 3.2: Cadeias para o segundo período.

Cadeia	VPL (\$ 1.000)
M_A	387
$M_A \rightarrow M_B$	141
$M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C$	1.886
M_E	1.405
$M_E \rightarrow M_F$	2.825
M_G	1.132
M_H	1.723

Uma vez que $M_E \rightarrow M_F$ é a cadeia que gera o maior VPL, M_E é selecionado para o desenvolvimento. O processo continua até que o último módulo a desenvolver

seja selecionado para desenvolvimento. Para o exemplo apresentado na seção 2.1, o algoritmo *simple look-ahead* seleciona a seguinte cadeia para desenvolvimento,

$$M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_H \rightarrow M_A \rightarrow M_F \rightarrow M_B \rightarrow M_C \rightarrow M_G,$$

que propicia um VPL de \$ 5.504K.

3.3 O Algoritmo *Weighted Look-Ahead*

Se ponderarmos negativamente o número de períodos necessários para o desenvolvimento de cada cadeia, as chances do algoritmo *simple look-ahead* selecionar a cadeia que maximiza o retorno financeiro de um projeto de sistema de informação aumenta consideravelmente (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005).

Essa ponderação favorece o desenvolvimento de cadeias que são entregues rapidamente, apesar de propiciarem um VPL igual a outras. Portanto, o algoritmo *weighted look-ahead* (antecipação poderada) facilita ainda mais a apropriação antecipada dos benefícios financeiros gerados por um projeto de sistema de informação.

Segundo Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005) o fator de ponderação mais eficaz depende de uma série de características do projeto de sistema de informação, tais como o formato do diagrama de precedência e a duração da janela de oportunidade, ou seja: o tempo que decorre desde o início do projeto até o momento em que o produto final se torna obsoleto e deve ser substituído por uma solução mais atraente.

Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005) sugerem o uso da seguinte fórmula para ponderar negativamente o VPL de uma determinada cadeia S:

$$\text{VPL-Ponderado}(S) = \text{VPL}(S) \times (1 - (\text{FP} \times (p - 1))) \quad (3.1)$$

onde FP é um fator de ponderação pré-selecionado e p é o número de períodos necessários para construir todos os módulos em S.

Experiências práticas realizadas por (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005) indicam que para projetos com uma janela de oportunidade de 16 períodos o fator de ponderação ideal deve estar entre 10 e 15 por cento, enquanto que para projetos com uma janela de oportunidade de 8 períodos deve estar entre 20 e 25 por cento. De acordo com Denne e Cleland-Huang, os limites ótimos para projetos com outras janelas de oportunidade podem ser encontrados no site do MFI no endereço www.softwarebynumbers.org.

Por exemplo, considere a cadeia $M_X \rightarrow M_Y \rightarrow M_Z$ que leva três períodos para ser desenvolvida e gera um VPL de \$ 50K, se o seu desenvolvimento começar no primeiro período. Além disso, considere um fator de ponderação de 10%. Nestas circunstâncias

$$\begin{aligned} \text{VPL-Ponderado}(M_X \rightarrow M_Y \rightarrow M_Z) \\ &= \\ &\$50\text{K} \times (1 - (10\% \times (3 - 1))) \\ &= \\ &\$40\text{K} \end{aligned}$$

Agora, considere a cadeia $M_V \rightarrow M_W$, que propicia o mesmo VPL, se o seu desenvolvimento iniciar no primeiro período, mas leva apenas dois períodos a ser desenvolvida. Nesta situação, essa cadeia propicia um VPL ponderado de

$$\$50\text{K} \times (1 - (10\% \times (2 - 1))) = \$45\text{K}$$

indicando que é uma opção mais atraente para desenvolvimento.

Considere o exemplo apresentado na Seção 2.1 e um fator de ponderação de 10%. É importante se ter em mente que os algoritmos *simple* e *weighted look-ahead* usam a mesma estratégia de identificação de cadeias. A Tabela 3.3 apresenta as cadeias inicialmente selecionadas pelo algoritmo *weighted look-ahead* junto com seus respectivos VPLs ponderados, calculado de acordo com a Equação (3.1).

Tabela 3.3: O conjunto de cadeias para o primeiro período.

Cadeia	VPL (\$ 1.000)	Duração do Módulo	VPL Ponderado (\$ 1.000)
M_A	391	1	$391 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 391$
$M_A \rightarrow M_B$	143	2	$143 \times (1 - (10\% \times (2-1))) = 129$
$M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C$	2.105	3	$2.105 \times (1 - (10\% \times (3-1))) = 1.684$
M_D	-199	1	$-199 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = -199$
$M_D \rightarrow M_E$	1.206	2	$1.206 \times (1 - (10\% \times (2-1))) = 1.085$
$M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_F$	2.626	3	$2.626 \times (1 - (10\% \times (3-1))) = 2.101$
$M_D \rightarrow M_G$	933	2	$933 \times (1 - (10\% \times (2-1))) = 840$
M_H	1.760	1	$1.760 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 1.760$

Como M_D encabeça a cadeia com o maior VPL, isto é: $M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_F$, é este módulo que é selecionado pelo algoritmo *weighted look-ahead* para ser construído no primeiro período. A Tabela 3.4 mostra as cadeias selecionadas como candidatas a serem desenvolvidas no segundo período.

Já que $M_E \rightarrow M_F$ é a cadeia que gera o maior VPL, M_E é selecionado para desenvolvimento no segundo período. A Tabela 3.5 mostra todas as cadeias que podem ser desenvolvidas no terceiro período.

Como M_H lidera a cadeia que propicia o maior VPL, segundo a Tabela 3.5, ele é selecionado para o desenvolvimento. A Tabela 3.6 mostra todas as cadeias que podem ser desenvolvidas no quarto período.

Tabela 3.4: Cadeias para o segundo período.

Cadeia	VPL (\$ 1.000)	Duração do Módulo	VPL Ponderado (\$ 1.000)
M_A	387	1	$387 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 387$
$M_A \rightarrow M_B$	141	2	$141 \times (1 - (10\% \times (2-1))) = 127$
$M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C$	1.886	3	$1.886 \times (1 - (10\% \times (3-1))) = 1.509$
M_E	1.405	1	$1.405 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 1.405$
$M_E \rightarrow M_F$	2.825	2	$2.825 \times (1 - (10\% \times (2-1))) = 2.543$
M_G	1.132	1	$1.132 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 1.132$
M_H	1.723	1	$1.723 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 1.723$

Tabela 3.5: Cadeias para o terceiro período.

Cadeia	VPL (\$ 1.000)	Duração do Módulo	VPL Ponderado (\$ 1.000)
M_A	382	1	$382 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 382$
$M_A \rightarrow M_B$	137	2	$137 \times (1 - (10\% \times (2-1))) = 123$
$M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C$	1.667	3	$1.667 \times (1 - (10\% \times (3-1))) = 1.334$
M_F	1.420	1	$1.420 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 1.420$
M_G	1.035	1	$1.035 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 1.035$
M_H	1.687	1	$1.687 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 1.687$

Tabela 3.6: Cadeias para o quarto período.

Cadeia	VPL (\$ 1.000)	Duração do Módulo	VPL Ponderado (\$ 1.000)
M_A	376	1	$376 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 376$
$M_A \rightarrow M_B$	132	2	$132 \times (1 - (10\% \times (2-1))) = 119$
$M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C$	1.448	3	$1.448 \times (1 - (10\% \times (3-1))) = 1.158$
M_F	1.289	1	$1.289 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 1.289$
M_G	938	1	$938 \times (1 - (10\% \times (1-1))) = 938$

Como M_F lidera a cadeia que propicia o maior VPL, segundo a Tabela 3.6, ele é selecionado para desenvolvimento. O processo continua até o oitavo período quando o último módulo a desenvolver é selecionado para desenvolvimento.

Para o exemplo apresentado na Seção 2.1, o algoritmo *weighted look-ahead* seleciona a seguinte cadeia para desenvolvimento,

$$M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_H \rightarrow M_F \rightarrow M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C \rightarrow M_G,$$

que propicia um VPL de \$ 5.629K.

3.4 Comparando os resultados apresentados pelos algoritmos de agendamento do MFI

A Tabela 3.7 apresenta os resultados fornecidos por cada um dos algoritmos de agendamento do MFI, considerando o exemplo apresentado na Seção 2.1. Além disso, para fins de comparação, a Tabela 3.7 também apresenta o resultado fornecido pelo algoritmo força bruta, que analisa exaustivamente todas as sequências possíveis de implantação, a fim de selecionar a sequência que propicia o maior VPL.

Tabela 3.7: Resultados apresentados pelos Algoritmos de Agendamento do MFI.

Algoritmo	Sequência de Implantação	VPL (\$ 1.000)	Percentual
Força Bruta	$M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_F \rightarrow M_G \rightarrow M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C \rightarrow M_H$	6.330	100%
Greedy	$M_H \rightarrow M_A \rightarrow M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_F \rightarrow M_G \rightarrow M_B \rightarrow M_C$	5.288	83,5%
Simple Look-Ahead	$M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_H \rightarrow M_A \rightarrow M_F \rightarrow M_B \rightarrow M_C \rightarrow M_G$	5.504	87,0%
Weighted Look-Ahead	$M_D \rightarrow M_E \rightarrow M_H \rightarrow M_F \rightarrow M_A \rightarrow M_B \rightarrow M_C \rightarrow M_G$	5.629	88,9%

É importante notar que sem o apoio do algoritmo força bruta, que requer um esforço exponencial para produzir resultado, não se pode determinar quão distante os resultados propiciados pelos algoritmos de agendamento do MFI estão da solução ideal.

4 OS ATINOS E FALHAS DOS ALGORITMOS DE AGENDAMENTO DO MFI

4.1 Os Atinos

Não é sem razão que o MFI, juntamente com seus algoritmos de agendamento, têm encontrado muitos adeptos entre pesquisadores, desenvolvedores de sistemas de informação e gestores de TI (LITTLE, 2004; STEINDL, 2005; SZOKE, 2009; TAIPALE, 2010; TRENDON, 2010).

O MFI foi inicialmente apresentado à comunidade de desenvolvedores de sistemas de informação através de um livro publicado pela Prentice Hall (DENNE; CLELAND-HUANG, 2003). Seguiu-se um artigo na revista IEEE Software (DENNE; CLELAND-HUANG, 2004a). Na época, o aumento da distância entre as visões e interesses daqueles que financiam o desenvolvimento de sistemas de informações e a prática no dia-a-dia daqueles que realizam o seu desenvolvimento era um problema que já havia sido identificado e parcialmente tratado por outros pesquisadores (FAVARO; FAVARO, 1998; FAULK; HARMON; RAFFO, 2000; ERDOGMUS, 1999).

Entretanto, o MFI tem o mérito de fazer com que a disciplina financeira seja incor-

porada ao desenvolvimento de sistemas de informação, fornecendo, com isso, uma forma prática de integrar a visão do investidor ao processo de desenvolvimento de software e de tornar os sistemas de informação um elemento importante na concepção e implementação das estratégias de negócio.

Em adição, ao explorar a possibilidade de dividir a construção de um sistema de informação em módulos que tenham valor para o negócio, o MFI favorece a apropriação antecipada dos benefícios produzidos por uma grande variedade de projetos de sistemas de informação.

Além disso, o MFI não somente sugere que esses módulos contenham uma quantidade mínima de funcionalidades que tenham valor para os clientes corporativos, usuários finais ou ambos, mas fornece também orientações consistentes sobre como identificar os módulos mais valiosos, uma vez decidida a arquitetura do sistema de informação (CHANG et al., 2001). Tudo isso facilita o planejamento e a gestão daquilo que deve ser realizado.

