

MODELAGEM DE PROCESSOS DE NEGÓCIO: EFEITO DO MÉTODO  
DE NOTAÇÃO NO NÍVEL DE AMBIGUIDADE

**ANTÔNIO EDUARDO CARVALHO E SILVA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF

Campos dos Goytacazes/RJ  
Setembro – 2014



**MODELAGEM DE PROCESSOS DE NEGÓCIO: EFEITO DO MÉTODO  
DE NOTAÇÃO NO NÍVEL DE AMBIGUIDADE**

**ANTÔNIO EDUARDO CARVALHO E SILVA**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Professor Doutor Rogério Atem de Carvalho

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF

Campos dos Goytacazes/RJ  
Setembro – 2014

MODELAGEM DE PROCESSOS DE NEGÓCIO: EFEITO DO MÉTODO  
DE NOTAÇÃO NO NÍVEL DE AMBIGUIDADE

**ANTÔNIO EDUARDO CARVALHO E SILVA**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em 1º de Agosto de 2014

Comissão Examinadora:

---

Prof. Manoel Antonio Molina Palma (Doutor, Administração) - UENF

---

Prof. José Ramon Arica Chavez (Doutor, Engenharia de Sistemas e Computação) - UENF

---

Prof. Luiz Gustavo Lourenço Moura (Doutor, Engenharia de Sistemas e Computação) - IFF

---

Prof. Rogério Atem de Carvalho (Doutor, Ciências de Engenharia) – UENF  
Orientador

## **Agradecimentos**

À minha mãe Marilza por ter me incentivado nos estudos. Ao meu pai Cláudio por ter me apoiado e me ouvido em momentos críticos. À minha irmã Beatriz por ter seguido na frente, me fazendo acreditar.

À minha esposa Juliana por segurar a barra do dia-a-dia para construirmos juntos nosso futuro cada vez mais presente. Ao meu sogro Jorge por ter dado o suporte para viabilizar mais esta conquista. À minha sogra Marli por ter sido tão atenciosa. Ao meu cunhado Eduardo pelo forte espírito de cooperação e tranquilidade nos momentos difíceis. À minha cunhada Sabrina e ao meu amigo Rafael por também terem me incentivado e me dado o meu primeiro sobrinho, o Pedro.

Ao meu professor e orientador Dr. Rogério Atem de Carvalho por seu entusiasmo pela pesquisa, por acreditar nas pessoas e por ter sido o responsável pelo meu ingresso no mundo das pesquisas científicas e tecnológicas. Ao meu amigo Hudson Silva Ferreira pela sua valorosa contribuição que elevou o nível deste e de outros trabalhos.

Aos professores Dr. Jose Ramón Arica Chávez, Dr. Manuel Antonio Molina Palma e Dr. Luiz Gustavo Lourenço Moura pela atenção e dedicação na avaliação e contribuição para este trabalho. Aos senhores dedico meus votos de estima e consideração.

À todos os alunos dos cursos de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas e bacharelado em Sistemas de Informação do ano letivo 2013/2014 do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense que fizeram parte deste estudo e gentilmente disponibilizaram seu tempo e dedicação como sujeitos desta pesquisa.

Aos professores que criaram condições favoráveis para a coleta de dados em meio à rotina de aulas.

*Para que servem as palavras?*

(Terence)

## RESUMO

A proposta deste estudo de caráter experimental foi analisar a especificação de requisitos funcionais. Foram avaliados os possíveis impactos do método de notação de modelagem de processo no nível de ambiguidade presente na especificação em linguagem natural. Os métodos de notação foram utilizados como um instrumento para manifestar as necessidades do usuário quanto ao processo de compra em aplicações de comércio eletrônico - caso de uso típico de Sistema de Informação Empresarial. A partir de um protótipo de baixa fidelidade, que representa o processo de compra numa loja virtual, estudantes de graduação foram motivados a utilizar diferentes métodos de notação para especificar os requisitos. Os métodos de notação utilizados foram: linguagem natural; máquina de estados finitos; e notação combinada. Há diversos tipos de ambiguidade reconhecidos na língua portuguesa, além de métricas distintas para avaliar a magnitude da ambiguidade. Nesta pesquisa foi utilizado o conceito que trata da ambiguidade como informações inconsistentes que levam à múltiplas interpretações do documento de especificação dos requisitos funcionais. Pela técnica de Leitura Baseada em Teste, associada à utilização da métrica de qualidade apropriada, foi conduzida uma análise de variância de fator único com delineamento completamente casualizado para saber se o método de notação, como fator primário, afeta o nível de ambiguidade de forma significativa, apesar da eventual existência de outros fatores intervenientes.

**PALAVRAS-CHAVE:** gestão de sistemas de produção; especificação de requisitos; nível de ambiguidade

## **ABSTRACT**

The aim of this experimental study was to analyse functional requirements specifications. Possible impacts of process modeling notation method in the ambiguity level of specifications using natural language specification were evaluated. Notation methods were used as tools to express the user's needs on regards the buying process in e-commerce application - typical Enterprise Information System use case. From a low fidelity prototype, which represents the purchasing process in a virtual store, undergraduate students were motivated to use different notation methods to specify the requirements. These were the notation methods used: natural language; finite state machine; and combined notation. There are several recognized ambiguity types in portuguese language and different metrics to assess the ambiguity magnitude. In this study, the ambiguity was considered as inconsistent information leading to multiple interpretations of functional requirement specification document. Through the use of the Test-Based Reading technique, associated with an appropriate quality metric, an one-way analysis of variance (completely randomized design) was conducted to know if the notation method, as a primary factor, affects significantly the ambiguity level, despite the possible existence of other intervening factors.

**KEYWORDS:** management of production systems; requirements specification; ambiguity level

## LISTA DE FIGURAS

Figura1: Exemplo de Máquina de Estados Finitos.....	29
Figura2: Exemplo de descrição do processo par/ímpar em notação combinada.....	30
Figura3: Protótipo de baixa fidelidade do processo de compra numa loja virtual: representação em grafo de uma Máquina de Estados Finitos – estudo-piloto.....	38
Figura4: Protótipo de baixa fidelidade do processo de compra numa loja virtual: representação em grafo de uma Máquina de Estados Finitos - estudo experimental. ....	41
Figura5: Descrição do processo de compra de uma loja virtual em notação combinada, utilizada como parâmetro de avaliação do grupo experimental GENC..	43
Figura6: Fluxograma das etapas de análise estatística.....	46
Figura7: Histograma de frequência relativa do nível de ambiguidade da especificação de requisitos; e gráfico quantil-quantil para análise residual – linha cheia: concentração de resíduos empíricos; linha pontilhada: concentração de resíduos teóricos da curva normal padrão.....	51
Figura8: Escala de Likert com questões críticas experimentadas na utilização da técnica LBT durante a rotina de análise dos dados do estudo-piloto.....	52
Figura9: Efeito do método de notação de modelagem de processo no nível de ambiguidade da especificação dos requisitos funcionais de sistemas de informação empresariais.....	54
Figura10: Histogramas de frequência relativa do nível de ambiguidade da especificação de requisitos; e gráficos quantil-quantil para análise residual – linha cheia: concentração de resíduos empíricos; linha pontilhada: concentração de resíduos teóricos da curva normal padrão.....	57
Figura11: Teste post-hoc de Tukey: comparação pareada do nível médio de ambiguidade.....	58
Figura12: Distribuição do nível de ambiguidade inter-grupo.....	59
Figura13: Escala de Likert com questões críticas experimentadas na utilização da técnica LBT durante a rotina de análise dos dados do estudo experimental.....	60
Figura14: Análise comparativa dos itens críticos experimentados durante a LBT no estudo-piloto e experimental.....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela1: Tabela de transição de estados: representação da notação MEF que caracteriza o processo.....	29
Tabela2: Requisitos do protótipo de baixa fidelidade representados pelas transições da notação MEF – estudo-piloto.....	39
Tabela3: Tabela de transição de estados: representação da notação MEF que caracteriza o processo de compra numa loja virtual – estudo-piloto.....	39
Tabela4: Procedimento experimental adotado na avaliação da especificação dos requisitos funcionais do sistema.....	40
Tabela5: Requisitos do protótipo de baixa fidelidade representados pelas transições da notação MEF – estudo experimental.....	42
Tabela6: Tabela de transição de estados: representação da notação MEF que caracteriza o processo de compra numa loja virtual – estudo experimental.....	42
Tabela7: Abordagens estatísticas previstas para o cumprimento dos pressupostos da Análise de Variância - ANOVA.....	45
Tabela8: Análise dos itens de Likert no estudo-piloto.....	52
Tabela 9: Resumo dos dados estatísticos observados.....	54
Tabela10: Resultado do teste de aderência de Shapiro-Wilk em cada um dos grupos experimentais. p*: comparação do p calculado com o nível de significância ( $\alpha = 0.05$ ); W*: comparação do W com W crítico.....	55
Tabela11: Teste post-hoc de Tukey: comparação pareada do nível médio de ambiguidade. p*: comparação do p calculado com o nível de significância ( $\alpha = 0.05$ ). .....	58
Tabela12: Análise dos itens de Likert no estudo experimental.....	60

## LISTA DE SIGLAS

ADI	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
AFD	Autômato Finito Determinístico
ANOVA	Análise de Variância
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DCC	Delineamento Completamente Casualizado
DOC	Desenvolvimento Orientado à Comportamento
DOLN	Desenvolvimento Orientado à Linguagem de Negócios
DOT	Desenvolvimento Orientado à Teste
GC	Grupo Controle
GEMEF	Grupo Experimental Máquina de Estados Finitos
GENC	Grupo Experimental Notação Combinada
IFF	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense
LBP	Leitura Baseada em Perspectivas
LBT	Leitura Baseada em Teste
LN	Linguagem Natural
MEF	Máquina de Estados Finitos
MLN	Modelo Lógico do Negócio
NC	Notação Combinada
PLN	Processamento de Linguagem Natural
SI	Sistema de Informação
SIE	Sistema de Informação Empresarial
SIGE	Sistema Integrado de Gestão Empresarial
TI	Tecnologia da Informação

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	<b>X</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	17
1.3.1 Objetivo geral.....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.4 JUSTIFICATIVA.....	18
<b>CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
2.1 TIPOS DE AMBIGUIDADE.....	21
2.1.1 Ambiguidade de âmbito.....	21
2.1.2 Ambiguidade léxica.....	21
2.1.3 Ambiguidade morfológica.....	22
2.1.4 Ambiguidade sintática ou estrutural.....	23
2.1.5 Ambiguidade predicativa.....	24
2.1.6 Ambiguidade semântica.....	24
2.1.7 Ambiguidade pragmática.....	25
2.2 MÉTODOS DE NOTAÇÃO PARA MODELAGEM DE PROCESSO DE NEGÓCIO.....	25
2.2.1 Linguagem natural.....	27
2.2.2 Máquina de estados finitos.....	28
2.2.3 Notação combinada.....	29
2.3 LEITURA BASEADA EM PERSPECTIVAS (LBP).....	31
2.3.1 Perspectivas.....	32
2.3.2 Cenários.....	33
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGIA</b> .....	<b>34</b>
3.1 VARIÁVEL DEPENDENTE.....	34
3.2 VARIÁVEL INDEPENDENTE.....	35

3.3 PROCEDIMENTO DO ESTUDO-PILOTO.....	37
3.4 PROCEDIMENTO DO ESTUDO EXPERIMENTAL.....	39
3.5 ATRIBUIÇÕES DO AVALIADOR.....	47
3.6 ATRIBUIÇÕES DO LEITOR-TESTADOR.....	48
3.7 HIPÓTESES SECUNDÁRIAS.....	48
<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
4.1 ESTUDO-PILOTO.....	50
4.1.1 Teste de Shapiro-Wilk.....	50
4.1.2 Análise residual.....	50
4.1.3 Escala de Likert.....	51
4.2 ESTUDO EXPERIMENTAL.....	53
4.2.1 Análise de Variância.....	53
4.2.2 Teste de Kruskal-Wallis.....	54
4.2.3 Teste de Levene.....	55
4.2.4 Teste de Shapiro-Wilk.....	55
4.2.5 Análise residual.....	56
4.2.6 Teste post-hoc de Tukey.....	58
4.2.7 Escala de Likert.....	59
<b>CAPÍTULO 5: DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>73</b>

## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização do problema

A gestão da produção não pode prescindir dos Sistemas de Informação (SI's) para suportar as operações e a tomada de decisões. No cerne desta questão está a forma como a informação é manipulada e apresentada para possibilitar o gerenciamento da organização (Slack *et al.*, 2006). Para obter vantagem competitiva, as organizações estão considerando cada vez mais os aspectos relativos à estratégia e planejamento. A associação do planejamento de recursos empresariais com o SI – o chamado sistema Enterprise Resource Planning (ERP) – é um exemplo de alinhamento do negócio com o propósito de melhorar a produtividade e proporcionar alguma vantagem competitiva. Este alinhamento depende do grau de integração entre o negócio e as estratégias de Tecnologia de Informação (TI) (Mishra, 2011). Uma ampla pesquisa realizada com 26.776 firmas no Brasil demonstrou que a adoção de TI no processo produtivo, contribui para o aumento da produtividade (Mendonça *et al.*, 2009).