Outrossim, o MFI demonstra claramente que o valor total propiciado para o negócio pela construção de um sistema de informação composto de diversos elementos arquiteturais e módulos minimamente comercializáveis, cada qual com seu próprio fluxo de caixa e restrições de precedência, é altamente dependente da ordem de desenvolvimento destes módulos. Facilitando ainda mais a apropriação antecipada dos benefícios propiciados pelo sistema.

Finalmente, os métodos de agendamento do MFI são fáceis de serem entendidos e implementados. Para pequenos projetos de sistemas de informação os cálculos necessários para utilização do MFI podem ser facilmente realizados com o apoio de uma planilha eletrônica. Contudo, algumas ferramentas computadorizadas foram disponibilizadas tanto por pesquisadores quanto por desenvolvedores de sistemas de

informação para facilitar o uso do Método de Financiamento Incremental (DENNE; CLELAND-HUANG, 2004b; GYLTERUD et al., 2007).

4.2 As Falhas

O “Princípio da Incerteza de Heisenberg”, de autoria do físico alemão Werner Heisenberg, ganhador do Prêmio Nobel da Física de 1932, estabelece a impossibilidade de se determinar simultaneamente, com precisão, a posição e o momento de uma partícula (HEISENBERG, 1927).

Uma das consequências mais intrigantes do princípio da incerteza de Heisenberg é que o futuro não pode ser antevisto, isto é: não pode ser previamente estabelecido (LINDLEY, 2008). Além disso, quanto mais distante do presente estiver localizado um determinado instante de tempo, mais amplo o leque de caminhos possíveis que conduzem a essa nova realidade e menos precisas as previsões de como ela será (POTTS, 2009).

Apesar de todos os avanços que a ciência como um todo e a física teórica em particular experimentaram desde que o princípio da incerteza foi estabelecido pela primeira vez, no começo dos anos vinte, ele ainda se mantém válido nos dias de hoje (BERTA et al., 2010).

Entretanto, um exame mais atento do MFI revela que o método requer um conhecimento preciso do valor futuro do custo de desenvolvimento e dos benefícios financeiros propiciados tanto pelos MMCs e quanto pelas EAs. Em outras palavras, o MFI não leva em consideração a incerteza que, de acordo com Heisenberg, naturalmente envolve esses elementos. Portanto, quanto maior for a duração da janela de oportunidade, menos consistentes tendem a ser os resultados fornecidos pelo MFI.

Em consequência, como o futuro é incerto por natureza, o MFI deixa de retratar o mundo como ele realmente é.

Além disso, o MFI, como apresentado em (DENNE; CLELAND-HUANG, 2003) e (DENNE; CLELAND-HUANG, 2004a), não contempla os casos em que é mais lucrativo não se construir todos os módulos de um projeto de sistema de informação. No mundo altamente competitivo em que esses sistemas são desenvolvidos nos dias de hoje, as condições de mercado podem mudar substancialmente do dia para a noite. Neste caso, um novo cenário de mercado pode tornar o desenvolvimento de certos EAs e MMCs um empreendimento financeiramente desaconselhável (DOLCI; MACADA; BECKER, 2010). Contudo, no mundo real, muitos projetos são desenvolvidos apenas parcialmente.

Em adição, é possível que depois de algum tempo as incertezas com respeito às condições de mercado desfavoráveis mudem, permitindo o desenvolvimento lucrativo de módulos que dariam prejuízos se fossem desenvolvidos nas condições vigentes (DOLCI; MACADA; BECKER, 2010).

Portanto, o valor de um projeto de sistema de informação tende a ser positivamente influenciado quando se utiliza um método de agendamento que permite postergar o desenvolvimento de módulos. Infelizmente, esse não é o caso do MFI e de seu conjunto de algoritmos de agendamento, que não fazem nenhuma provisão para o possível adiamento do desenvolvimento de EAs e MMCs. Porém, muitos projetos são adiados voltando a ser executado, com sucesso, mais tarde.

Por outro lado, o MFI não leva em consideração os benefícios intangíveis propiciados pelo desenvolvimento de sistema de informação. Contudo, muitos projetos propiciam tanto benefícios tangíveis quanto intangíveis.

O MFI também não leva em consideração as ações da concorrência. Porém, a maioria dos mercados é competitivo, possuindo vários fornecedores que oferecem produtos e serviços similares.

Finalmente, uma vez que as heurísticas propostas por Denne e Cleland-Huang (*greedy*, *simple look-ahead* e *weighted look-ahead*) são de fato algoritmos aproximativos, seria útil a existência de um arcabouço matemático que pudesse ser usado para estimar quão distante os resultados apresentados por esses algoritmos estão da solução ideal. Infelizmente, tal arcabouço matemático ainda não está disponível. Portanto, em geral, os usuários do MFI não têm como saber se a solução apresentada pelos algoritmos de agendamento está próxima ou a anos luz de distância da solução ideal.

Em adição, os algoritmos de agendamento propostos por Denne e Cleland-Huang exigem que cada módulo tenha, no máximo, apenas um predecessor. Tal restrição foi imposta a esses algoritmos com a intenção de tornar o esforço necessário para sua execução polinomial em função do número de módulos.

Contudo, no mundo real, é muito comum que o desenvolvimento de um módulo dependa do desenvolvimento de dois ou mais módulos predecessores. Sendo assim, a restrição imposta aos algoritmos de agendamento tem o efeito indesejável de limitar consideravelmente o tipo de projeto no qual o MFI pode ser empregado com sucesso. Mais considerações sobre as falhas dos algoritmos de agendamento são apresentadas no Capítulo 5.

4.3 Superando as Falhas e Estendendo o MFI

Quando as falhas do MFI se tornaram evidentes, diversas sugestões foram feitas para estender a abrangência do MFI, preservando, ao mesmo tempo, a base sobre a qual ele foi construído.

Por exemplo, Alencar *et al.* sugerem que o uso de um método *branch & bound*, em substituição aos algoritmos de agendamento, pode aumentar consideravelmente o tamanho dos projetos que podem ser tratados com êxito pelo MFI em diversas circunstâncias. Além disso, o método *branch & bound* proposto remove as restrições de que cada módulo de software deve ter no máximo um predecessor (ALENCAR; ABREU; SCHMITZ, 2008).

Schmitz *et al.* mostram como a introdução de elementos incertos de fluxo de caixa no MFI pode tornar mais realísticas as estimativas dos valores necessários para o desenvolvimento de MMCs e EAs, assim como dos benefícios propiciados pelos MMCs (SCHMITZ; ALENCAR; AZEVEDO, 2008). Permitindo, desta forma, a priorização dos módulos mais prováveis de agregarem valor ao negócio.

Barbosa *et al.* mostram que é possível construir um modelo para tomada de decisão de grande efetividade baseado no MFI, estimativas de elementos de fluxo de caixa incertos e árvores de classificação, que também são conhecidos como árvores de decisão em certos círculos da tecnologia da informação. O modelo proposto por Barbosa *et al.* permite a criação de regras de negócio independentes que identificam as ações mais indicadas para cada cenário possível (BARBOSA; SCHMITZ; ALENCAR, 2008). Transformando, em consequência, o MFI em uma ferramenta atrativa para ser utilizada no ambiente de incerteza que cerca o desenvolvimento de sistema de informações nos dias de hoje. Consulte (ROKACH; MAIMON, 2008) para uma introdução detalhada às árvores de classificação.

Fernandes *et al.* (FERNANDES et al., 2008) combinam Economia de Informação (EI), um modelo para análise de investimento em TI multicritério concebido por Benson, Bugnitz e Walton (BENSON; BUGNITZ; WALTON, 2004), e o MFI para identificar uma ordem de desenvolvimento de módulos que maximize não apenas uma, mas diversas variáveis no universo de interesse. No MFI multicritério de Fernandes *et al.* as variáveis de interesse são conectadas usando o método *Analytical Hierarchical Process* ou AHP. Em português, Análise Hierárquica de Processos de Saaty (SAATY, 2008).

Alencar *et al.* argumentam que a introdução de módulos não-essenciais (NMMCs), elementos arquiteturais não-essenciais (NEAs) e relações de precedências flexíveis em projetos de sistema de informações, podem aumentar consideravelmente o valor financeiro destes projetos para os negócios (ALENCAR et al., 2012). Nessas circunstâncias, NMMCs e NEAs são módulos que podem ser retirados de um projeto sem que isso reduza a probabilidade dele atingir suas metas declaradas (VALENTE, 2009; POHL; BÖCKLE; LINDEN, 2010).

Adzic (ADZIC, 2011) estende o conceito de *mapeamento de causa e efeito*, um modelo de visualização dos projetos de autoria de (BALIC; OTTERSTEN, 2007), para englobar as ideias de módulos minimamente comercializáveis (MMCs) e apropriação antecipada de benefícios financeiros provenientes do MFI, para criar um modelo híbrido que é apropriado para o gerenciamento de projetos de sistemas de informação baseados no paradigma de desenvolvimento ágil.

5 AVALIAÇÃO EMPÍRICA DO MFI COM INCERTEZAS

5.1 Descrição dos Modelos

Para testar a eficácia da heurística WLA, que Denne e Cleland-Huang consideraram como a mais eficaz dentre aquelas que propõe em (DENNE; CLELAND-HUANG, 2003), montou-se um experimento computacional com dois modelos de rede de MMCs (Modelo 1 e Modelo 2) com as seguintes características, conforme as Tabelas 5.1 e 5.3.

Tabela 5.1: Características da Rede Modelo 1.

Característica	Parâmetro
Número de MMCs e EAs	5
Número de períodos	8
Grafo de precedência	Figura 5.1
Fluxo de caixa dos MMCs	Tabela 5.2
Taxa de juros	2,41% pp

Para cada um desses modelos de rede de MMCs, os valores de VPL foram calculados para três modelos de fluxo de caixa:

1. Fluxo de caixa com valores fixos, conforme Tabelas 5.2 e 5.4;

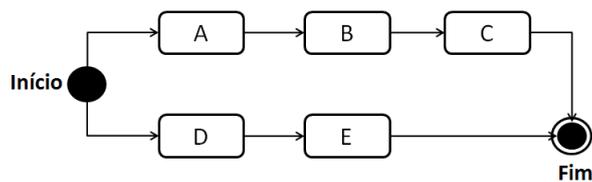


Figura 5.1: Diagrama de dependência do Modelo 1. Fonte: Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2003).

Tabela 5.2: Valores nominais dos elementos de fluxo de caixa do Modelo 1.

Elementos de Fluxo de Caixa (\$ 1.000)								
Módulos	Períodos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	-100	80	81	82	83	84	85	86
B	-50	100	102	104	106	108	110	112
C	-200	75	76	77	78	79	80	81
D	-75	100	102	104	106	108	110	112
E	-100	60	61	62	63	64	65	66

Tabela 5.3: Características da Rede Modelo 2.

Característica	Parâmetro
Número de MMCs e EAs	9
Número de períodos	16
Grafo de precedência	Figura 5.2
Fluxo de caixa dos MMCs	Tabela 5.4
Taxa de juros	1%

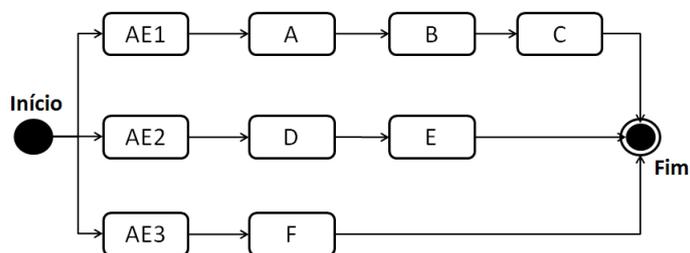


Figura 5.2: Diagrama de dependência do Modelo 2. Fonte: Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2003).