Os sistemas ERP viabilizaram o alinhamento do processo de negócio com a lógica do processamento da informação dentro da organização. No entanto, para que as empresas possam ampliar sua participação de mercado, além de aprimorar a cadeia de valor intra-organizacional, é necessário disseminar a informação. Esta propagação requer um conceito de integração que ultrapassa as fronteiras da empresa. Carece de uma tecnologia *front end* capaz de alavancar o negócio. Neste cenário, o *e-business* surge como uma alternativa relevante. Seu pleno funcionamento requer a presença de uma sólida infra-estrutura de negócio baseada em Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) com o intuito de: gerar valor para o cliente; estabelecer relacionamentos com as partes interessadas; e explorar oportunidades estratégicas (Norris *et al.*, 2001).

A evolução do comércio eletrônico requer alguns estágios maturacionais para compor o ambiente de negócio: fornecimento de informação; realização de

transação; distribuição de produtos e serviços; e utilização de comunicação interativa. O último estágio mencionado é caracterizado pela interação entre as partes interessadas no processo, rompendo com o fornecimento unilateral de informação (Albertin; Moura, 2002; Albertin, 2012).

As necessidades dos consumidores têm um caráter dinâmico e precisam ser captadas prontamente para impulsionar os processos de transformação na esfera empresarial em pleno cenário de ascensão dos negócios pela *internet*. Os sistemas precisam ser flexíveis o bastante para possibilitar alterações contínuas no processo de negócio (Thirumaran *et al.*, 2012; Thirumaran *et al.*, 2011; Norris *et al.*, 2001).

A colaboração em projetos organizacionais é desafiadora. A engenharia de requisitos contribui para a redução dos equívocos que podem surgir no processo de comunicação. Neste contexto, a gerência precisa assegurar que os requisitos sejam administrados de forma satisfatória para evitar falhas. Deste modo, a especificação de requisitos deve ser testável, não-ambígua, completa e correta. Além disso, a equipe de desenvolvimento precisa implementar as funcionalidades especificadas nos requisitos, traduzindo-as em código para atender as necessidades do usuário. A linguagem é o ponto estratégico para tornar essas colaborações efetivas. Superar as barreiras linguísticas entre as etapas do processo produtivo é essencial para melhorar a qualidade do fluxo de conhecimento organizacional (Schnieder; Arndt, 2013; Lopes, 2008; Tonet; Paz, 2006; Jørgensen *et al.*, 2007).

Pelo modelo clássico do processo de desenvolvimento de sistemas, a especificação de requisitos é a definição de um sistema como um produto. Sua descrição deve ser reportada pelos representantes das partes interessadas (IEEE Std 830, 1998). O teor da especificação de requisitos funcionais consiste da declaração de serviços que o sistema deve fornecer e de como o sistema deve reagir à ações específicas (Sommerville, 2007b).

Independente da metodologia adotada para o desenvolvimento de sistemas, o fato é que a linguagem natural (LN), utilizada para especificar os requisitos, é passível de múltiplas interpretações, dificultando o fluxo do conhecimento entre as etapas do processo produtivo. Essa ambiguidade inerente à LN pode apresentar-se

de diversas formas, comprometendo a qualidade da comunicação entre as partes interessadas no projeto (Schnieder; Arndt, 2013; Tonet; Paz, 2006; Ceccato *et al.*, 2004; Silva, 2006; Bräscher, 2002).

Os erros na especificação de requisitos geram prejuízos, especialmente se forem identificados de forma tardia. Dessa forma, o trabalho da equipe de desenvolvimento, na fase de implementação, corre sérios riscos de produzir sistemas propensos à erros, como falhas, omissões e defeitos (Walia; Carver, 2009). Assim, é importante que haja um controle na especificação de requisitos com o intuito de evitar ambiguidades, pois as lacunas de conhecimento podem dificultar o fluxo do conhecimento organizacional entre as partes envolvidas no processo.

Sabe-se que as notações formais de modelagem de processo, como os Autômatos Finitos Determinísticos (AFD's), são representações potencialmente não-ambíguas. Porém, por restrições de ordem linguística, sua utilização não é capaz de contemplar toda a riqueza de possibilidades da LN. No entanto, essas restrições são necessárias para evitar mal-entendidos (Lopes, 2008; Menezes, 2008a; Hopcroft *et al.*, 2003).

Nas aplicações de comércio eletrônico, a voz do consumidor deve ser traduzida para o Modelo Lógico do Negócio (MLN). Este modelo, representado por uma notação formal, precisa ser traduzido em código para compor o SI que atende as necessidades do consumidor enquanto usuário do negócio-sistema (Hopcroft *et al.*, 2003; Khalfallah *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2010, 2011, 2012; Thirumaran *et al.*, 2011, 2012). Deste ínterim, emerge o problema da ambiguidade na especificação de requisitos, amplamente reportado na literatura científica (Walia; Carver, 2009; Sutcliffe *et al.*, 1999; Card, 1998 ).

O presente estudo foi organizado como se segue: este capítulo torna explícito o problema, a hipótese básica, os objetivos e a justificativa que motivam a realização desta pesquisa; os tipos de ambiguidade, alguns métodos de notação para modelagem de processo e de leitura da especificação de requisitos são os conteúdos abordados na revisão bibliográfica do Capítulo 2; o arcabouço metodológico do estudo-piloto, do estudo experimental e as respectivas hipóteses secundárias relacionadas a estes estudos são assuntos para o Capítulo 3; os

resultados foram apresentados nos Capítulos 4; e por fim, o Capítulos 5, que trata da discussão e das considerações finais.

## 1.2 Problema de pesquisa

Como as necessidades do usuário podem ser traduzidas em código? Nas metodologias ágeis, as histórias utilizadas para especificar requisitos servem para nortear o desenvolvimento do sistema, durante todo o seu ciclo de vida. Pela metodologia clássica, no entanto, a especificação de requisitos ocorre numa etapa inicial e bem definida do processo de desenvolvimento de sistemas (Leffingwell, 2011; Cohn, 2004).

Independente da metodologia adotada para o desenvolvimento de sistemas, os requisitos são, via de regra, especificados numa linguagem carregada de ambiguidade – a LN.

É possível analisar a ambiguidade da LN de duas perspectivas distintas. De um lado, a ambiguidade pode ser vista como um fator benéfico que motiva a dialética, assegurando o rigor do pensamento filosófico. No entanto, pela perspectiva do pensamento científico, adotado no presente estudo, o fenômeno da ambiguidade foi analisado como um fator nocivo que afeta a especificação de requisitos (Piantadosi *et al.*, 2012; Raffin, 2009; Walia; Carver, 2009; Sutcliffe *et al.*, 1999; Card, 1998).

O problema da ambiguidade intrínseca da LN pode dificultar o fluxo do conhecimento organizacional entre as partes envolvidas no processo. Essa lacuna da comunicação é especialmente nociva no desenvolvimento de um Sistema de Informação Empresarial (SIE), pois neste caso, há uma relação estreita entre o MLN e o código que provê o sistema. Portanto, na figura do usuário como parte interessada, compete, de forma associada, os papéis de usuário do negócio e de usuário do sistema. Este papel complexo de usuário carece de meios que viabilizem sua integração ao processo de desenvolvimento (Coughlan; Macredie, 2002; Coughlan *et al.*, 2003; Grondelle *et al.*, 2010; Jørgensen *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*,

2010, 2011, 2012).

A partir destas considerações que assumem a ambiguidade como um problema a ser superado, decorre o seguinte questionamento que motiva esta pesquisa: *Como reduzir o nível de ambiguidade na especificação de requisitos funcionais prevista no processo de desenvolvimento de sistemas de informação empresariais?*

Levando em consideração o problema levantado, a hipótese básica de pesquisa acerca do estudo, em seu contexto mais amplo, foi delineada pelo seguinte par de premissas:

- $H_{0(i)}$ : *O método de notação, utilizado na modelagem de processos, não afeta o nível de ambiguidade do processo descrito na especificação de requisitos funcionais.*
- $H_{1(i)}$ : *O método de notação, utilizado na modelagem de processos, afeta o nível de ambiguidade do processo descrito na especificação de requisitos funcionais.*

### **1.3 Objetivos da pesquisa**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Assumindo a figura do usuário como o ator que manifesta as suas necessidades relativas ao sistema desejado, como tal ator poderia manifestar um desejo que não reflete sua necessidade? Uma possível resposta para esta pergunta estaria no problema da ambiguidade presente na LN. Esta pesquisa é uma análise do efeito da notação formal no nível de ambiguidade da especificação de requisitos empresariais.

O escopo deste estudo se restringe à validação de requisitos, prevista no processo de desenvolvimento de sistemas como uma etapa destinada,

essencialmente, à descoberta de problemas com os requisitos (Sommerville, 2007c). Esta etapa é movida pelo seguinte questionamento: os requisitos realmente definem o sistema que o usuário deseja? O presente trabalho restringe o rol de problemas ao analisar os requisitos sob a perspectiva do nível de ambiguidade, presente no processo descrito em LN.

Assim, o objetivo geral desta pesquisa é analisar o efeito do método de notação de modelagem de processo de negócio no nível de ambiguidade da especificação de requisitos funcionais de SIE's.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Para viabilizar o cumprimento do objetivo geral, alguns objetivos específicos foram necessários:

- i. Identificar o perfil da distribuição dos dados relativos ao nível de ambiguidade da especificação de requisitos funcionais de SIE's;
- ii. Propor um método combinado de notação para a modelagem de processos;
- iii. Aplicar o método combinado de notação na modelagem de processo de negócio;
- iv. Comparar o efeito dos métodos de notação de modelagem de processo de negócio no nível de ambiguidade da especificação de requisitos.

### **1.4 Justificativa**

A modelagem de requisitos é a etapa mais crítica durante o processo de desenvolvimento de um SIE. O cumprimento das necessidades dos usuários é fundamental para o sucesso deste tipo de sistema. Porém, a especificação

incompleta e/ou imprecisa de requisitos, falta de envolvimento do usuário, falta de flexibilidade dos sistemas de informação, comunicação precária e diferentes visões de mundo dos analistas de sistemas, figuram entre os fatores que afetam, de forma nociva, a especificação de requisitos (Lin; Lin, 2011).

A conversão do conhecimento tácito em conhecimento explícito encontra uma série de barreiras para um conhecimento representativo da organização como um todo. O conhecimento tácito é subjetivo e específico. Formalizá-lo e comunicá-lo é uma tarefa que exige esforço. Por outro lado, o conhecimento explícito ou codificado refere-se ao conhecimento objetivo e passível de transmissão pela linguagem formal, sistemática. Assim, o processo de externalização do conhecimento tácito não deve ser negligenciado e a linguagem é o principal meio para expressar o teor da representação do conhecimento. O uso da analogia pode auxiliar na compreensão do desconhecido pelo conhecido, contribuindo para a redução da discrepância entre a imagem e o modelo lógico. Ao explicitar os conceitos é possível modelar de forma lógica e coerente através do uso de uma linguagem sistemática (Nonaka; Takeuchi, 2008).

Sabe-se que a notação formal apresenta um potencial para a redução da ambiguidade inerente à LN e que a restrição imposta pelos AFD's, como a Máquina de Estados Finitos (MEF), reduz o potencial de descrição da LN (Lopes, 2008; Menezes, 2008a; Hopcroft *et al.*, 2003). No entanto, é necessário criar mecanismos para extrair valor dos requisitos expressos em LN. Para que este valor seja devidamente reconhecido no universo dos SI's é necessário facilitar o fluxo de conhecimento entre os consumidores e outras partes interessadas no processo, tornando o modelo passível de simulação para estimular o diálogo e aprimorar os processos organizacionais de forma contínua (Coughlan; Macredie, 2002; Coughlan *et al.*, 2003; Grondelle *et al.*, 2010; Jørgensen *et al.*, 2007; Piantadosi *et al.*, 2012; Leffingwell, 2011; Carvalho *et al.*, 2010, 2011, 2012).

No âmbito dos SIE's, onde o papel do consumidor é empoderado pela figura do usuário do negócio e do usuário do sistema, sua participação ativa no processo produtivo é essencial na busca da missão do negócio (Kotler *et al.*, 2012).

## CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Há duas metodologias fundamentais para o processo de desenvolvimento de sistemas: a metodologia clássica e a metodologia ágil. Na metodologia clássica os *requisitos* são estabelecidos de forma prévia e num amplo escopo, envolvendo todas as funcionalidades que *o sistema deve ter* para ser implementado. Por outro lado, na metodologia ágil, os requisitos são estimados em forma de pequenas *histórias*, de escopo mais reduzido, que vão se reunindo para agregar valor ao negócio com base no que *o usuário pode fazer* (Leffingwell, 2011; Cohn, 2004). Independente da metodologia adotada para o processo de desenvolvimento de sistemas, é necessário especificar os requisitos para sua concepção. Seja no modelo clássico ou no modelo ágil, tanto os requisitos quanto as histórias são especificados, via de regra, em LN.

No entanto, da expressão do pensamento pela LN, emerge a questão da ambiguidade. De forma geral, a ambiguidade da LN pode ser tratada de duas maneiras distintas. Para o rigor do pensamento filosófico assume-se a ambiguidade e trabalha-se a dialética para lidar com a multiplicidade de sentidos. Neste caso, a ambiguidade não exclui o rigor. Muito pelo contrário, para o pensamento filosófico, a ambiguidade da linguagem é uma condição do rigor. De outro modo, para o rigor do pensamento científico, a ambiguidade da LN deve ser dissipada por meio de distinções claras que fundamentem o discurso científico, desfazendo os equívocos com vistas à clareza conceitual. Para o pensamento científico, é necessário livrar-se da ambiguidade da linguagem, buscando uma terminologia unívoca que possibilite o cálculo. No presente estudo, foi adotada a vertente do pensamento científico que lida com a ambiguidade como um problema a ser resolvido, ainda que a racionalidade científica seja uma racionalidade regional (Raffin, 2009).

## 2.1 Tipos de ambiguidade

A LN é a notação mais utilizada para declarar requisitos de sistemas. No entanto, a ambiguidade inerente desta notação pode provocar falhas nos sistemas (Kamsties, 2001; Walia; Carver, 2009; Lee; Seshia, 2010; Davis *et al.*, 1993; IEEE Std 830, 1998). Há diversas classificações de ambiguidade (Ceccato *et al.*, 2004; Silva, 2006; Bräscher, 2002). No entanto, nas seções que se seguem, é apresentada uma taxonomia da ambiguidade na língua portuguesa (Silva, 2006). Essencialmente, é possível definir um requisito como ambíguo se há múltiplas interpretações a partir da sua especificação (Kamsties, 2001; Lahtinen, 2012; Shull *et al.*, 2000; Basili *et al.*, 1996). Esta inconsistência da informação foi tratada de forma genérica no estudo experimental, seguindo a definição de ambiguidade prevista no cenário para classificação de falhas do Anexo A. Porém, é importante explicitar alguns pormenores que caracterizam a ambiguidade na LN, razão que motiva a descrição da referida taxonomia.

### 2.1.1 Ambiguidade de âmbito

Este tipo de ambiguidade resulta da ocorrência de mais de um determinante de quantidade na mesma sentença (Silva, 2006).

*Exemplo:* Aqueles clientes podem comprar todos os computadores.

*Interpretação 1:* Todos os clientes podem comprar os computadores todos.

*Interpretação 2:* Cada cliente pode comprar um computador.

### 2.1.2 Ambiguidade léxica

Ocorre quando uma palavra tem diversos significados. A ambiguidade léxica

pode ser subdividida em homonímia e polissemia. A homonímia ocorre quando duas palavras diferentes têm a mesma representação escrita e fonética, porém os significados e as etimologias<sup>1</sup> diferem. Cada homônimo tem sua própria semântica. A polissemia ocorre quando a palavra tem diversos significados, porém apenas uma etimologia. Os diferentes significados de uma expressão polissêmica têm um significado fundamental em comum (Ceccato *et al.*, 2004; Silva, 2006; Bräscher, 2002).

*Exemplo a:* O diretor pode comentar sobre os papéis dos empregados.

*Interpretação 1:* O diretor pode comentar sobre as atribuições dos empregados.

*Interpretação 2:* O diretor pode comentar sobre os documentos dos empregados.

*Exemplo b:* O cliente pode indicar o banco.

*Interpretação 1:* O cliente pode indicar a instituição financeira.

*Interpretação 2:* O cliente pode indicar a estrutura utilizada como apoio.

*Interpretação 3:* O cliente pode indicar o local onde se doa sangue.

*Interpretação 4:* O cliente pode indicar a forma de armazenamento dos dados.

### **2.1.3 Ambiguidade morfológica**

É também conhecida como ambiguidade categorial ou gramatical (Silva, 2006). Trata-se do efeito da categorização múltipla quanto à classe gramatical (Bräscher, 2002). Um exemplo típico ocorre quando um mesmo termo apresenta-se na sentença como substantivo e adjetivo, dependendo da interpretação que se adota.

---

<sup>1</sup> Etimologia: ciência que investiga a origem, étimo, das palavras procurando determinar as causas e circunstâncias de seu processo evolutivo.

*Exemplo:* O jovem trabalhador pode começar suas funções.

*Interpretação 1:* O trabalhador é jovem.

*Interpretação 2:* O jovem é trabalhador.

#### **2.1.4 Ambiguidade sintática ou estrutural**

Este tipo de ambiguidade ocorre quando à uma sequência de palavras podem ser atribuídas mais de uma estrutura gramatical e cada uma têm um significado diferente. A ambiguidade sintática pode ser classificada como analítica, de ligação, de coordenação ou elíptica (Ceccato *et al.*, 2004).

- *Ambiguidade analítica:* ocorre quando são ambíguos os termos que compõem o sintagma ou a sentença.
- *Ambiguidade de ligação:* ocorre quando um componente sintático de uma sentença como um sintagma preposicional, pode ser ligado às duas partes da sentença.
- *Ambiguidade de coordenação:* ocorre quando: (1) mais de uma conjunção, "e" ou "ou" é usada na sentença; (2) uma conjunção é usada como um modificador.
- *Ambiguidade elíptica:* é uma omissão deliberada de algum aspecto do formato da linguagem que poderia ser entendido a partir do contexto deste formato. Também conhecido pelos linguistas como lacuna.

De forma geral é possível exemplificar este tipo de ambiguidade da seguinte maneira (Silva, 2006):

*Exemplo:* O diretor pode informar aos participantes que o presidente convocou a sua secretária.

*Interpretação 1:* Secretária do diretor.

*Interpretação 2:* Secretária do presidente.

*Interpretação 3:* A secretária do escritório.

### **2.1.5 Ambiguidade predicativa**

Um predicado é definido como um atributo que qualifica o sujeito ou o complemento direto (Silva, 2006). A ambiguidade predicativa ocorre quando mais de um tipo de relação temática pode ser estabelecido entre predicado e argumentos (Bräscher, 2002).

*Exemplo:* O presidente pode contribuir na designação do diretor.

*Interpretação 1:* O diretor pode designar em conjunto com o presidente.

*Interpretação 2:* O diretor pode ser designado pelo presidente.

### **2.1.6 Ambiguidade semântica**

Ocorre quando uma sentença pode ser lida de mais de uma maneira num determinado contexto, embora não haja ambiguidade léxica ou sintática. A ambiguidade semântica pode ser vista como ambiguidade relativa à forma lógica. Este tipo de ambiguidade pode ser causada pelo escopo (Ceccato *et al.*, 2004).

- *Ambiguidade de escopo:* ocorre quando operadores de quantificação ou de negação podem entrar em diferentes relações de escopo com outro componente da sentença. Operadores de quantificação incluem palavras como "todo", "cada", "tudo", "algum", "diversos", "um", etc., e os operadores de negação como o "não".

A ambiguidade semântica está relacionada com significado das palavras e dos enunciados (Silva, 2006).

*Exemplo:* O gerente pode alterar o preço das garrafas para 30 reais.

*Interpretação 1:* Cada garrafa pode ter seu preço alterado para 30 reais.

*Interpretação 2:* O preço de todas as garrafas pode ser alterado para 30 reais.

### **2.1.7 Ambiguidade pragmática**

Ocorre quando uma sentença tem diversos significados no contexto no qual é pronunciado. Ou seja, a posição do pronunciamento das sentenças - antes e depois - e o contexto além da linguagem, como a situação, o conhecimento e as expectativas dos interlocutores (Ceccato *et al.*, 2004).

*Exemplo:* As montadoras podem vender os carros às empresas brasileiras porque elas oferecem mais garantia.

*Interpretação 1:* As montadoras oferecem mais garantia.

*Interpretação 2:* As empresas brasileiras oferecem mais garantia.

## **2.2 Métodos de notação para modelagem de processo de negócio**

Mudanças imediatas nos ambientes de negócio são ocorrências intermináveis. Os processos de transformação na esfera empresarial visam suprir as necessidades dos consumidores em pleno cenário de ascensão na indústria de TI. Nesta conjuntura, é essencial que os sistemas sejam responsivos às mudanças no MLN (Thirumaran *et al.*, 2011, 2012). Tal responsividade requer a utilização de

mediadores capazes de integrar os processos que ocorrem tanto no eixo cliente-MLN quanto no eixo MLN-SI (Khalfallah *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2010, 2011, 2012; Thirumaran *et al.*, 2011).

A tradução da necessidade do cliente para o MLN é uma tarefa essencial, mas de difícil execução (Menezes, 2008a). Um fator que restringe a referida tradução, é reportado no âmbito linguístico: a notação MEF, por exemplo, não é capaz de expressar todo o rol de possibilidades que uma descrição em LN é capaz de abranger (Lopes, 2008). No entanto, acredita-se que esta restrição da notação MEF seja útil para a redução da ambiguidade presente na LN, via de regra, utilizada para especificar requisitos que representem o MLN (Hopcroft *et al.*, 2003).

A tradução do MLN para o SI é alavancada pelo Desenvolvimento Orientado à Teste (DOT). A partir de um MLN descrito na notação MEF é possível obter todas as transições do modelo. Essas transições podem ser representadas em forma de teste, caracterizando o ponto de partida para a implementação do código (Turnquist, 2011; NSI, 2013a; NSI, 2013b; Python Software Foundation, 2013).

De outro modo, o Desenvolvimento Orientado ao Comportamento (DOC), previsto na metodologia ágil, viabiliza a implementação direta de testes a partir das necessidades do usuário expressas pela tríade *Given-When-Then* (GWT). Neste ínterim, a conexão direta “necessidade do cliente-SI” dispensaria a necessidade de formalizar o MLN com uma notação de modelagem. Na verdade, o MLN estaria implícito na tríade GWT prevista no DOC. Tal fato deve-se à possível analogia da tríade com a notação formal MEF, onde *Given* seria um estado, *When* uma ação e *Then* o estado resultante. A tríade GWT caracterizaria, portanto, uma espécie de notação combinada (NC) que restringe a LN com a MEF disfarçada pela estrutura GWT. No entanto, a ambiguidade inerente à LN, utilizada para manifestar a necessidade do cliente, pode afetar a qualidade do fluxo de conhecimento seja na tradução que ocorre no eixo “MLN-SI” ou na conexão direta “necessidade do cliente-SI”. Assim, o Desenvolvimento Orientado à Linguagem de Negócios (DOLN), modelo conceitual que deriva do DOC, teve como proposta adicional a utilização da representação em grafo. Tal representação contribui para promover a conexão direta “necessidade do cliente-SI”, buscando preservar a qualidade do fluxo de

conhecimento e estreitar a relação descrição-código (Carvalho *et al.*, 2010, 2011, 2012; Turnquist, 2011).

### 2.2.1 Linguagem natural

O papel do usuário/cliente é essencial, tanto para a concepção do MLN quanto para a concepção do SI. As figuras do usuário do negócio e do usuário do sistema acabam se associando, especialmente no processo de desenvolvimento de um SIE, no qual há uma relação estreita entre o MLN e o SI. Portanto, a função do usuário não pode ser negligenciada. Deve-se assegurar meios que favoreçam a comunicação do usuário com os demais atores do processo de desenvolvimento do negócio/sistema.

No entanto, o problema da ambiguidade da LN é um fator limitante para esta comunicação. Essa barreira requer a adoção de estratégias que favoreçam o fluxo de conhecimento, a fim de viabilizar a implementação do código que agrega valor para o usuário. Prover o usuário com métodos que permitam sua efetiva inserção neste processo, como um agente atuante, é uma tarefa desafiadora, porém necessária. O desafio em promover o envolvimento dos usuários na modelagem do conhecimento é representado pela falta de treinamento nas técnicas de representação formal do conhecimento por parte dos usuários (Grondelle *et al.*, 2010; Carvalho *et al.*, 2010, 2011, 2012).