2. Fluxo de caixa não determinista, onde o valor de cada elemento do fluxo de caixa fixo v é substituído por uma variável aleatória seguindo uma função de distribuição de probabilidade triangular onde:

$$\text{mínimo} = 0,8 \times v, \text{ mais provável} = v \text{ e máximo} = 1,1 \times v;$$

3. Fluxo de caixa seguindo um movimento geométrico browniano onde o valor inicial é fornecido e os próximos elementos do fluxo de caixa são calculados pela fórmula que se segue:

$$V(t + 1) = V(t) + (v \times V(t) \times N(0, 1)) + \delta \times V(t), \quad (5.1)$$

onde para $t \geq 1$, onde $V(t)$ é o t -ésimo elemento de fluxo de caixa, $N(0, 1)$ é a distribuição normal, a *volatilidade* v representa uma incerteza em relação a este valor e o *drift* δ representa uma tendência de aumento ou diminuição do valor que se deseja calcular.

Para cada um dos modelos de rede de MMCs e dos três modelos de fluxo de caixa, o valor do VPL foi calculado para as seguintes situações:

1. Fluxo de caixa com valores fixos:
 - (a) Aplicou-se a heurística Weighted Look-Ahead (WLA) para encontrar a melhor sequência de implementação e seu respectivo VPL;
 - (b) Aplicou-se a busca exaustiva em todas as sequências possíveis para encontrar a melhor sequência de implementação e seu respectivo VPL;
2. Fluxo de caixa não determinista (tanto para os casos nos quais os valores dos elementos de fluxos de caixa são representados por variáveis aleatórias independentes quanto para situações em que essas variáveis seguem um MGB).

Neste caso, para cada uma das possíveis sequências de implementação, foram sorteados 5.000 cenários. Em cada um dos cenários, calculou-se o valor do VPL de cada sequência e foram construídas as distribuições de probabilidade acumulada do VPL simulado.

5.2 Resultados Obtidos

5.2.1 Modelo 1

5.2.1.1 Fluxo de Caixa com Valores Fixos

- (a) A aplicação da heurística WLA ao Modelo 1, retorna o valor ótimo para a sequência $D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$ com um VPL de \$ 1.474K.
- (b) A Tabela 5.5, mostra o resultado da busca exaustiva em todas as sequências possíveis de implementação. Nessa tabela, a coluna “Ganho” indica o volume de benefícios financeiros a serem auferidos com a implementação de uma sequência em relação a sequência de maior valor.

5.2.1.2 Fluxo de Caixa não Determinista (Triangular)

Os resultados obtidos pela busca exaustiva em todas as sequências de implementação estão mostrados na Tabela 5.6 e na Figura 5.3. Note que, neste caso, a coluna “Ganho Médio” apresenta a média do volume de benefícios financeiros a serem auferidos com a implementação de uma sequência em relação a média da sequência de maior valor.

Tabela 5.5: Sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.1 (fluxo de caixa fixo).

Sequência de Implementação	VPL (\$ 1.000)	Ganho (%)
$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$	1.474	100
$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C$	1.463	99
$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow E$	1.450	98
$A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$	1.449	98
$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow C$	1.439	98
$A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C$	1.438	98
$D \rightarrow A \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow C$	1.422	96
$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$	1.421	96
$D \rightarrow E \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$	1.404	95
$A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow C$	1.397	95

Tabela 5.6: Sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.1 (fluxo de caixa não determinista com distribuição de probabilidade triangular).

Sequência de Implantação	Média VPL (\$ 1.000)	Ganho Médio (%)
$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$	1.422	100
$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C$	1.412	99
$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow E$	1.398	98
$A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$	1.398	98
$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow C$	1.388	98
$A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C$	1.387	98
$D \rightarrow A \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow C$	1.372	97
$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$	1.371	96
$D \rightarrow E \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$	1.354	95
$A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow C$	1.347	95
⋮	⋮	⋮

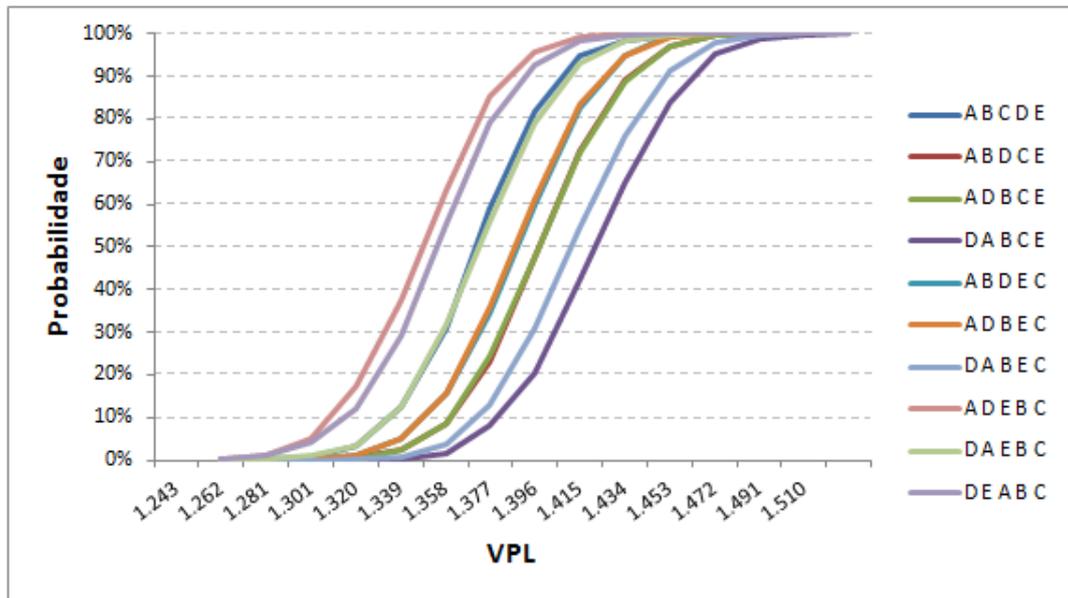


Figura 5.3: Distribuição de probabilidade acumulada do VPL das sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.1 (fluxo de caixa não determinista com distribuição de probabilidade triangular).

5.2.1.3 Fluxo de Caixa não Determinista (MGB)

Os resultados obtidos pela busca exaustiva em todas as sequências de implementação estão mostrados na Tabela 5.7 e na Figura 5.4.

5.2.2 Modelo 2

5.2.2.1 Fluxo de Caixa com Valores Fixos

- (a) A aplicação da heurística WLA ao Modelo 2, retorna o valor ótimo para a sequência $AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow E$ com um VPL de \$ 1.740K e para a sequência $AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow$

Tabela 5.7: Sequências obtidas da rede apresentada na Figura 5.1 (fluxo de caixa não determinista com MGB).

Sequência de Implantação	Média VPL (\$ 1.000)	Ganho Médio (%)
$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$	1.473	100
$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C$	1.462	99
$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow E$	1.449	98
$A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$	1.448	98
$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow C$	1.438	98
$A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C$	1.437	98
$D \rightarrow A \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow C$	1.421	96
$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$	1.420	96
$D \rightarrow E \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$	1.403	95
$A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow C$	1.396	95
⋮	⋮	⋮

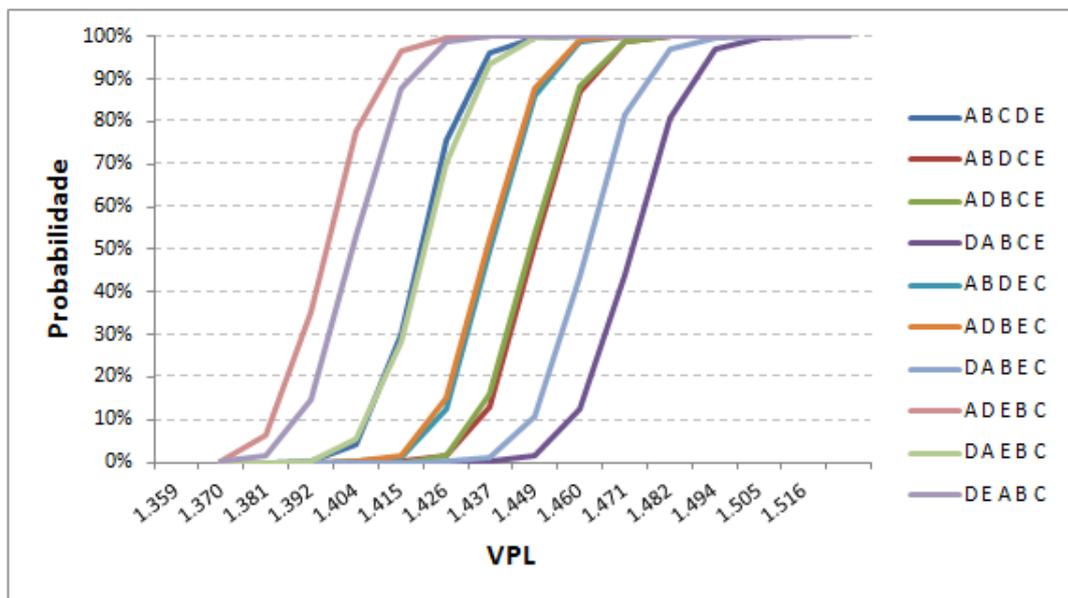


Figura 5.4: Distribuição de probabilidade acumulada do VPL da sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.1 (fluxo de caixa não determinista com MGB).

$AE3 \rightarrow F$ com um VPL de \$ 1.739K.

- (b) A Tabela 5.8, mostra os resultados das melhores seqüências possíveis de implementação.

Tabela 5.8: Sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.2 (fluxo de caixa constante).

Seqüência de Implementação	VPL (\$ 1.000)	Ganho (%)
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$	1.740	100
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow AE3 \rightarrow F$	1.739	100
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow E$	1.695	97
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow AE3 \rightarrow E \rightarrow F$	1.668	96
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow AE2 \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow E$	1.640	94
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow E$	1.636	94
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow E$	1.619	93
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow AE3 \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow E$	1.615	93
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$	1.592	91
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow AE3 \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$	1.588	91
⋮	⋮	⋮

5.2.2.2 Fluxo de Caixa não Determinista (Triangular)

Os resultados obtidos pela busca exaustiva nas melhores seqüências estão mostrados na Tabela 5.9 e na Figura 5.5.

5.2.2.3 Fluxo de Caixa não Determinista (MGB)

Os resultados obtidos pela busca exaustiva nas melhores seqüências estão mostrados na Tabela 5.10 e na Figura 5.6.

Tabela 5.9: Sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.2 (fluxo de caixa não determinista com distribuição de probabilidade triangular).

Sequência de Implantação	Média VPL (\$ 1.000)	Ganho Médio (%)
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$	1.681	100
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow AE3 \rightarrow F$	1.678	100
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow E$	1.638	97
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow AE3 \rightarrow E \rightarrow F$	1.611	96
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow AE2 \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow E$	1.580	94
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow E$	1.579	94
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow E$	1.561	93
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow AE3 \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow E$	1.557	93
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$	1.535	91
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow AE3 \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$	1.534	91
⋮	⋮	⋮

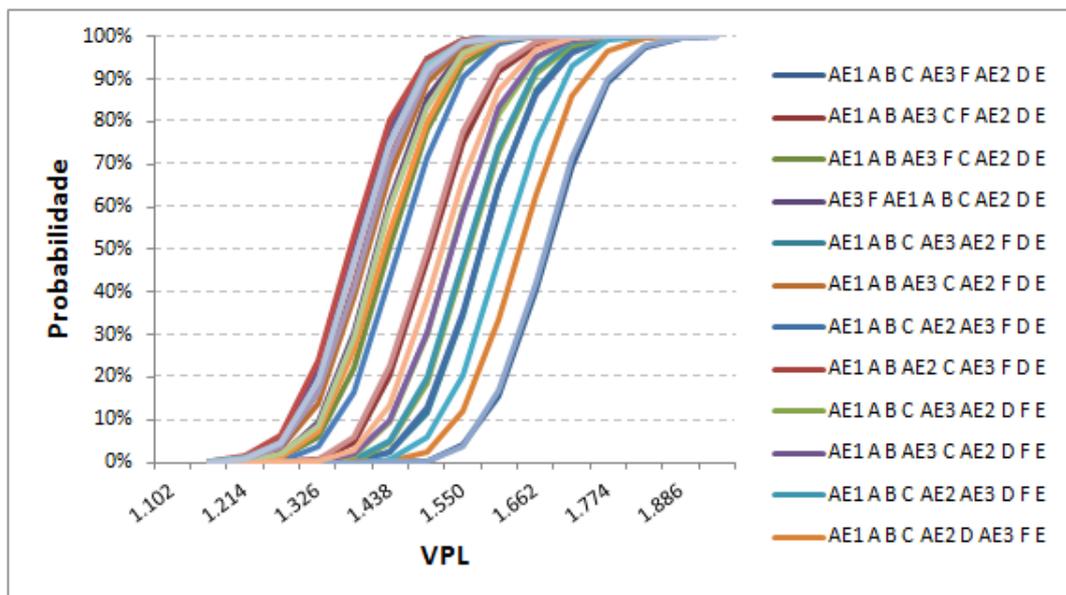


Figura 5.5: Distribuição de probabilidade acumulada do VPL das sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.2 (fluxo de caixa não determinista com distribuição de probabilidade triangular).

Tabela 5.10: Sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.2 (fluxo de caixa não determinista com MGB).

Sequência de Implantação	Média VPL (\$ 1.000)	Ganho Médio (%)
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$	1.715	100
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$	1.633	95
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow AE3 \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$	1.621	94
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow AE2 \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow E$	1.610	94
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow E$	1.610	94
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow E$	1.608	94
$AE3 \rightarrow F \rightarrow AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$	1.607	94
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow AE3 \rightarrow F$	1.581	92
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow E$	1.561	91
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow AE3 \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow E$	1.558	91
⋮	⋮	⋮

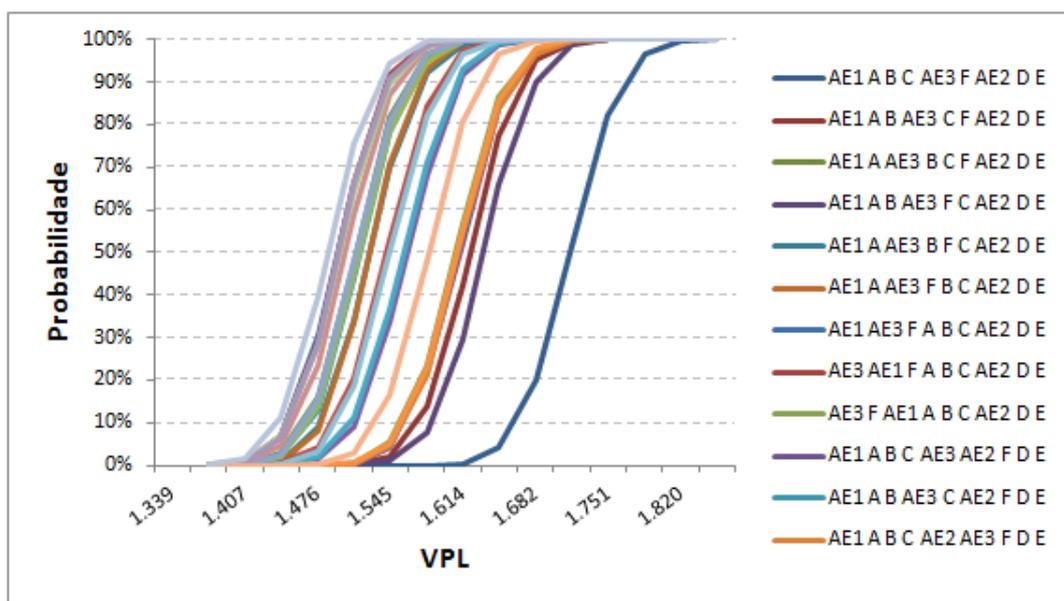


Figura 5.6: Distribuição de probabilidade acumulada do VPL das sequências obtidas para o projeto descrito na Figura 5.2 (fluxo de caixa não determinista com MGB).

5.3 Discussão dos Resultados

No início desta dissertação, nos propusemos a realizar uma avaliação empírica da eficácia da principal heurística de agendamento do MFI, isto é, a heurística WLA. A seguir, discutimos os resultados dos experimentos realizados e suas implicações no gerenciamento de projetos de *software*.

A diferença entre as duas melhores sequências é significativa, do ponto de vista da tomada de decisão?

No caso do Modelo 1, a melhor sequência é a que apresenta um VPL de \$ 1.474K e a segunda é que apresenta um VPL de \$ 1.463K, ou seja, uma diferença de ganho de $1\% = 100\% - 99\%$. Do ponto de vista do tomador de decisão a diferença não é significativa e ele pode utilizar qualquer outro critério fora do critério financeiro para tomar a decisão. Em adição, a diferença de ganho para quaisquer das sequências apresentadas na Tabela 5.5 é de no máximo 5%.

No caso do Modelo 2, a melhor sequência é a que apresenta um VPL de \$ 1.740K e a segunda é que apresenta um VPL de \$ 1.739K, ou seja, uma diferença de ganho de 0,06%. Do ponto de vista do tomador de decisão a diferença não é significativa e ele pode utilizar qualquer outro critério fora do critério financeiro para tomar a decisão. Além disso, a diferença de ganho para quaisquer das 5 primeiras sequências apresentadas na Tabela 5.8 é menor que 6%, ou seja, qualquer uma das 5 sequências apresentadas na tabela podem ser utilizadas para implementação do projeto.

Se o tomador de decisão ficasse indeciso entre a escolha da sequência 1 ou a 2, qual seria o procedimento mais adequado para sua escolha?

No Modelo1, as sequências 1 e 2 têm em comum a subsequência $D \rightarrow A \rightarrow B$. Neste

caso, o tomador de decisão deveria se comprometer com $D \rightarrow A \rightarrow B$ e esperar até que essa subsequência termine para decidir entre as subsequências $C \rightarrow E$ ou $E \rightarrow C$, dependendo das condições de mercado.

No Modelo 2, as sequências 1 e 2 têm em comum a subsequência $AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$. Neste caso, o tomador de decisão deveria se comprometer com $AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$ e esperar até que essa subsequência termine para decidir entre as subsequências $AE3 \rightarrow F \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$ ou $AE2 \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow AE3 \rightarrow F$, dependendo das condições de mercado.

Portanto, nestes casos, a melhor política é se comprometer com a subsequência em comum até que possamos avaliar com precisão as condições de mercado para decidir como a implementação do projeto deverá terminar.

No caso do MGB, qual seria a política de condução a ser adotada?

Neste caso, em ambos os modelos, há presença de dominância probabilística das alternativas de sequência de implementação, onde no Modelo 1 a sequência $D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$ é a sequência dominante e no Modelo 2 a sequência $AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$ é a sequência dominante, porém, essa dominância é muito franca pois a diferença entre as sequências nos Modelos 1 e 2 é muito pequena. Em termos práticos, podem ser consideradas equivalentes. Sendo assim, devemos escolher um critério mais adequado para a tomada de decisão.

Se aplicarmos o *Princípio de Laplace*, a diferença entre o ganho propiciado pelos VPLs médio das sequências de implementação do Modelo 1 é de menos de 1%, conforme a Tabela 5.7. No Modelo 2 essa diferença é de 5%, conforme a Tabela 5.10. Quando comparamos as alternativas utilizando essa abordagem, podemos observar que a diferença ainda é muito pequena.

Podemos ainda utilizar o *Princípio de Savage* a fim de minimizar os riscos e escolher a alternativa que produz o menor arrependimento, onde no Modelo 1 é a alternativa $D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C$ e no Modelo 2 é a alternativa $AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$, conforme as Tabelas abaixo:

Tabela 5.11: Valor das alternativas do Modelo 1.

Sequência	Retorno Mínimo (\$ 1.000)	Retorno Máximo (\$ 1.000)
$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$	1.426	1.505
$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C$	1.404	1.494
$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow E$	1.415	1.471
$A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$	1.426	1.482
Máximo	1.426	1.505

Tabela 5.12: Arrependimento máximo do Modelo 1.

Sequência	Retorno Mínimo (\$ 1.000)	Retorno Máximo (\$ 1.000)
$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$	0 = 1.426 - 1.426	0 = 1.505 - 1.505
$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C$	22 = 1.426 - 1.404	11 = 1.505 - 1.494
$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow E$	11 = 1.426 - 1.415	34 = 1.505 - 1.471
$A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$	0 = 1.426 - 1.426	23 = 1.505 - 1.482
Máximo	22	34

Tabela 5.13: Valor das alternativas do Modelo 2.

Sequência	Retorno Mínimo (\$ 1.000)	Retorno Máximo (\$ 1.000)
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$	1.510	1.819
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow AE3 \rightarrow F \rightarrow C \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$	1.510	1.751
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow AE3 \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow AE2 \rightarrow D \rightarrow E$	1.544	1.716
$AE1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow AE3 \rightarrow AE2 \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow E$	1.544	1.682
Máximo	1.544	1.819

Tabela 5.14: Arrependimento máximo do Modelo 2.

Sequência	Retorno Mínimo (\$ 1.000)	Retorno Máximo (\$ 1.000)
<i>AE1</i> → <i>A</i> → <i>B</i> → <i>C</i> → <i>AE3</i> → <i>F</i> → <i>AE2</i> → <i>D</i> → <i>E</i>	34 = 1.544 - 1.510	0 = 1.819 - 1.819
<i>AE1</i> → <i>A</i> → <i>B</i> → <i>AE3</i> → <i>F</i> → <i>C</i> → <i>AE2</i> → <i>D</i> → <i>E</i>	34 = 1.544 - 1.510	68 = 1.819 - 1.751
<i>AE1</i> → <i>A</i> → <i>B</i> → <i>AE3</i> → <i>C</i> → <i>F</i> → <i>AE2</i> → <i>D</i> → <i>E</i>	0 = 1.544 - 1.544	103 = 1.819 - 1.716
<i>AE1</i> → <i>A</i> → <i>B</i> → <i>C</i> → <i>AE3</i> → <i>AE2</i> → <i>F</i> → <i>D</i> → <i>E</i>	0 = 1.544 - 1.544	137 = 1.819 - 1.682
Máximo	34	137

Observe que no Modelo 1, a diferença entre o maior arrependimento mínimo propiciado pela melhor e pela segunda melhor alternativa é de apenas \$ 11K = 22K-11K, que representa apenas $0,75\% = \frac{11K}{1.462K}$ do valor do VPL médio da melhor sequência. Em relação ao Modelo 2, essa diferença é zero.