A LN controlada é um método que contribui para reduzir o nível de ambiguidade da LN, colaborando para a inserção do usuário no ciclo de vida do conhecimento (Ross, 2009; Grondelle *et al.*, 2010). Além deste método, algumas abordagens automatizadas que utilizam o Processamento da Linguagem Natural (PLN) também contribuem para tal redução (Jurafsky; Martin, 2000; Manning; Schütze, 2000; Bird *et al.*, 2009).

De forma essencial, a linguagem é o processo de modelagem primário utilizado

pelo ser humano. Com ela é possível construir modelos que podem ser desmontados. Com as mesmas peças é possível construir outros modelos (Ponzio *et al.*, 2007).

### 2.2.2 Máquina de estados finitos

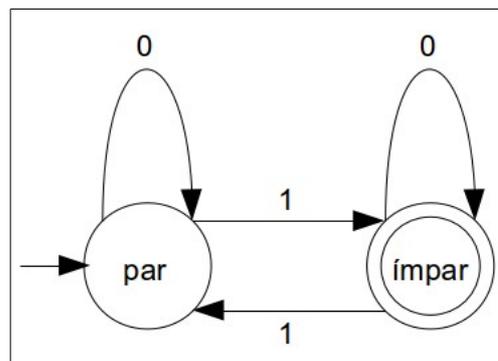
No âmbito da linguística, a *gramática de estados finitos* é um modelo de descrição gramatical de uma língua. Este modelo utiliza um vocabulário finito para a descrição. Nesta perspectiva as frases são constituídas de unigramas – termos únicos. A escolha do unigrama subsequente é determinada pelo unigrama precedente. Dentre os unigramas que compõem a frase - “O cliente pode realizar compras na loja.” - é razoável afirmar que o termo “o” pode ocupar o início da frase. Após o artigo “o”, a escolha de um substantivo masculino como o unigrama “cliente”, torna-se uma opção plausível e a escolha dos demais unigramas são feitas assim por diante. Este é um modelo de descrição gramatical análogo à uma máquina com um número finito de estados, aqui representados pelos unigramas. Neste modelo estão previstos os estados internos, o estado inicial (primeiro unigrama escolhido) e o estado final (último unigrama escolhido). No entanto, há uma limitação neste modelo de descrição, pois ele não é capaz de contemplar todos os processos de formação de frases previstos na LN (Lopes, 2008).

Apesar desta limitação a MEF é utilizada como um método de notação para modelagem de processo de negócio (Aalst, 2011). Trata-se de um AFD composto por uma quintupla  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ . Onde:  $Q$  é o conjunto de estados;  $\Sigma$  é o conjunto de entradas ou ações;  $\delta$  é o conjunto de transições;  $q_0$  é o estado inicial; e  $F$  é o estado final (Jurafsky; Martin, 2000).

Além da sua representação formal, a MEF pode ser simbolizada basicamente por um grafo ou por uma tabela de transição de estados. No primeiro caso, o autômato é representado por um grafo direcionado  $G(V, A)$ , onde  $V$  é um conjunto

não-vazio e finito de vértices (nós) e  $A$  é um conjunto de pares ordenados de  $V$ , chamados arestas (arcos). No segundo caso, o autômato pode ser representado por uma tabela de transição de estados, composta pelos estados, dispostos nas linhas, e pelas entradas (ações) dispostas nas colunas (Jurafsky; Martin, 2000; Hopcroft *et al.*, 2003; Menezes, 2008b).

A Figura 1 é um exemplo de MEF que reconhece números binários como entrada, resultando num determinado estado. Este tipo de AFD é formalmente definido por  $M = \{\{\text{par}, \text{ímpar}\}, \{0, 1\}, \delta, \{\text{par}\}, \{\text{ímpar}\}\}$ , onde as transições são as seguintes:  $\delta(\text{par}, 0) = \text{par}$ ;  $\delta(\text{par}, 1) = \text{ímpar}$ ;  $\delta(\text{ímpar}, 0) = \text{ímpar}$ ;  $\delta(\text{ímpar}, 1) = \text{par}$ . A tabela de transição de estados (Tabela 1), representa o modelo em grafo (Figura 1).



**Figura 1:** Exemplo de Máquina de Estados Finitos.

**Tabela 1:** Tabela de transição de estados: representação da notação MEF que caracteriza o processo.

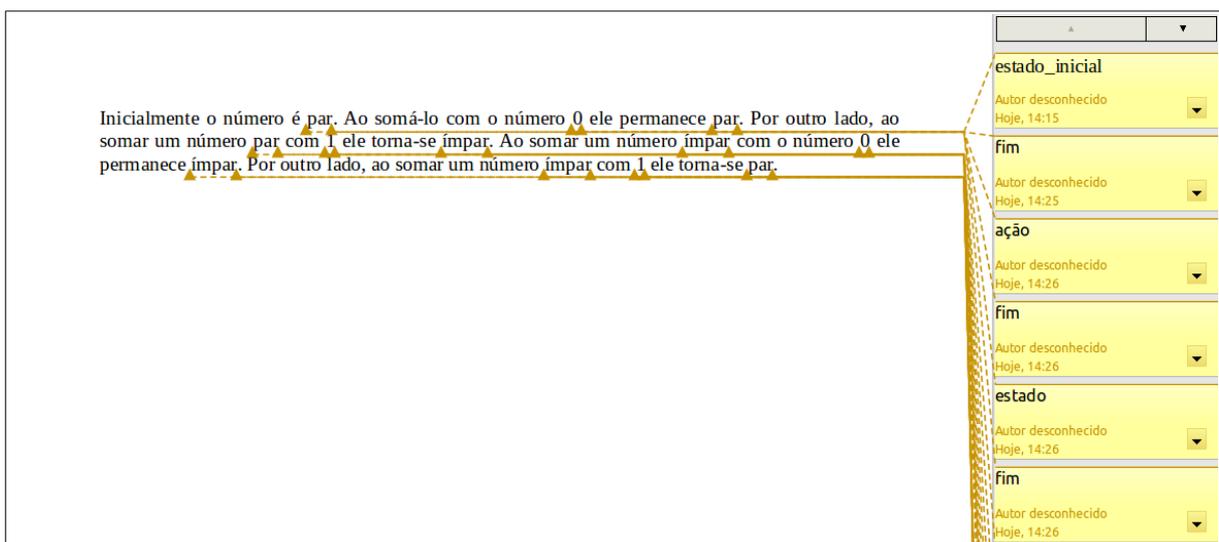
	Ações ( $\Sigma$ )		
	$\delta$	0	1
Estados (Q)	par	par	ímpar
	ímpar	ímpar	par

### 2.2.3 Notação combinada

Algumas linguagens são mais ambíguas que outras. Num extremo, as notações formais de modelagem de processo, como a MEF e a rede de Petri, têm uma

semântica bem definida e, portanto, não sofrem de nenhuma ambiguidade inerente. No outro extremo, a LN se apresenta com muita ambiguidade inerente. Acredita-se que a substituição da LN por uma notação formal, poderia contribuir para uma redução considerável do nível de ambiguidade na especificação de requisitos de sistemas. Contudo, esta substituição poderia afetar, de forma nociva, a compreensibilidade. Portanto, sugere-se que a melhor abordagem seja a combinação da LN com notações formais. Assim, as vantagens de ambas as linguagens - natural e formal - poderiam ser preservadas. Com a aplicação deste método de notação combinado, que caracteriza-se pela restrição da LN com o uso de uma notação formal de modelagem de processo, é provável que haja um equilíbrio entre a compreensibilidade da LN e o potencial de redução da ambiguidade pela notação formal (Davis *et al.*, 1993).

A Figura 2 ilustra um exemplo de NC. Nela é possível observar um exemplo de descrição em LN do processo representado pelo grafo exposto na Figura 1. Além da LN, é possível observar os rótulos previstos na notação formal MEF (estado\_inicial, estado, ação) sendo atribuídos aos sintagmas mais relevantes, ou seja, aqueles que caracterizam, de fato o processo. O rótulo “fim” é apenas um ajuste para indicar o término da abrangência do rótulo precedente. Neste exemplo, a atribuição de rótulos foi executada no editor de texto LibreOffice Writer (Versão: 4.2.4.2) com o comando Inserir > Anotação ou pelo atalho Ctrl + Alt + C (LibreOffice, 2013).



**Figura 2:** Exemplo de descrição do processo par/ímpar em notação combinada.

### 2.3 Leitura Baseada em Perspectivas (LBP)

Trata-se de uma técnica de leitura utilizada na inspeção de sistemas, cujo objetivo é examinar a descrição de um *software* pela perspectiva das partes interessadas a fim de identificar falhas. A LBP apresenta as seguintes características:

- **Sistemática:** é possível definir os passos do processo de revisão.
- **Focada:** diferentes revisores podem focar em aspectos distintos do documento.
- **Passível de melhoria a partir da experiência de aplicação:** os cenários utilizados podem ser melhorados ao modificar questões que fazem parte desses cenários.
- **Passível de treinamento:** o procedimento específico de revisão permite o treinamento dos revisores no reconhecimento de falhas.
- **Personalizável:** pode ser ajustado dependendo do projeto e da organização. A técnica LBP não formaliza um conjunto de procedimentos de inspeção para ser utilizado nos requisitos de todo e qualquer sistema. Trata-se apenas de uma instrução sobre como as perspectivas e procedimentos podem ser criados tomando como base o sistema que se tem em mãos.

A LBP pode servir para a inspeção de diversos documentos, incluindo a especificação de requisitos, modelos de projeto e código. Foi elaborada para reduzir a influência humana nos resultados de inspeção. Pesquisas experimentais sugerem que a técnica LBP é significativamente mais eficaz em relação à técnicas de leitura tradicionais como a Leitura Baseada em *Checklist* e a Leitura *Ad-Hoc* (Lahtinen, 2012).

### 2.3.1 Perspectivas

A ideia principal da técnica LBP é a mesma das técnicas de Leitura Baseadas em Cenário: inspecionar um documento a partir das diferentes perspectivas dos revisores. Na LBP as perspectivas derivam das partes interessadas no documento, ou seja, as pessoas mais relevantes durante o ciclo de vida do projeto. A razão para a adoção de perspectivas distintas é a probabilidade de que um documento seja de maior qualidade quando as partes interessadas não detectam nenhuma falha nele.

Perspectivas típicas para a inspeção de um documento de especificação de requisitos poderiam incluir a perspectiva do projetista, testador e/ou usuário. Isso porque as pessoas que assumem esses papéis são provavelmente as partes interessadas mais relevantes que utilizam a especificação de requisitos em algum ponto no ciclo de vida do produto.

Pelo fato de cada leitor ser responsável por apenas um foco de visão do documento, qualquer erro em potencial é analisado de forma mais rigorosa. Quando é escolhida uma perspectiva única, os revisores tendem a utilizar seu conhecimento específico de forma mais natural e, portanto, mais efetiva. Por outro lado, ao avaliar múltiplas perspectivas de forma simultânea, os revisores são atribuídos à perspectiva mais apropriada (Lahtinen, 2012).

Para cada uma dessas perspectivas há um formulário específico com uma série de questões relacionadas que orientam a leitura. Assim, ao utilizar perspectivas distintas haveria uma melhor compreensão das falhas, uma vez que aspectos relativos a cada perspectiva poderiam ser identificados de forma mais eficaz (Basili *et al.*, 1996; Sørungård, 1997; Shull *et al.*, 2000; Sommerville, 2007a).

As falhas identificáveis pela LBP são as seguintes: omissão; informação ambígua; fato incorreto; informação alheia; e diversas (Sørungård, 1997). Trata-se de uma técnica personalizável por permitir que os revisores - desenvolvedores, testadores e usuários - possam adequá-la ao propósito desejado (Shull *et al.*, 2000).

No escopo do presente trabalho, a única perspectiva utilizada foi a de teste. A chamada Leitura Baseada em Teste (LBT) é focada nos aspectos relativos à

testabilidade do sistema, a partir da informação que é apresentada na especificação de requisitos (Basili *et al.*, 1996).

### 2.3.2 Cenários

Um cenário LBP é um documento de instruções com poucas páginas. Para cada perspectiva um ou mais cenários são escritos para que os revisores possam desempenhar ações específicas e reproduzíveis, além de responder um conjunto de questões para identificar falhas (Lahtinen, 2012).

Um cenário consiste de três partes:

- **Introdução:** explica os interesses das partes envolvidas no processo e a informação que é relevante a partir de distintos pontos de vista.
- **Instruções:** explicam como ler o documento a ser revisto e como extrair dele informação relevante.
- **Perguntas:** conjunto de questões fornecidas que são respondidas durante as instruções. As perguntas são focadas nos aspectos específicos dos revisores.

## CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa experimental, a população-alvo analisada foi a de estudantes universitários de graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas e em Sistemas de Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF) do ano letivo de 2013/2014. Os referidos cursos estão inseridos na área do conhecimento designada por “Ciência da Computação”, conforme classificado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

### 3.1 Variável dependente

A variável dependente escolhida foi o nível de ambiguidade da especificação dos requisitos funcionais do sistema. A escolha desta variável, que no presente estudo foi designada simplesmente por *nível de ambiguidade*, deve-se a diversos fatores.

Dentre eles é possível destacar os seguintes:

- a especificação não-ambígua é um dos critérios de qualidade na descrição dos requisitos previstos no processo de desenvolvimento de software/sistemas (Davis, 1993). Portanto, recomenda-se que a especificação de requisitos seja não-ambígua (IEEE Std 830, 1998);
- disponibilidade de uma técnica específica de leitura da especificação de requisitos em LN com o propósito de identificar falhas, designada por LBP (Basili *et al.*, 2013; Sørungård, 1997; Lanubile *et al.*, 1998);
- a ambiguidade da especificação de requisitos é reportada amplamente na literatura científica como um problema no processo de desenvolvimento de software/sistema (Walia; Carver, 2009; Sutcliffe *et al.*, 1999; Card, 1998);

- a ambiguidade é elencada como um tipo de falha passível de identificação a partir da utilização da técnica LBP (Sørumgård, 1997);
- após a identificação do requisito ambíguo, é possível mensurar o nível de ambiguidade a partir de uma métrica de qualidade aplicável à especificação de requisitos de software (Bokhari, 2011).

Recomenda-se que a especificação de requisitos de software seja não-ambígua. Assim, uma das métricas de qualidade reportadas na literatura científica que demonstram adequação para mensurar o nível de ambiguidade é:

$$Q_a = n_{ui} / n_r \quad (1),$$

onde  $n_{ui}$  é o número de requisitos para os quais todos os revisores (testadores) apresentaram interpretações idênticas; e  $n_r$  é o número total de requisitos.

A unidade de requisito foi definida pela transição da MEF pelo fato dela conter uma tríade estado-ação-estado testável. Assim, é possível obter o percentual de requisitos interpretados de maneira única por todos os testadores. Os valores de referência são apresentados na escala intervalar  $Q_a$  que varia de 0 (zero) até 1 (um), onde os valores próximos de 0 (zero) representam requisitos não-ambíguos; e os valores próximos de 1 (um) representam requisitos ambíguos.

### 3.2 Variável independente

A variável independente utilizada no presente estudo é o método de notação de modelagem de processo. Diferentes métodos foram empregados durante a descrição da especificação dos requisitos funcionais do sistema. Tal variável foi designada simplesmente pelo termo *método de notação* e apresentou três níveis: LN, MEF e NC.

Por se tratar de uma linguagem não-artificial, a LN foi utilizada como primeiro nível da variável independente. As demais notações, de caráter artificial, foram atribuídas aos níveis MEF e NC.

MEF é a notação formal de modelagem de processo mais básica. Ela consiste dos seguintes rótulos previstos na quintupla  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ . Onde:  $Q$  é o conjunto de estados;  $\Sigma$  é o conjunto de entradas ou ações;  $\delta$  é o conjunto de transições;  $q_0$  é o estado inicial; e  $F$  é o estado final (Jurafsky; Martin, 2000).

O terceiro nível do método de notação, designado por NC, foi composto por uma combinação de notações. Tal combinação caracteriza-se pela atribuição de rótulos da MEF à descrição em LN. A atribuição de rótulos prevista foi destinada aos sintagmas da LN considerados relevantes, pelos seguintes aspectos: (1) caracterizarem os requisitos do processo; e (2) serem passíveis de categorização pelos rótulos da quintupla  $M$  que compõem a notação MEF.

A escolha da referida variável independente foi motivada pelos seguintes fatores:

- Acredita-se que a substituição da LN por uma notação formal como a MEF reduza, de forma considerável, o nível de ambiguidade na especificação de requisitos de software. Como tal efeito ocorre às expensas da compreensibilidade, recomenda-se uma combinação da LN com linguagens mais formais como a MEF. Assim, as vantagens da LN e formal são preservadas (Davis, 1993);
- Sugere-se que, na LN, haja uma ambiguidade inerente e que a utilização da linguagem MEF apresente como efeito a redução do nível intrínseco de ambiguidade, pelo fato de demonstrar uma semântica bem definida (Davis, 1993; IEEE Std 830, 1998);
- Durante a fase de especificação de requisitos há dois erros comuns: aqueles causados por não saber quais são os requisitos e aqueles causados por não saber como especificá-los de forma adequada (Davis, 1993; Sommerville, 2007b). Assim, a proposta do método de notação NC, é demonstrar a viabilidade de especificar requisitos de forma adequada quanto ao nível de ambiguidade.

### 3.3 Procedimento do estudo-piloto

Um estudo-piloto populacional de caráter simples-cego foi conduzido com o intuito de ajustar o delineamento experimental a ser conduzido posteriormente. A motivação primária desta abordagem foi adquirir experiência com a aplicação da técnica LBT (Seção 2.3.1; Seção 3.6) e fornecer subsídios para nortear a escolha da técnica de inferência estatística mais apropriada no estudo experimental. Sabe-se que a adequação da aplicação de métodos estatísticos paramétricos depende do cumprimento do pressuposto da normalidade na população-alvo com relação à variável dependente a ser analisada (Larson; Farber, 2010). Portanto, neste estudo preliminar, analisou-se o pressuposto da normalidade com relação ao nível de ambiguidade na descrição textual do processo em LN. Essa descrição ocorreu durante a especificação de requisitos funcionais de um SIE hipotético. O protótipo de baixa fidelidade utilizado para motivar a referida descrição está apresentado na Figura 3 e caracteriza o processo de compra de uma loja virtual num alto nível de abstração.

As implicações do resultado deste estudo preparatório são de grande relevância para os passos seguintes. Ao rejeitar a hipótese de não-normalidade, a aplicação de técnicas paramétricas de inferência estatística seria plausível. Caso contrário, o pressuposto da normalidade não seria atendido, o que implicaria em optar pelas técnicas não-paramétricas de inferência estatística.

Os métodos escolhidos para testar as referidas hipóteses foram os seguintes: teste de aderência de Shapiro-Wilk; e o gráfico quantil-quantil para a análise residual, no intuito de identificar eventuais desvios de normalidade (Montgomery, 2003; Gardener, 2012; NIST/SEMATECH, 2013). A ferramenta utilizada para a análise estatística foi o RStudio: um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (ADI). Trata-se de um *software* livre multiplataforma destinado à melhoria da produtividade, com uma interface de usuário apropriada para a utilização da linguagem R (Bryer; Speerschneider, 2012; R CORE TEAM, 2013).

De forma prática, após a apresentação do protótipo de baixa fidelidade disposto na Figura 3 - grafo que representa o processo de compra numa loja virtual

hipotética - os estudantes foram estimulados à descrever seu processo básico de funcionamento em LN. No entanto, o sujeito não precisou se restringir a descrição das funcionalidades previstas no grafo. Este serviu apenas como ponto de partida para que os sujeitos pudessem expressar as funcionalidades do que eles entendem por um sistema de compra numa loja virtual. Após a coleta dos dados de cada um dos sujeitos da amostra, ocorreu a análise das sentenças pela técnica LBT (Anexo A) com a utilização da métrica de qualidade (1), outrora especificada, para aferir o nível de ambiguidade dos requisitos.

Por tratar-se de um estudo populacional não houve divisão por grupos naquele primeiro momento. Além disso, como todo estudo simples-cego, o sujeito não teve informação acerca do fenômeno observado durante o experimento – i.e. nível de ambiguidade. Apenas os pesquisadores detiveram tal informação.

No estudo-piloto foi utilizada a Figura 3, que sugere um protótipo de baixa fidelidade<sup>2</sup> do processo de compra numa loja virtual.

**Figura 3:** Protótipo de baixa fidelidade do processo de compra numa loja virtual: representação em grafo de uma Máquina de Estados Finitos – estudo-piloto.

Trata-se de uma representação em grafo de uma MEF  $M$  com um alto nível de abstração, utilizada para motivar a descrição do referido processo de negócio pelos sujeitos durante a realização do experimento. Dado  $M$ , temos:  $Q = \{\text{novo, suspenso, ativo, finalizado}\}$ ;  $\Sigma = \{\text{iniciar, suspender, incluir\_produtos, confirmar\_dados}\}$ ;  $q_0 = \{\text{novo}\}$ ; e  $F = \{\text{finalizado}\}$ . É possível representar as transições  $\delta$  pela própria

<sup>2</sup> Protótipo de baixa fidelidade: representação de um processo num alto nível de abstração com intuito de estimular sua descrição.

notação formal descrita na Tabela 2 ou pela tabela de transição de estados apresentada na Tabela 3:

**Tabela 2:** Requisitos do protótipo de baixa fidelidade representados pelas transições da notação MEF – estudo-piloto.

Nº	Transições
1	$\delta(\text{novo}, \text{suspender}) = \text{suspense}$
2	$\delta(\text{novo}, \text{incluir\_produtos}) = \text{ativo}$
3	$\delta(\text{suspense}, \text{iniciar}) = \text{novo}$
4	$\delta(\text{ativo}, \text{suspender}) = \text{suspense}$
5	$\delta(\text{ativo}, \text{confirmar\_dados}) = \text{finalizado}$

**Tabela 3:** Tabela de transição de estados: representação da notação MEF que caracteriza o processo de compra numa loja virtual – estudo-piloto.

		Ações ( $\Sigma$ )				
		$\delta$	iniciar	suspender	incluir_produtos	confirmar_dados
Estados (Q)	novo	$\emptyset$	suspense	ativo	$\emptyset$	$\emptyset$
	suspense	novo	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
	ativo	$\emptyset$	suspense	$\emptyset$	finalizado	$\emptyset$
	finalizado	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

### 3.4 Procedimento do estudo experimental

Foi conduzido um estudo experimental simples-cego controlado e aleatorizado. A variável independente, método de notação, foi designada como fator único da ANOVA. Desta forma, a amostra obtida pela população-alvo foi dividida em 3 (três) grupos de sujeitos, cada qual representando um nível do fator único: Grupo Controle LN (GC); Grupo Experimental MEF (GEMEF); e Grupo Experimental NC (GENC). Ao GC foi solicitada a descrição em LN do processo de compra de uma loja virtual, do mesmo modo que foi conduzido no estudo-piloto. No GEMEF foi solicitada a descrição do mesmo processo, porém, ao invés do uso da LN,

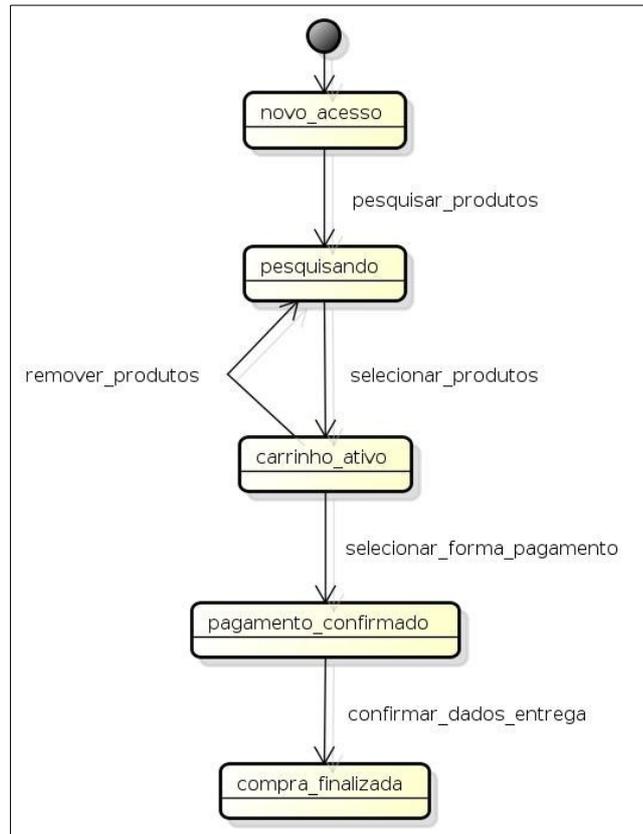
utilizou-se a notação MEF para a especificação dos requisitos funcionais. No GENC, por sua vez, a descrição do referido processo foi realizada também em LN, tal e qual ocorreu no GC, porém os sujeitos deste grupo atribuíram rótulos da MEF (estado\_inicial, estado, ação) à descrição em LN. O resumo do procedimento experimental adotado na avaliação dos requisitos funcionais do sistema está representado na Tabela 4.

**Tabela 4:** Procedimento experimental adotado na avaliação da especificação dos requisitos funcionais do sistema.

<b>Procedimento Experimental</b>			
	Grupo	Método de Notação	Notação a ser avaliada
GC	controle	único	LN
GEMEF	experimental	único	MEF
GENC	experimental	combinado	NC = LN + MEF

Como apenas 1 (uma) variável independente foi escolhida para a realização do estudo, aplicou-se a ANOVA de um único fator. A variável dependente, por sua vez, foi o nível de ambiguidade na especificação dos requisitos.