Observe que mesmo com o uso de um critério de decisão sofisticado como o de Savage os arrependimentos mínimos propiciados pelas primeiras e segundas sequências são muito próximas. Note que a mesma linha de raciocínio pode ser aplicada para as terceiras melhores sequências. Portanto, para efeitos práticos, tanto as primeiras quanto as segundas e terceiras sequências de implementação dos exemplos apresentados nessa dissertação poderiam ser escolhidas pelo tomador de decisão.

5.3.1 Conclusões do experimento

Os resultados mostram que não foram encontrados apenas uma sequência claramente vencedora nos experimentos realizados no corpo dessa dissertação. Portanto, mais pesquisas precisam ser realizadas para identificar outros critérios para a tomada de decisão em ambientes que utilizam os princípios do MFI.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusão

Desde que foi apresentado à comunidade de engenharia de software em 2003, o Método de Financiamento Incremental (MFI) tem encontrado muitos adeptos entre pesquisadores e profissionais ligados à área de desenvolvimento de sistemas de informação.

De fácil compreensão e aplicação, o MFI tem sido utilizado em diversos projetos de sistema de informação, especialmente entre aqueles que utilizam o conjunto de valores e práticas propiciadas pelas metodologias ágeis como paradigma de desenvolvimento de software. Conseqüentemente, um grande número de artigos e estudos de caso surgiram na Internet. Uma busca no *Google scholar* pode comprovar esta afirmação. Muitos desses trabalhos propõem métodos voltados para o desenvolvimento de sistemas de informação que são baseados, ainda que parcialmente, nas ideias que deram origem ao MFI (KRUCHTEN, 2010; POW-SANG et al., 2008, 2009; KUKREJA et al., 2012; TAVEIRA et al., 2011; KUKREJA; BOEHM, 2013).

Entretanto, nem sempre é o caso que o MFI, conforme descrito em (DENNE; CLELAND-HUANG, 2003) e (DENNE; CLELAND-HUANG, 2004a), apresenta resultados consistentes. Em decorrência, os acertos e falhas do MFI tendem a se propagar nos métodos que são baseados nos mesmos princípios.

Nesta dissertação analisamos os acertos e as falhas do MFI com o intuito de alertar a comunidade de desenvolvedores de sistema de informações para as limitações do método (assim como de seus algoritmos de agendamento) e de incentivar pesquisas que possam aumentar o número de situações nas quais o MFI e os métodos baseados em ideias semelhantes possam ser utilizados com sucesso. Um sumário desses acertos e falhas pode ser encontrado nas Tabelas 6.1 e 6.2.

Tabela 6.1: Sumário dos acertos do MFI e suas consequências.

#	Acertos	Consequências
1	Contribui para que a disciplina financeira seja incorporada ao desenvolvimento de sistemas de informação.	Faz com que a visão do investidor passe a integrar o processo de desenvolvimento de software e torna os sistemas de informação um elemento importante na concepção e implementação das estratégias de negócio.
2	Divide a construção de um sistema de informação em módulos que tenham valor para o negócio.	Favorece a apropriação antecipada dos benefícios produzidos por uma grande variedade de projetos de sistemas de informação.
3	Fornece orientações sobre como identificar os módulos mais valiosos do sistema de informação.	Facilita o planejamento e a gestão daquilo que deve ser realizado.
4	Fornece orientações sobre como organizar o desenvolvimento de forma a maximizar o valor do sistema para os negócios.	Facilita ainda mais a apropriação antecipada dos benefícios propiciados pelo sistema de informação.
5	Requer cálculos fáceis que podem se realizados com o auxílio de uma planilha eletrônica.	Facilita a adoção dos princípios do MFI por desenvolvedores de software.

Tabela 6.2: Sumário das falhas do MFI e suas consequências.

#	Falhas	Consequências		
1	Não leva em consideração as incertezas sobre o valor futuro dos elementos do fluxo de caixa.	Como o futuro é incerto por natureza, o MFI deixa de retratar o mundo como ele realmente é.		
2	Não contempla os casos em que é mais lucrativo não se construir todos os módulos de um projeto de sistema de informação.	Como no mundo real, muitos projetos são desenvolvidos apenas parcialmente, isso limita o tipo de projeto no qual o MFI pode ser empregado com sucesso.	
3	Não faz nenhuma previsão para o possível adiamento do desenvolvimento dos módulos.	Uma vez que no mundo real muitos projetos são adiados voltando a ser executado mais tarde, ...		
4	Não leva em consideração os benefícios intangíveis propiciados pelo desenvolvimento de sistema de informação.	Dado que muitos projetos propiciam tanto benefícios tangíveis quanto intangíveis, ...		
5	Para serem executados em tempo polinomial, os algoritmos de agendamento SLA e WLA exigem que cada módulo tenha, no máximo, um predecessor.	Contudo é muito comum que um módulo possa ter mais de um predecessor, ...		
6	A exceção do algoritmo força bruta (que exige um esforço exponencial) todos os demais algoritmos de escalonamento (que exigem um esforço linear) são aproximativos, sem oferecerem uma estimativa do erro cometido.	Entretanto, se você deseja obter uma resposta do MFI em tempo polinomial, você não saberá quão distante da solução ótima a solução do MFI se encontra, ...		
7	O MFI não leva em consideração as ações da concorrência.	Porém, a maioria dos mercados é competitivo, possuindo vários fornecedores que oferecem produtos e serviços similares, ...		
8	Os experimentos empíricos revelam que quando os valores dos elementos de fluxo de caixa são próximos e as incertezas são grandes é difícil identificar com precisão a sequência que propicia o maior retorno para os investimentos.	Isso faz com que o método seja mais adequado para uso em situações em que existam poucas incertezas sobre os elementos de fluxo de caixa, que são raras. Ver Seção 5.3.		

6.2 Trabalhos Futuros

Apesar de todas as melhorias propostas nestes últimos anos, ainda existem áreas onde o MFI é incapaz de produzir resultados consistentes.

Por exemplo, quando o sistema de informação a ser desenvolvido está relacionado à criação ou a melhoria de serviços públicos, tais como: habitação, saúde e polícia, é altamente improvável que o VPL seja o único indicativo de performance que deveria ser usado para determinar a melhor ordem de implementação dos módulos.

Muito provavelmente, o impacto ecológico do projeto, a sua sustentabilidade econômica, a efetividade da solução proposta, o impacto esperado no crescimento econômico e a diminuição da burocracia, entre outros, tendem a desempenhar um papel importante na decisão do que vale a pena desenvolver primeiro (ANDREWS, 2010).

Ao deixar de considerar indicadores de performance que são importantes para os contribuintes, o executivo e os membros do legislativo no Método de Financiamento Incremental, Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005) permitiram que o MFI se tornasse menos atraente para um dos maiores investidores em tecnologia da informação do mercado, ou seja: o governo.

Para Peter Drucker (1909-2005), o renomado filósofo e economista austríaco, o objetivo da estratégia não é eliminar o risco do negócio, mas permitir que os gestores assumam os riscos corretos (DRUCKER, 2008). Contudo as ideias que estabelecem a base conceitual do MFI, isto é, maximizar o VPL de um conjunto interconectado de módulos, tem dificultado o alinhamento do método com qualquer objetivo estratégico que não seja o de gerar ganhos financeiros o mais rápido possível.

Já que nem sempre é o caso de que gerar receita rapidamente constitui uma estratégia sólida para os negócios, é possível, e às vezes muito provável, que ao utilizar o MFI como ele está estruturado hoje, alguém possa estar fazendo com eficiência o que não deveria ser feito em primeiro lugar (PORTER, 2008).

Embora tanto Denne quanto Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005) defendam o uso de VPL como o único indicador financeiro que deveria ser levado em consideração ao maximizar o valor do negócio de um projeto de sistema de informação, há muitos outros indicadores de cunho financeiros bem estabelecidos que são relevantes à avaliação do projeto, tais como: o ponto de equilíbrio, o retorno do investimento, o capital de investimento exigido pelo projeto e a taxa interna de retorno, entre outros (GÖTZE; NORTHCOTT; SCHUSTER, 2007).

Ao evitarem levar em consideração os indicadores financeiros mais comuns, Denne e Cleland-Huang (*op. cit.*) acabaram por restringir o número de projetos no qual o MFI é capaz de fornecer resultados consistentes. Por exemplo, é perfeitamente possível que o capital de investimento necessário para executar um projeto da forma como o MFI recomenda simplesmente não esteja disponível no momento. Além disso, pode ser o caso em que não se tenham os recursos necessários para esperar pelo ponto de equilíbrio (instante de tempo onde o total das receitas se iguala ao total das despesas) (BORGONOVOA; GATTIB; PECCATIA, 2010).

Em ambas as circunstâncias seria importante que se pudessem estabelecer critérios de otimização que levem em consideração restrições não somente no capital para investimento e no ponto de equilíbrio, mas também em uma série de outros indicadores financeiros, antes de se realizar os investimentos necessários a execução de um projeto.

7 APÊNDICE

Nesta seção apresentaremos a ferramenta MMF Planner, onde foram implementados os algoritmos de agendamento do MFI. Visando uma maior portabilidade, a ferramenta MMF Planner foi inteiramente desenvolvida na plataforma Java. A linguagem Java, utilizada na plataforma Java é compilada para um *bytecode* que é executado por uma Máquina Virtual Java (JVM), ou seja, é o código compilado para uma forma intermediária de código que é interpretada pelas JVMs. Cada *opcode* tem o tamanho de um *byte*, daí o seu nome. Essa característica que faz com que os programas Java sejam independentes de plataforma, executando em qualquer sistema operacional que possua uma JVM (ORACLE, 2012). Os programas escritos em Java podem ser distribuídos através de um *Java Archive* (JAR). JAR é um arquivo compactado usado para distribuir um conjunto de classes compiladas Java.

Dessa forma, o único requisito para que a ferramenta seja executada é que o sistema operacional possua a JVM instalada. Todo o código do MMF Planner e suas dependências foram empacotados em um único JAR. Portanto, além de ser multiplataforma, a ferramenta MMF Planner tem uma execução muito simples, basta executar o arquivo JAR para iniciar a ferramenta.

7.1 O que é o MMF Planner?

Trata-se de um software livre para planejamento de projetos que se utiliza da Metodologia de Financiamento Incremental (MFI) apresentados por Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2003). Essa ferramenta não possui uma aplicação de instalação e se encontra disponível na Internet em (GYLTERUD et al., 2007), contendo todas as informações necessárias para os desenvolvedores realizarem modificações conforme a GNU *General Public License* na versão 2 (FREE SOFTWARE FOUNDATION, 1991).

7.2 Propriedades do Projeto

Para iniciar um novo projeto, selecione *New Project* no menu *File*, conforme a figura Figura 7.1.

A próxima tela solicitará as informações iniciais do projeto. Nesta tela são configuradas algumas propriedades do projeto, conforme a Figura 7.2. As informações solicitadas são:

- *Project name* - Nome do projeto que será simulado.
- *Number of periods* - Tempo de vida ou janela de oportunidade do projeto.
- *Interest rate (%)* - Taxa de desconto utilizada no projeto.
- *NPV sorting, concurrent developed MMFs* - A quantidade de MMCs a serem desenvolvidas simultaneamente.
- *All sequences* - Exibir todas as sequências possíveis.

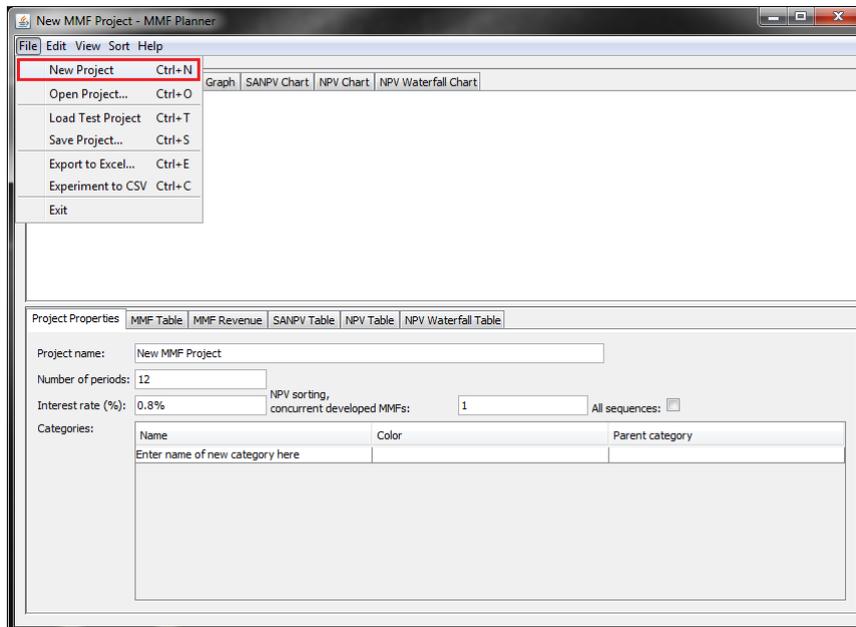


Figura 7.1: Tela para criação de um novo projeto.

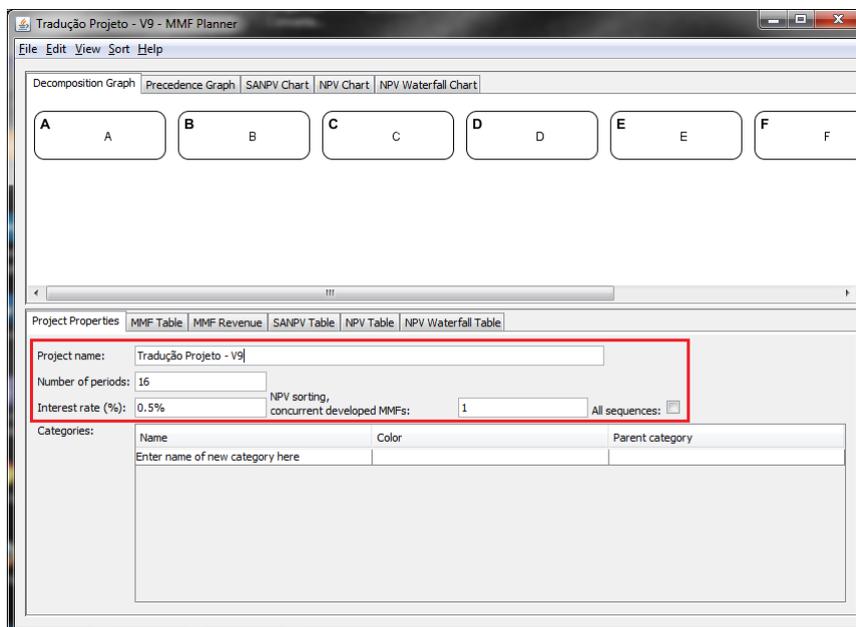


Figura 7.2: Tela de propriedades do projeto.

Para adicionar um MMC, selecione a aba **MMF Table**, clique sobre a próxima linha em branco na parte inferior da tabela e insira um nome para o MMC ou selecione o item **New MMF** no menu **Edit**, conforme a Figura 7.3.

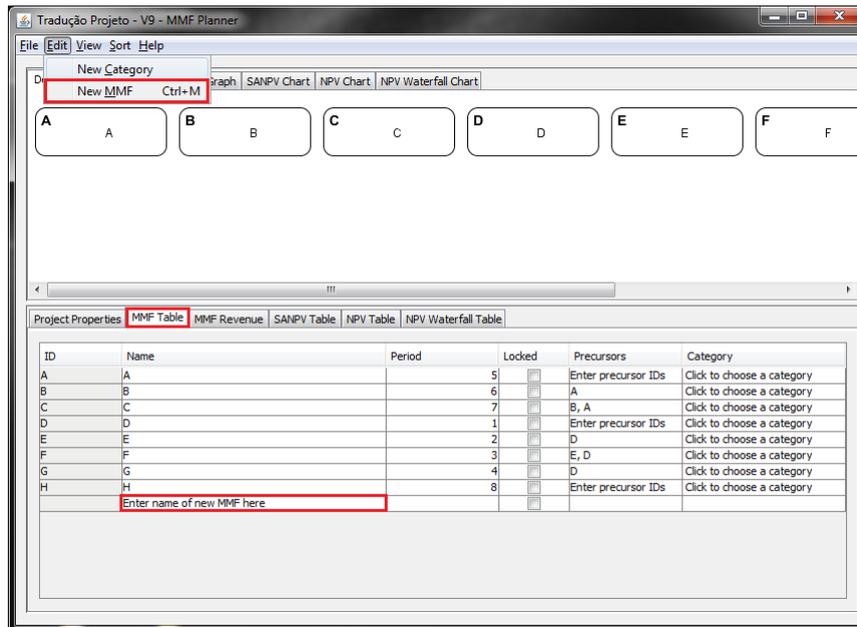


Figura 7.3: Tela de inserção das novas MMCs.

Opcionalmente, podemos especificar em que período se inicie o desenvolvimento do MMC e se o MMC pode ser bloqueado para esse período durante o sequenciamento da melhor ordenação ou se ele pode ser transferido para outros períodos para conseguir uma sequência mais ideal. Na coluna *Precursors*, da aba **MMF Table**, podemos especificar uma lista de IDs MMC separados por vírgula, em que o MMC depende. Ao adicionar os precursores, visualizaremos uma representação gráfica na guia **Precedence Graph**. Quando os precursores são inseridos, podemos usar o item **Precursor Sort** no menu **Sort** para reorganizar seus MMCs no gráfico de precedência, conforme a Figura 7.4.

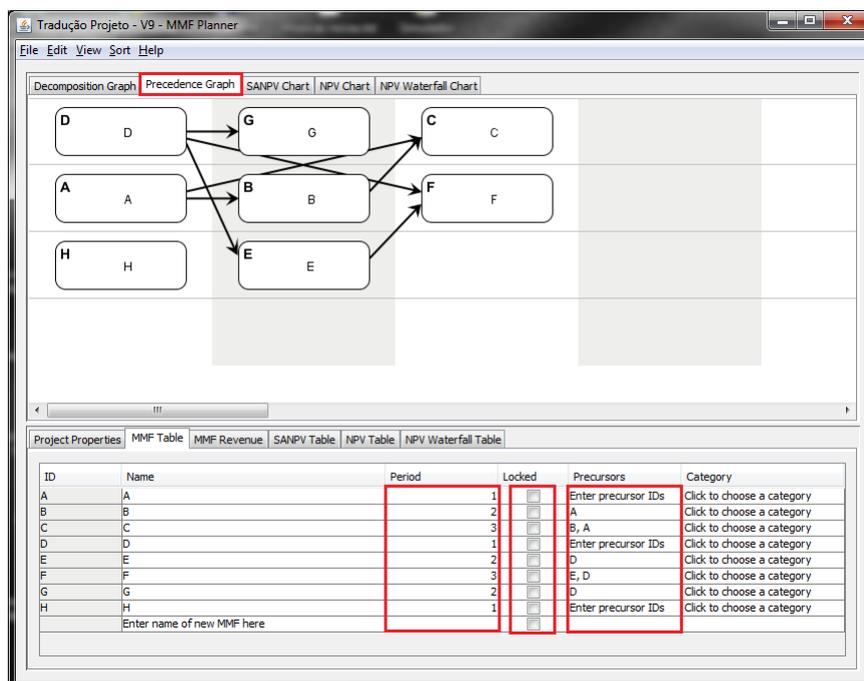


Figura 7.4: Tela de inserção das relações de precedência do projeto.

7.3 Fluxo de Caixa

Podemos observar na Figura 7.5 que após identificarmos seus MMCs e suas interdependências, é hora de colocar os valores econômicos sobre os MMCs. Isso é feito na guia **MMF Revenue**, inserindo inicialmente as despesas e suas eventuais receitas.

Para cada MMC há um número de colunas para inserir seus valores econômicos em lugares diferentes no tempo. O número de colunas é o mesmo número de períodos de projetos. Mas é importante notar que o nome da coluna "+2" não indica somente o período dois do projeto, mas o valor do MMC dois após o desenvolvimento do MMC iniciado, por isso o sinal da soma. Normalmente, as receitas de um MMC são negativas nos primeiros períodos, quando o desenvolvimento está ocorrendo. Quando o MMC é implantado e começa a ganhar dinheiro, direta ou indiretamente, através

de uma maior satisfação do cliente, o valor econômico é positivo.

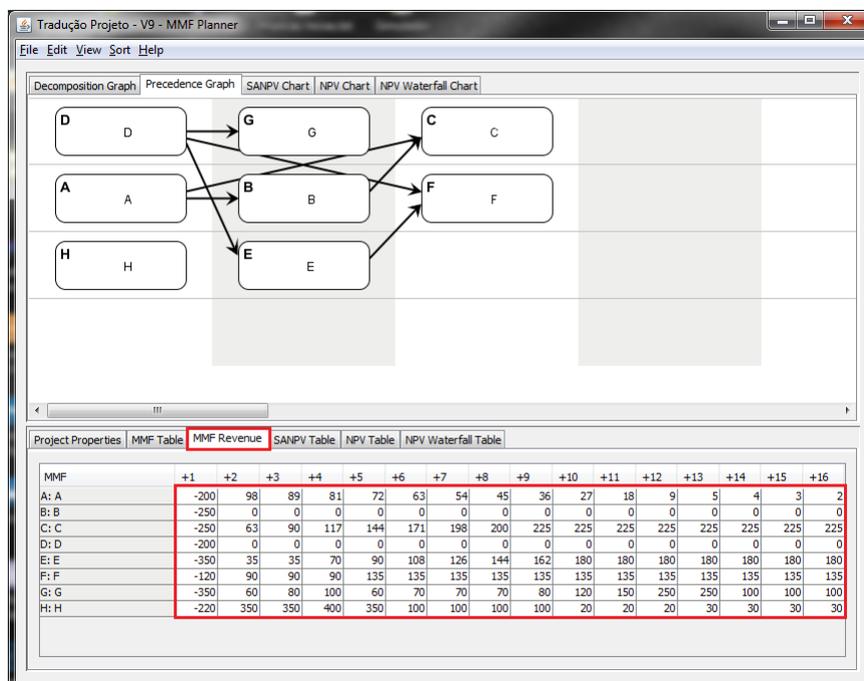


Figura 7.5: Tela de inserção dos valores econômicos do projeto.

7.4 Fluxo de Caixa Descontado

Quando o valor econômico de todos os MMCs são adicionados, os resultados podem ser vistos no gráfico SANPV da guia *SANPV Chart*, conforme a figura abaixo.

Um MMC que apresenta uma queda lentamente do seu valor ao longo do tempo, pode ser desenvolvido em um momento posterior, com quase o mesmo retorno sobre o investimento. Observe que o gráfico SANPV não leva em consideração as dependências entre os MMCs, de modo que a priorização do MMC não pode se basear exclusivamente sobre este gráfico.