O protótipo de baixa fidelidade utilizado no estudo experimental (Figura 4) caracteriza-se por um nível de abstração mais reduzido em relação ao protótipo utilizado no estudo-piloto (Figura 3).



**Figura 4:** Protótipo de baixa fidelidade do processo de compra numa loja virtual: representação em grafo de uma Máquina de Estados Finitos - estudo experimental.

É possível representar as transições  $\delta$  pela própria notação formal descrita na Tabela 5 ou pela tabela de transição de estados apresentada na Tabela 6. As transições expressas na Tabela 5 foram os 5 requisitos avaliados pelos testadores. Estes requisitos expressam o protótipo de forma adequada. A Tabela 6 ilustra a tarefa a ser desempenhada pelos sujeitos do experimento que foram designados ao GEMEF. Ao adotá-la é possível observar um exemplo desejável de descrição em MEF do processo de compra de uma loja virtual, como representado pelo protótipo de baixa fidelidade exposto na Figura 4.

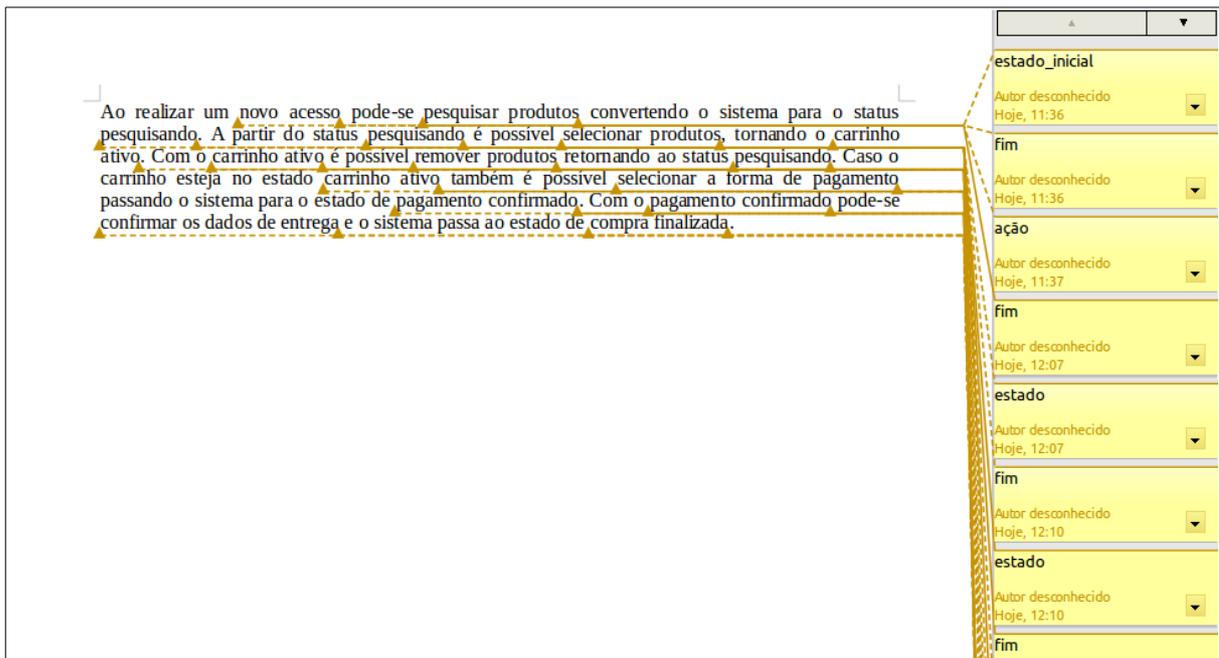
**Tabela 5:** Requisitos do protótipo de baixa fidelidade representados pelas transições da notação MEF – estudo experimental.

Nº	Transições
1	$\delta(\text{nov\_acesso}, \text{pesquisar\_produtos}) = \text{pesquisando}$
2	$\delta(\text{pesquisando}, \text{selecionar\_produtos}) = \text{carrinho\_ativo}$
3	$\delta(\text{carrinho\_ativo}, \text{remover\_produtos}) = \text{pesquisando}$
4	$\delta(\text{carrinho\_ativo}, \text{selecionar\_forma\_pagamento}) = \text{pagamento\_confirmado}$
5	$\delta(\text{pagamento\_confirmado}, \text{confirmar\_dados\_entrega}) = \text{compra\_finalizada}$

**Tabela 6:** Tabela de transição de estados: representação da notação MEF que caracteriza o processo de compra numa loja virtual – estudo experimental.

		Ações ( $\Sigma$ )				
		pesquisar_produtos	selecionar_produtos	remover_produtos	selecionar_forma_pagamento	confirmar_dados_entrega
$\delta$						
Estados (Q)	nov_acesso	pesquisando	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
	pesquisando	$\emptyset$	carrinho_ativo	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
	carrinho_ativo	$\emptyset$	$\emptyset$	pesquisando	pagamento_confirmado	$\emptyset$
	pagamento_confirmado	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	compra_finalizada
	compra_finalizada	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

A Figura 5 ilustra a aplicação da NC utilizada como parâmetro de avaliação do grupo experimental GENC. Ao adotá-la é possível observar um exemplo desejável de descrição em LN do processo de compra numa loja virtual, como representado pelo protótipo de baixa fidelidade exposto na Figura 4. Além da LN é possível observar também os rótulos previstos na notação formal MEF sendo atribuídos aos sintagmas mais relevantes, ou seja, aqueles que caracterizam, de fato o processo de negócio. O rótulo “fim” é apenas um ajuste para indicar o término da abrangência do rótulo precedente.



**Figura 5:** Descrição do processo de compra de uma loja virtual em notação combinada, utilizada como parâmetro de avaliação do grupo experimental GENC.

### 3.5 Delineamento experimental

A aplicação da ANOVA depende do cumprimento de três pressupostos (Larson; Farber, 2010):

1. **Normalidade:** a distribuição do valor da variável dependente na população deve distribuir-se normalmente;
2. **Independência:** a amostragem de dados deve ser aleatória para assegurar a independência das observações e a ocorrência de uma observação não deve afetar a probabilidade de ocorrência de outra observação;
3. **Homoscedasticidade:** não deve haver diferença inter-grupo com relação à variância. Portanto, as variâncias devem ser homogêneas.

O Delineamento Completamente Casualizado (DCC) foi adotado para a

execução da rotina prevista na ANOVA de fator único. A escolha deste tipo de delineamento deve-se ao objetivo de caráter comparativo proposto no presente estudo. É provável que outros fatores também afetem o nível de ambiguidade, porém o que se pretende é saber se o fator primário método de notação, definido *a priori*, afeta o nível de ambiguidade de forma significativa, apesar da eventual existência de outros fatores intervenientes (NIST/SEMATECH, 2013).

A aplicação do DCC contribui sobremaneira para o cumprimento do pressuposto da *independência* previsto no item 2 desta Seção. Tal fato deve-se à aleatoriedade da atribuição dos níveis do fator primário às unidades experimentais. Portanto, o delineamento é completamente casualizado ou aleatorizado (Bailey, 2008b; NIST/SEMATECH, 2013). Deste modo, todos os níveis do fator primário têm a mesma chance de serem aplicados em qualquer unidade experimental – sujeitos do experimento (Bailey, 2008a, 2008b).

Finalmente, para que não haja qualquer restrição inicial acerca da correta aplicação da ANOVA de fator único, o seguinte procedimento foi adotado: após a coleta dos dados, o cumprimento do pressuposto da *homoscedasticidade* previsto no item 3 da presente Seção foi verificado. Antes de comparar as médias é preciso checar a suposição de que a homogeneidade de variâncias é razoável. Com este intuito o teste de Levene é passível de aplicação. A escolha deste teste foi motivada pelos seguintes aspectos: (1) representa uma alternativa mais robusta em relação ao teste de Bartlett; (2) o teste de Bartlett é muito sensível à desvios da normalidade; (3) menor probabilidade de rejeitar a homocedasticidade no caso de não-normalidade da população (NIST/SEMATECH, 2013; Bisquerra *et al.*, 2007a).

O resumo das abordagens estatísticas adotadas para o cumprimento/verificação dos pressupostos da ANOVA estão representados na Tabela 7.

**Tabela 7:** Abordagens estatísticas previstas para o cumprimento dos pressupostos da Análise de Variância - ANOVA.

Etapa	Pressuposto	Abordagem estatística
1	Normalidade	Teste de aderência de Shapiro-Wilk e o Gráfico Quantil-Quantil para a análise residual
2	Independência	Aleatorização prevista no processo de Delineamento Completamente Casualizado
3	Homoscedasticidade	Teste de Levene

O fluxograma da Figura 6 representa, de forma sequencial e num espectro mais amplo, as etapas do processo de análise estatística dos dados coletados. Nele estão previstos os passos a serem adotados em cada situação vislumbrada *a priori*. Nesta representação do fluxo de trabalho é possível visualizar, de antemão, as decisões a serem tomadas no decorrer do estudo.

Após a aplicação da ANOVA, caso a hipótese  $H_{0(i)}$  não seja rejeitada, sugere-se que o método de notação utilizado na modelagem de processos, não contribua para a redução do nível de ambiguidade do processo descrito na especificação de requisitos funcionais. De outro modo, caso a hipótese  $H_{0(i)}$  seja rejeitada, sugere-se que o método de notação utilizado na modelagem de processos, contribua para a redução do nível de ambiguidade do processo descrito na especificação de requisitos funcionais. Neste último caso, portanto, justifica-se a adoção de um teste *post-hoc* para avaliar se há diferença inter-grupo quanto à redução do nível de ambiguidade (Levin; Fox, 2004; Gomes, 2000b).

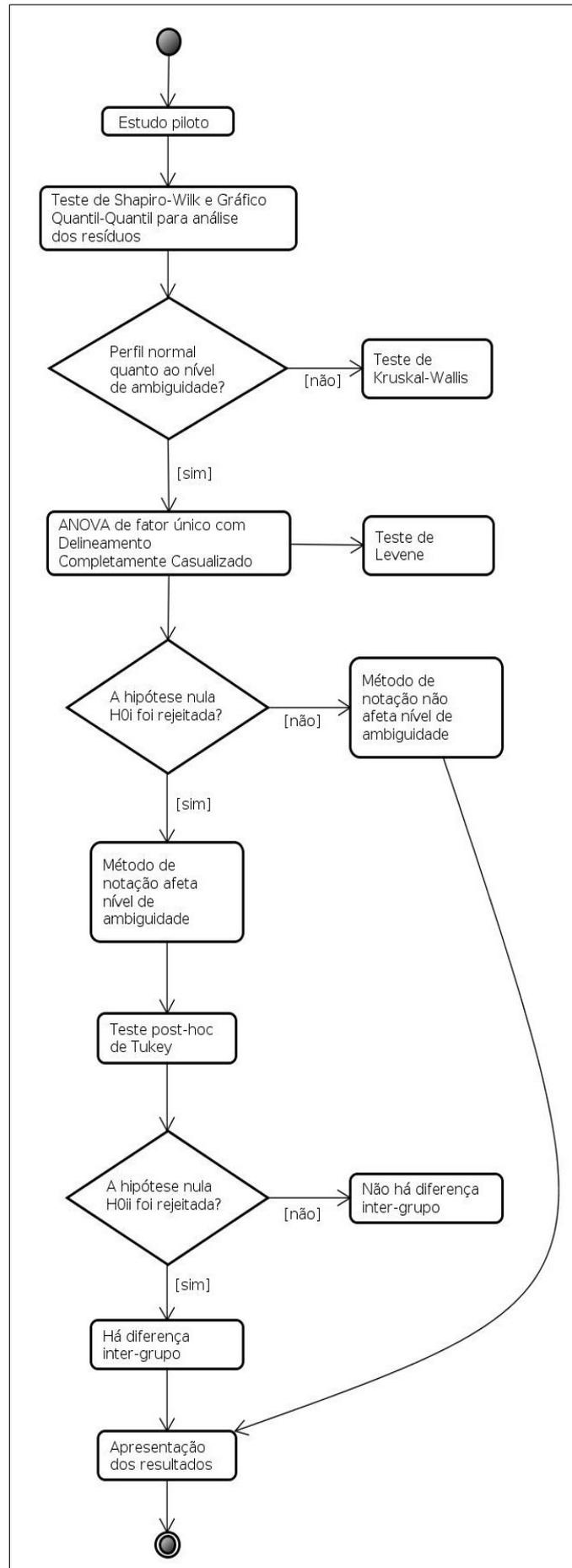


Figura 6: Fluxograma das etapas de análise estatística.