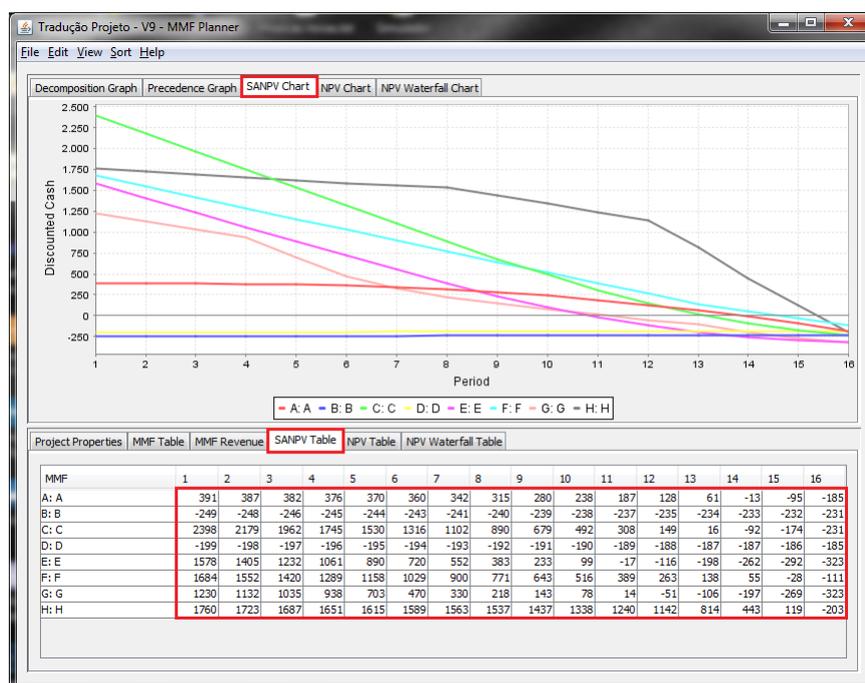


Figura 7.6: Tela para exibição do fluxo de caixa descontado do projeto.

7.5 Resultado Ótimo

Com base em todos os dados inseridos, o MMF Planner pode calcular a melhor ordenação de MMCs. A Melhor ordenação é a que lhe dá o maior VPL, tendo todas as restrições, como bloqueio do MMC para períodos específicos e as interdependências entre MMCs, em consideração.

Para calcular a melhor ordenação, selecione *Brute Force Approach* no menu *Sort*. Uma nova janela será exibida com as melhores ordenações encontradas e uma barra de progresso, conforme a Figura 7.7. Se o projeto contém mais de 11-12 MMCs, os cálculos podem levar algum tempo, como pode ser visto na barra de progresso. Caso contrário, podemos pressionar *Abort* para interromper.

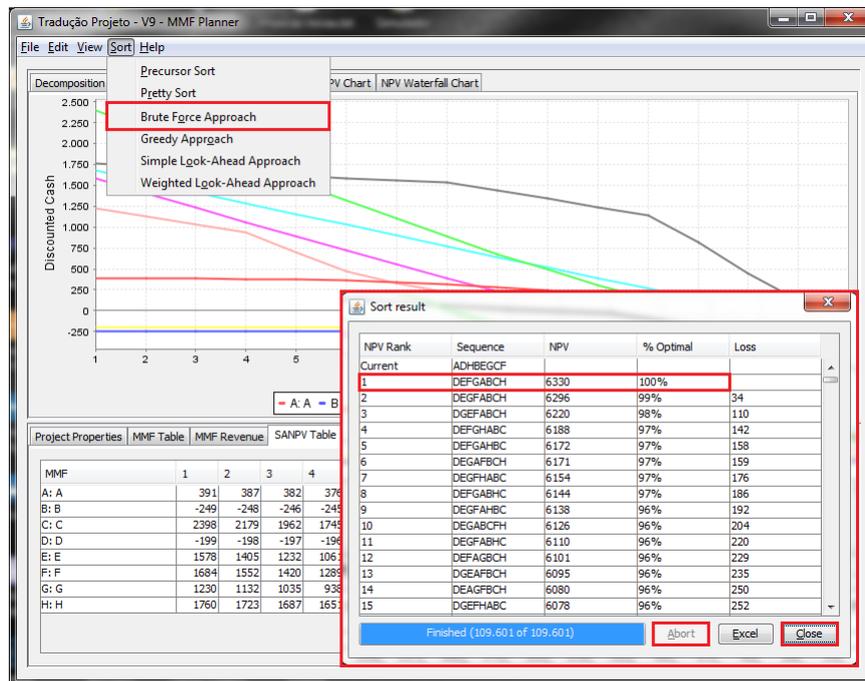


Figura 7.7: Tela para execução do resultado ótimo do projeto.

Quando selecionamos uma ordenação da lista, o gráfico de precedência será imediatamente atualizado com a nova ordem. Podemos verificar inúmeras ordenações, e também selecionar a ordenação original selecionando o atual no topo da lista. Quando estiver satisfeito com o resultado, pressione *Close* para fechar.

7.6 Heurísticas do MFI

Para calcularmos a melhor ordenação utilizando as heurísticas descritas por Denne e Cleland-Huang (DENNE; CLELAND-HUANG, 2005) no livro *Software By Numbers* e disponíveis na ferramenta, selecione o item desejado no menu **Sort**, conforme a figura abaixo:

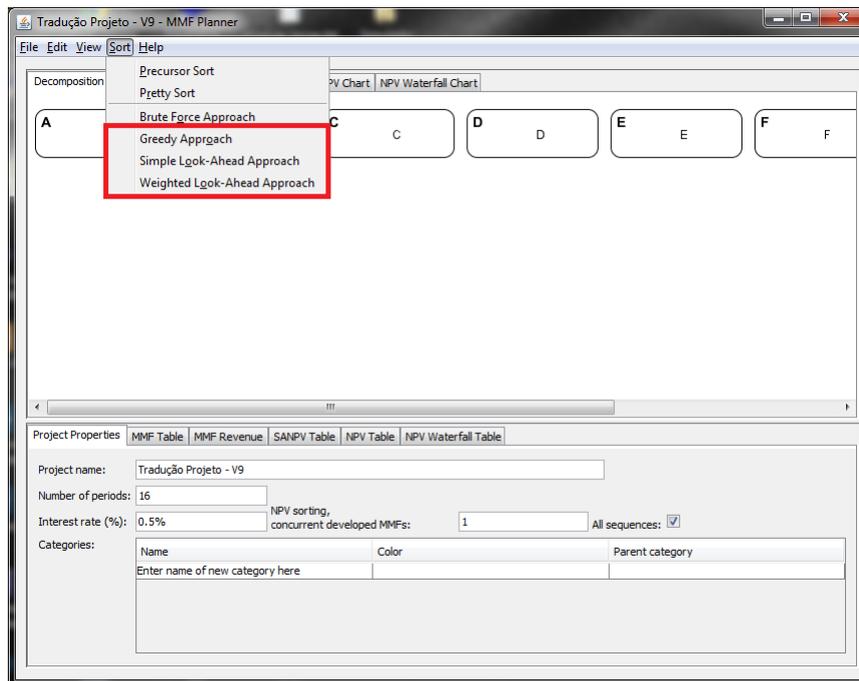


Figura 7.8: Tela para execução das heurísticas do projeto.

7.7 Avaliação do Projeto

Finalmente, quando todos os dados estiverem disponíveis e caso queiramos encomendar o desenvolvimento do projeto, é hora de olhar para as possibilidades econômicas do projeto e fazer essas duas perguntas:

- É rentável?
- Deve ser executado?

A guia *NPV Chart*, mostra o valor presente líquido (VPL) traçado ao longo do tempo, conforme a Figura 7.9

No gráfico, os pontos de auto-sustentação e de equilíbrio são marcados. Idealmente, o ponto de auto-sustentação deve ser o mais próximo possível de zero, pois este marca o investimento máximo necessário durante o projeto, enquanto o ponto de equilíbrio deve ser próximo ao início do projeto, pois marca o ganho do dinheiro o mais cedo possível.

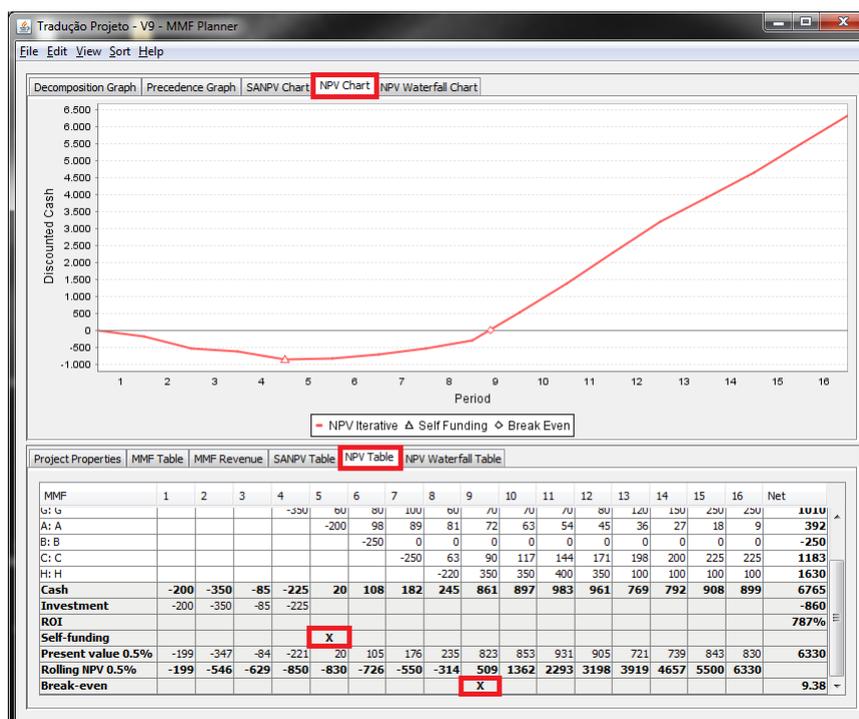


Figura 7.9: Tela para avaliação do projeto.

REFERÊNCIAS

ADZIC, G. Agile product management using Effect Maps. **Agile Record**, [S.l.], v.6, p.6–12, April 2011.

ALENCAR, A. J.; ABREU, E. P. de; SCHMITZ, E. A. Maximizing the Business Value of Software Projects: a branch & bound approach. In: ICEIS, 10., 2008, Barcelona, Spain. **Anais...** INSTICC, 2008. v.1, p.200–206.

ALENCAR, A. J.; JUNIOR, J. V. D.; SCHMITZ, E. A.; CORREA, A. L. On the Merits and Pitfalls of the Incremental Funding Method and its Software Project Scheduling Algorithms. **Communications in Computer and Information Science**, [S.l.], v.0292, p.493–502, 2012.

ALENCAR, A. J.; JUNIOR, J. V. D.; SCHMITZ, E. A.; CORREA, A. L. Analysing the Incremental Funding Method and its Software Project Scheduling Algorithms. **International Journal of Information Processing**, [S.l.], v.1, 2013. ACEITO PARA PUBLICAÇÃO.

ALENCAR, A. J.; NASCIMENTO, R. A. do; SCHMITZ, E. A.; CORREA, A. L.; DIAS, A. F. S. Unleashing the Potential Impact of Nonessential Self-contained Software Units and Flexible Precedence Relations upon the Value of Software. **Journal of Software**, [S.l.], v.7, n.1, 2012. *Accepted for publication.*

ALENCAR, A. J.; SCHMITZ, E. A. **Análise de Risco para Gerência de Projetos**. [S.l.]: BRASPORT, 2010.