Neste contexto, o teste *post-hoc* de Tukey foi utilizado para identificar se há diferenças estatisticamente significativas inter-grupo e entre quais grupos estas diferenças se apresentam. Dentre os testes *post-hoc* mais comuns, o teste de Tukey foi escolhido pelo fato de preservar o nível de significância pré-definido de 5%, apesar do aumento do número de médias a serem analisadas. No teste *post-hoc* de Duncan, por exemplo, ao serem analisadas as diferenças entre duas médias num intervalo de confiança de 0,95, só é possível rejeitar a hipótese nula com  $p < 0,05$ . Porém, ao aumentar o número de médias a serem analisadas para três, como no caso deste estudo, o intervalo de confiança é reduzido para  $(0,95)^2 = 0,9025$  e o nível de significância aumentaria para 0,0975, aumentando a probabilidade de rejeição da hipótese nula, pois é mais fácil rejeitá-la com  $p < 0,0975$  do que com  $p < 0,05$  (Gomes, 2000a). Em outras palavras, o teste de Tukey é mais rigoroso em relação ao teste de Duncan, pois é mais difícil afirmar que há diferença estatisticamente significativa intergrupo. No entanto, o nível de significância definido *a priori* é mantido, apesar do incremento do número de grupos a serem analisados.

Caso haja rejeição da hipótese  $H_{0(ii)}$  pelo teste de Tukey, ao apresentar os resultados, é possível demonstrar a magnitude da diferença inter-grupo com relação ao nível de ambiguidade.

### **3.5 Atribuições do avaliador**

Na coleta de dados do estudo-piloto foi solicitada a descrição do protótipo apenas em LN. Do mesmo modo ocorreu a descrição do protótipo pelo GC do estudo experimental. No entanto, aos sujeitos do estudo experimental designados aos grupos experimentais GENC e GEMEF, foi concedida uma breve orientação sobre a tarefa a ser desempenhada. Além disso, durante todo o procedimento, os grupos experimentais tiveram à disposição um material de referência com a descrição de outro processo, utilizando o método de notação específico do grupo para o qual foi designado. Nenhum grupo teve informação acerca da tarefa desempenhada por outro grupo e não houve limitação com relação ao tempo de execução da tarefa.

### **3.6 Atribuições do leitor-testador**

A partir da aplicação da técnica LBT, abordada na Seção 2.3.1, e com base nos requisitos especificados pelos sujeitos, o leitor-testador adotou o seguinte procedimento:

1. Em caso de falhas, estas foram classificadas de acordo com o cenário para classificação de falhas do Anexo A, seguindo o cenário específico para o leitor-testador, apresentado no Anexo A;
2. Toma-se como referência o protótipo de baixa fidelidade e seus requisitos: Tabela 2 (estudo-piloto) e Tabela 5 (estudo experimental);
3. As falhas identificadas e classificadas durante a leitura foram reportadas no Formulário 1 do Anexo A.

Conforme mencionado anteriormente, na Seção 3.2.1 que trata da variável dependente, a unidade de requisito foi definida pela transição da MEF, pelo fato dela conter uma tríade estado-ação-estado testável. Se, por algum motivo, o requisito especificado pelo sujeito não contemplar o conteúdo expresso na tríade, a falha é contabilizada. Na avaliação do GENC, apenas os sintagmas rotulados foram avaliados pelos testadores.

As falhas identificáveis foram: omissão; informação ambígua; fato incorreto; informação alheia; e diversas. No cenário para a perspectiva do testador do Anexo A está descrito o procedimento a ser adotado pelo testador para detectar essas falhas na especificação dos requisitos (Lahtinen, 2012).

### **3.7 Hipóteses secundárias**

Para o cumprimento do item i previsto na Seção 1.3.2, que trata dos objetivos específicos, foi conduzido um estudo-piloto que teve como ponto de partida as seguintes hipóteses:

i.

$H_{0(p)}$ : *A amostra não é proveniente de uma população-alvo normalmente distribuída quanto ao nível de ambiguidade na especificação de requisitos funcionais em LN.*

$H_{1(p)}$ : *A amostra é proveniente de uma população-alvo normalmente distribuída quanto ao nível de ambiguidade na especificação de requisitos funcionais em LN.*

Após a proposição do método combinado de notação para a modelagem de processos, foi conduzido um estudo experimental para o cumprimento dos itens iii e iv previstos na Seção 1.3.2. Este estudo experimental teve como ponto de partida as seguintes hipóteses:

ii.

$H_{0(ii)}$ : *Não há diferença inter-grupo no nível de ambiguidade do processo descrito na especificação de requisitos funcionais.*

$H_{1(ii)}$ : *Há diferença inter-grupo no nível de ambiguidade do processo descrito na especificação de requisitos funcionais.*

## **CAPÍTULO 4: RESULTADOS**

### **4.1 Estudo-piloto**

#### **4.1.1 Teste de Shapiro-Wilk**

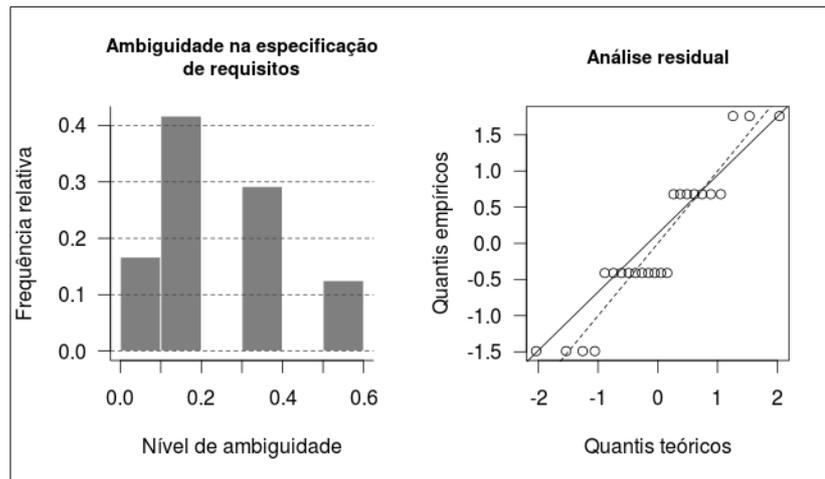
No teste de Shapiro-Wilk a hipótese nula afirma que a amostra é proveniente de uma população normalmente distribuída. Por outro lado, a hipótese nula  $H_{0(p)}$  (Seção 3.7i) do presente estudo é contrária, pois afirma que a amostra não é proveniente de uma população normalmente distribuída.

O resultado do teste de aderência foi de  $W = 0.88$  ( $p < 0.05$ ). Adotando-se o nível de significância de 5%, como o  $W$  calculado é menor que o  $W$  crítico tabelado (0,916), a hipótese nula de Shapiro-Wilk foi rejeitada. Este fato implicou em não rejeitar a hipótese nula  $H_{0(p)}$  do presente estudo, sugerindo que a amostra não é proveniente de uma população normalmente distribuída.

#### **4.1.2 Análise residual**

O gráfico quantil-quantil representado na Figura 7 (direita), contém no eixo das ordenadas, os quantis empíricos do nível de ambiguidade padronizados em *score z*. No eixo das abscissas estão dispostos os quantis teóricos referentes à uma distribuição normal padrão. Desta forma é possível comparar a linha pontilhada, onde se concentram os resíduos da distribuição normal padrão, com a concentração dos resíduos referentes ao nível de ambiguidade na linha cheia. Nota-se que a linha cheia apenas intercepta a linha pontilhada, o que representa, visualmente, a não-aderência do perfil do nível de ambiguidade da amostra com a curva de Gauss. Além disso, os círculos plotados no gráfico sugerem uma fuga de normalidade que

pode ser atribuída ao fato dos dados que compõem a métrica do nível de ambiguidade serem de caráter discreto, formando um padrão escada. O histograma de frequência relativa do nível de ambiguidade da especificação de requisitos foi também representado na Figura 7 (esquerda). Nele é possível visualizar o perfil da distribuição do nível de ambiguidade na amostra.

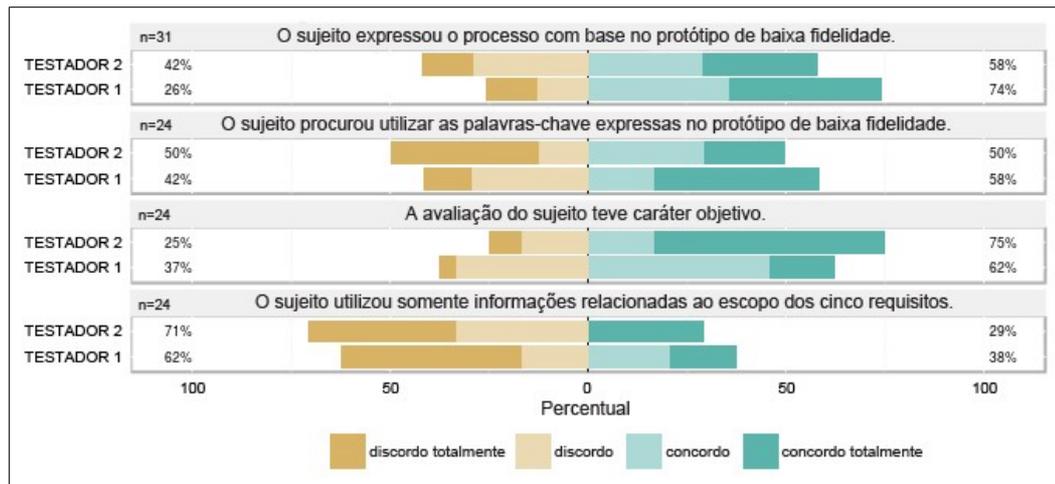


**Figura 7:** Histograma de frequência relativa do nível de ambiguidade da especificação de requisitos; e gráfico quantil-quantil para análise residual – linha cheia: concentração de resíduos empíricos; linha pontilhada: concentração de resíduos teóricos da curva normal padrão.

#### 4.1.3 Escala de Likert

Quatro questões críticas foram observadas pelos testadores durante a análise da amostra. Estas questões referentes à aplicação da técnica LBT foram avaliadas de forma qualitativa pelo uso da Escala de Likert da Figura 8 e da análise dos itens de Likert da Tabela 8. A primeira questão serviu como critério para descartar sujeitos da amostra quando ambos os testadores concordaram com o fato do sujeito não ter descrito o processo de compra com base no protótipo de baixa fidelidade. Deste modo, 22.58% dos sujeitos foram excluídos das análises subsequentes. Assim, a avaliação dos demais itens de Likert foi realizada com os 24 sujeitos restantes. Com relação ao segundo item apresentado na Figura 8, observa-se que mesmo dentre os sujeitos válidos, houve um consenso entre os testadores de que 41.67% da amostra não utilizaram palavras-chave, fato que afetou a testabilidade dos cinco requisitos

previstos na Tabela 2. Outro consenso entre os testadores foi que 54.17% das avaliações tiveram um caráter objetivo. Neste quesito, o nível de subjetividade foi de 16.67%. Por fim, em 58.33% dos casos foi possível notar a presença de informações fora do escopo dos cinco requisitos avaliados.



**Figura 8:** Escala de Likert com questões críticas experimentadas na utilização da técnica LBT durante a rotina de análise dos dados do estudo-piloto.

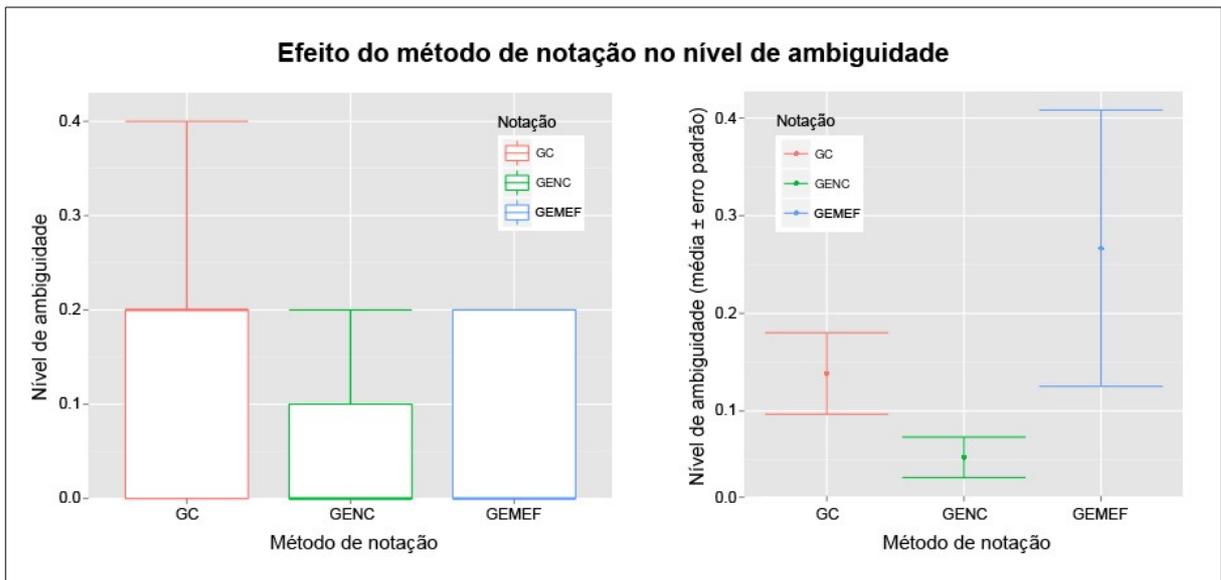
**Tabela 8:** Análise dos itens de Likert no estudo-piloto.