ANDREWS, M. Good Government Means Different Things in Different Countries. **Governance**, [S.l.], v.23, n.1, p.7–35, 2010.

AURUM, A.; WOHLIN, C. **Value-based Software Engineering**. AURUM, A.; BOEHM, B.; ERDOGAN, H.; GRÜNBACHER, P.; BIFFL, S. (Ed.). [S.l.]: Springer Verlag, 2005. p.179–196. Chapter: Criteria for Selecting Software Requirements to Create Product Value: An Industrial Empirical Study.

BALIC, M.; OTTERSTEN, I. **Effect Managing IT**. [S.l.]: Copenhagen Business School, 2007.

BARBOSA, B. P.; SCHMITZ, E. A.; ALENCAR, A. J. Generating Software-Project Investment Policies in an Uncertain Environment. In: IEEE SIEDS, 2008, Charlottesville, Virginia, USA. **Anais. . .** IEEE Press, 2008. v.1, p.30–35.

BENSON, R. J.; BUGNITZ, T.; WALTON, B. **From Business Strategy to IT Action: right decisions for a better bottom line**. [S.l.]: Wiley, 2004.

BERTA, M.; CHRISTANDL, M.; COLBECK, R.; RENES, J. M.; RENNER, R. The uncertainty principle in the presence of quantum memory. **Nature Physics**, [S.l.], v.6, n.9, p.659–662, September 2010.

BHATTA, G.; EMDADA, A.; ROBERTS, N.; GROVERC, V. Building and leveraging information in dynamic environments: the role of it infrastructure flexibility as enabler of organizational responsiveness and competitive advantage. **Information & Management**, [S.l.], v.47, n.7-8, p.341–349, December 2010.

BORGONOVOA, E.; GATTIB, S.; PECCATIA, L. What drives value creation in investment projects? An application of sensitivity analysis to project finance transactions. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v.205, n.1, p.227–236, August 2010.

- CHANG, C. K.; HUA, S.; CLELAND-HUANG, J.; KUNTZMANN-CONBELLES, A. Function-Class Decomposition. **IEEE Computer**, [S.l.], v.34, n.12, p.87–93, December 2001.
- CHERRY, T. L.; KROLL, S.; SHOGREN, J. **Environmental Economics, Experimental Methods (Routledge Explorations in Environmental Economics)**. [S.l.]: Routledge, 2007.
- DAGUM, E. B.; CHOLETTE, P. A. **Benchmarking, Temporal Distribution, and Reconciliation Methods for Time Series**. [S.l.]: Springer, 2006.
- DENNE, M.; CLELAND-HUANG, J. **Software by Numbers: low-risk, high-return development**. 1st.ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2003.
- DENNE, M.; CLELAND-HUANG, J. The Incremental Funding Method: data-driven software development. **Software, IEEE**, [S.l.], v.21, n.3, p.39–47, 2004.
- DENNE, M.; CLELAND-HUANG, J. **IFM Software Tool**. 2004.
- DENNE, M.; CLELAND-HUANG, J. Financially Informed Requirements Prioritization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING (ICSE), 27., 2005, St. Louis, Missouri, USA. **Proceedings...** ACM Press, 2005. p.710–711.
- DIXIT, R. K.; PINDYCK, R. S. **Investment under Uncertainty**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, Edition Kindle, 2012.
- DOLCI, P. C.; MACADA, A. C. G.; BECKER, J. L. IT Investment Management using the Real Options and Portfolio Management Approaches. In: AMCIS, 2010, Lima, Peru. **Anais...** AIS Electronic Library, 2010. p.Paper 370.
- DRUCKER, P. F. **The Essential Drucker**. [S.l.]: Harper, 2008.
- ERDOGMUS, H. Comparative evaluation of software development strategies based on Net Present Value. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE

ENGINEERING WORKSHOP ON ECONOMICS-DRIVEN SOFTWARE ENGINEERING, 1999. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1999. p.10–15.

FAULK, S. R.; HARMON, R. R.; RAFFO, D. M. Value-based Software Engineering (VBSE): a value-driven approach to product-line engineering. In: FIRST CONFERENCE ON SOFTWARE PRODUCT LINES, 2000. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2000. p.205–223.

FAVARO, J. M.; FAVARO, K. R.; FAVARO, P. F. Value based software reuse investment. **Annals of Software Engineering**, [S.l.], v.5, n.1, p.5–52, 1998.

FERNANDES, M. C.; ALENCAR, A. J.; SCHMITZ, E. A.; ALVES, C. H.; FERREIRA, A. L. A Multicriteria Approach to the XP Release Plan that Maximizes Business Performance in Uncertain Environments. In: IEEE SIEDS, 2008, Charlottesville, Virginia, USA. **Anais...** IEEE Press, 2008. v.1, p.30–35.

FISCHER, H. **A History of the Central Limit Theorem From Classical to Modern Probability Theory**. Springer: Springer, 2011.

FORGIONNE, G. A. **Quantitative Management**. Dryden Press, Chicago: Dryden Press, 1990.

FREE SOFTWARE FOUNDATION, I. **GNU General Public License**. Copyright (C) 1989, 1991 Free Software Foundation, Inc. 675 Mass Ave, Cambridge, MA 02139, USA, Information available in the Internet at <http://www.gnu.org/licenses/gpl-2.0.html>. Site last visited on October 13st, 2012.

GÖTZE, U.; NORTHCOTT, D.; SCHUSTER, P. **Investment Appraisal: methods and models**. [S.l.]: Springer, 2007.

GROPPELLI, A. A.; NIKBAKHT, E. **Finance**. 5th.ed. [S.l.]: Barron, 2006.

GYLTERUD, S.; JODAL, S. M.; KNUTSEN, J.; OTTESEN, E. B.; TARALDSET, R. B. **MMF Planner**. [S.l.: s.n.], 2007. Customer Driven Project at the Norwe-

gian University of Science and Technology. Information available in the Internet at <https://github.com/jodal/mmfplanner>. Site last visited on May 31st, 2011.

HARMAN, M. The Current State and Future of Search Based Software Engineering. In: FUTURE OF SOFTWARE ENGINEERING(FOSE'07), 2007., 2007, Minneapolis, MN, USA. **Proceedings...** IEEE Computer Society, 2007. p.342–357.

HEISENBERG, W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. **Zeitschrift für Physik**, [S.l.], v.43, n.3-4, p.172–198, 1927. (In English: "On the Perceptual Content of Quantum Theoretical Kinematics and Mechanics").

HOLLOWAY, C. A. **Decision Making Under Uncertainty: models and choices**. Prentice-Hall, New Jersey: Prentice-Hall, 1979.

KRUCHTEN, P. Software architecture and agile software development: a clash of two cultures? **Software Engineering, 2010 ACM/IEEE 32nd International Conference**, [S.l.], v.2, n.12340911, p.497–498, 2010.

KUKREJA, N.; BOEHM, B. Integrating Collaborative Requirements Negotiation and Prioritization Processes: a match made in heaven. In: THE PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE AND SYSTEMS PROCESS (ICSSP), 2013, San Francisco, CA, USA. **Anais...** ICSSP, 2013.

KUKREJA, N.; PAYYAVULA, S. S.; BOEHM, B.; PADMANABHUNI, S. Selecting an appropriate framework for value-based requirements prioritization. **Requirements Engineering Conference (RE), 2012 20th IEEE International**, [S.l.], n.13117554, p.303–308, 2012.

LINDLEY, D. **Uncertainty: einstein, heisenberg, bohr, and the struggle for the soul of science**. [S.l.]: Anchor, 2008.

LITTLE, T. Value Creation and Capture: a model of the software development process. **IEEE Software**, [S.l.], p.48–53, May/June 2004.

ORACLE. **The Java™ Tutorials**. Copyright © 1995, 2012 Oracle and/or its affiliates, Information available in the Internet at <http://docs.oracle.com/javase/tutorial/index.html>. Site last visited on October 18st, 2012.

PAVLOU, P. A.; SAWY, O. A. E. The “Third Hand”: IT-enabled competitive advantage in turbulence through improvisational capabilities. **Information Systems Research**, [S.l.], v.21, n.3, p.443–471, September 2010.

POHL, K.; BÖCKLE, G.; LINDEN, F. J. van der. **Software Product Line Engineering: foundations, principles and techniques**. NY, USA: Springer, 2010.

PORTER, M. E. The five competitive forces that shape strategy. **Harvard Business Review**, [S.l.], v.86, n.1, p.78–93, 2008.

POTTS, M. **Corporate Boards: managers of risk, sources of risk**. KOLB, R. W.; SCHWARTZ, D. (Ed.). [S.l.]: Blackwell Publishing, 2009. p.55–69.

POW-SANG, J. A.; NAKASONE, A.; IMBERT, R.; MORENO, A. M. An Approach to Determine Software Requirement Construction Sequences Based on Use Cases. **Advanced Software Engineering and Its Applications**, [S.l.], v.2, n.10425677, p.17–22, 2008.

POW-SANG, J. A.; NAKASONE, A.; IMBERT, R.; MORENO, A. M. Evaluating the Applicability of a Use Case Precedence Diagram Based Approach in Software Development Projects through a Controlled Experiment. **Communications in Computer and Information Science**, [S.l.], v.29, n.10425677, p.122–137, 2009.

ROKACH, L.; MAIMON, O. **Data Mining with Decision Trees: theory and applications**. [S.l.]: World Scientific Publishing Company, 2008.

RUBINSTEIN, R. Y.; KROESE, D. P. **Simulation and the Monte Carlo Method**. 2007.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, [S.l.], v.1, n.1, p.83–98, 2008.

SCHMITZ, E. A.; ALENCAR, A. J.; AZEVEDO, C. M. de. Defining the Implementation Order of Software Projects in Uncertain Environments. In: ICEIS, 10., 2008, Barcelona, Spain. **Anais. . . INSTICC**, 2008. v.1, p.100–105.

STEINDL, C. From Agile Software Development to Agile Businesses. In: EUROMICRO CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING AND ADVANCED APPLICATIONS, 31., 2005. **Proceedings. . . IEEE Computer Society**, 2005. p.258–265.

SWEDIN, E. G.; FERRO, D. L. **Computers: the life story of a technology**. [S.l.]: The Johns Hopkins University Press, 2007.

SZANIAWSKI, A.; CHMIELEWSKI, A.; WOLENSKI, J. **On Science, Inference, Information and Decision-Making: selected essays in the philosophy of science**. [S.l.]: Springer, 2012.

SZOKE, A. Decision Support for Iteration Scheduling in Agile Environments. In: **Product-Focused Software Process Improvement**. [S.l.]: Springer, 2009. p.156–170. (Lecture Notes in Business Information Processing, v.32).

TAIPALE, M. Huitale - A Story of a Finnish Lean Startup. In: LNBIP 65, 2010. **Anais. . . Springer**, 2010. p.111–114.

TAVEIRA, G. V.; ALENCAR, A. J.; SCHMITZ, E. A.; DIAS, A.; CORREA, A. Maximizing the Financial Benefits Yielded by IT Projects While Ensuring their Strategic Fit. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING AND KNOWLEDGE ENGINEERING (SEKE), 22., 2011, Miami Beach, USA. **Anais. . . KSI**, 2011. p.90–100.

TRENDON, S. **Agility Across Time and Space**: implementing agile methods in global software projects. SMITE, D.; MOE, N. B.; ÅGERFALK, P. J. (Ed.). [S.l.]: Springer, 2010. p.47–70.

VALENTE, P. **Goals Software Construction Process**. [S.l.]: VDM Verlag, 2009.