Item de Likert	Consenso		Não-consenso	Spearman
	Concordância	Discordância		
L1: O sujeito expressou o processo com base no protótipo de baixa fidelidade.	54.84%	22.58%	22.58%	0.77
L2: O sujeito procurou utilizar as palavras-chave expressas no protótipo de baixa fidelidade.	50.00%	41.67%	8.33%	0.73
L3: A avaliação do sujeito teve caráter objetivo.	54.17%	16.67%	29.17%	0.45
L4: O sujeito utilizou somente informações relacionadas ao escopo dos cinco requisitos.	25.00%	58.33%	16.67%	0.67

## 4.2 Estudo experimental

### 4.2.1 Análise de Variância

Na ANOVA de fator único e DCC, a hipótese básica  $H_{0(i)}$  não foi rejeitada ao considerar o nível de significância de 5%, pois  $p > \alpha$  ( $0.07 > 0.05$ ) e  $F < F$  crítico ( $2.89 < 3.24$ ). Este resultado sugere que o método de notação, utilizado na modelagem de processos, não afeta o nível de ambiguidade do processo descrito na especificação de requisitos funcionais ( $p > 0.05$ ). Na Figura 9 (esquerda) o efeito do método de notação no nível de ambiguidade, medido pela métrica  $Q_a$ , é representado pelo diagrama de caixa. Nota-se, pela mediana, que o nível de ambiguidade da LN (GC) é maior em relação à NC (GENC) e MEF (GEMEF). Na Figura 9 (direita), o nível médio de ambiguidade e o erro padrão são apresentados: GC ( $0.14 \pm 0.04$ ), GENC ( $0.05 \pm 0.02$ ) e GEMEF ( $0.27 \pm 0.14$ ). A comparação de médias sugere que: a NC é o melhor método para reduzir o nível de ambiguidade da especificação de requisitos; a especificação de requisitos expressa em MEF, gera o maior o nível de ambiguidade dentre as notações avaliadas. No entanto, estas tendências não são estatisticamente significativas ( $p > 0.05$ ). Na Tabela 9 foi apresentado o resumo dos dados estatísticos obtidos.



**Figura 9:** Efeito do método de notação de modelagem de processo no nível de ambiguidade da especificação dos requisitos funcionais de sistemas de informação empresariais.

**Tabela 9:** Resumo dos dados estatísticos observados.

Grupo	n	Média	Mediana	Máximo	Desvio-padrão ( $\sigma$ )	Variância ( $\sigma^2$ )
GC	13	0.14	0.20	0.40	0.15	0.02
GENC	19	0.05	0.00	0.20	0.09	0.01
GEMEF	9	0.27	0.00	1.00	0.42	0.18

#### 4.2.2 Teste de Kruskal-Wallis

A análise não-paramétrica que foi realizada pelo Teste de Kruskal-Wallis apontou resultados análogos à ANOVA de fator único. A hipótese básica  $H_{0(i)}$  não foi rejeitada ao considerar o nível de significância de 5%, pois  $p > \alpha$  ( $0.20 > 0.05$ ). Assim, este resultado também sugere que o método de notação, utilizado na modelagem de processos, não afeta o nível de ambiguidade do processo descrito na especificação de requisitos funcionais ( $p > 0.05$ ).

### 4.2.3 Teste de Levene

Pelo Teste de Levene padrão, que utiliza a média como parâmetro, a hipótese de homocedasticidade foi rejeitada pois  $p < \alpha$  ( $0.00006 < 0.05$ ). Por outro lado, no Teste de Levene calculado pela mediana (Teste Brown–Forsythe), a hipótese de homocedasticidade não foi rejeitada pois  $p > \alpha$  ( $0.056 > 0.05$ ).

### 4.2.4 Teste de Shapiro-Wilk

No teste de Shapiro-Wilk a hipótese nula afirma que a amostra é proveniente de uma população normalmente distribuída. Por outro lado, a hipótese nula  $H_{0(p)}$  (Seção 3.7i) do presente estudo é contrária, pois afirma que a amostra não é proveniente de uma população normalmente distribuída.

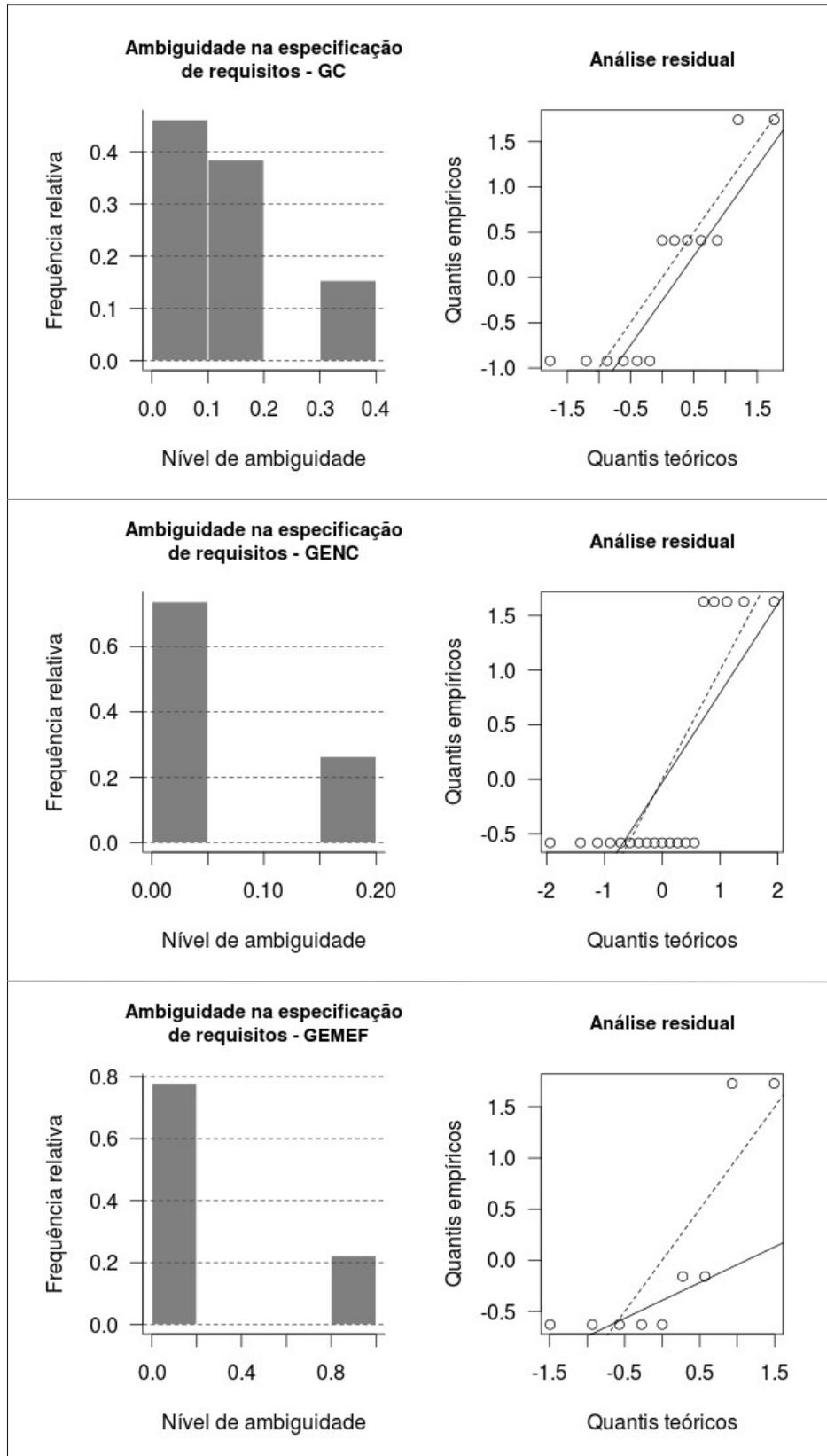
O resultado do teste de aderência para cada um dos grupos experimentais está expresso na Tabela 10. A hipótese nula de Shapiro-Wilk foi rejeitada ao nível de significância de 5%, porque em todos os grupos experimentais o  $W$  calculado é menor que o  $W$  crítico tabelado. Este fato implicou em não rejeitar a hipótese nula  $H_{0(p)}$  do presente estudo, sugerindo que a nenhum dos grupos é proveniente de uma população normalmente distribuída.

**Tabela 10:** Resultado do teste de aderência de Shapiro-Wilk em cada um dos grupos experimentais.  $p^*$ : comparação do  $p$  calculado com o nível de significância ( $\alpha = 0.05$ );  $W^*$ : comparação do  $W$  com  $W$  crítico.

Grupo	n	W	W*	p	p*
GC	13	0.79	$W < 0.866$	0.0052260	$p < 0.05$
GENC	19	0.55	$W < 0.901$	0.0000016	$p < 0.05$
GEMEF	9	0.66	$W < 0.829$	0.0004289	$p < 0.05$

#### 4.2.5 Análise residual

O gráfico quantil-quantil representado na Figura 10 (direita), contém no eixo das ordenadas, os quantis empíricos do nível de ambiguidade padronizados em *score z*. No eixo das abscissas estão dispostos os quantis teóricos referentes à uma distribuição normal padrão. Desta forma é possível comparar a linha pontilhada, onde concentram-se os resíduos da distribuição normal padrão, com a concentração dos resíduos referentes ao nível de ambiguidade na linha cheia. Nota-se que a linha cheia apenas intercepta a linha pontilhada, o que representa, visualmente, a não-aderência do perfil do nível de ambiguidade dos grupos GENC e GEMEF com a curva de Gauss. A não-aderência também foi observada no GC, porém não houve sequer interceptação neste caso. Além disso, os círculos plotados no gráfico sugerem uma fuga de normalidade que pode ser atribuída ao fato dos dados que compõem a métrica do nível de ambiguidade serem de caráter discreto, formando um padrão escada. O histograma de frequência relativa do nível de ambiguidade da especificação de requisitos foi também representado na Figura 10 (esquerda). Nele é possível visualizar o perfil da distribuição do nível de ambiguidade para cada um dos grupos.



**Figura 10:** Histogramas de frequência relativa do nível de ambiguidade da especificação de requisitos; e gráficos quantil-quantil para análise residual – linha cheia: concentração de resíduos empíricos; linha pontilhada: concentração de resíduos teóricos da curva normal padrão.

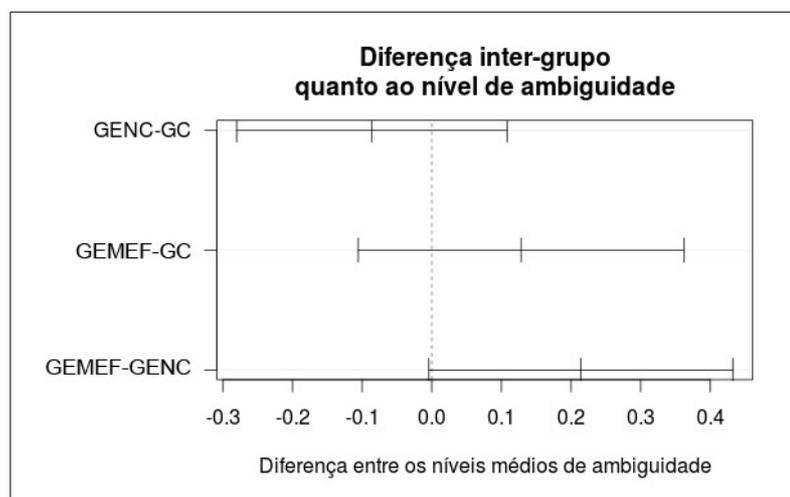
#### 4.2.6 Teste post-hoc de Tukey

O Teste post-hoc de Tukey sugere que não há diferença estatisticamente significativa inter-grupo quanto ao nível de ambiguidade do processo descrito na especificação de requisitos funcionais ( $p > 0.05$ ). Assim, o resultado da comparação pareada do nível médio de ambiguidade sugere que a hipótese nula  $H_{0(ii)}$  (Seção 3.7ii) não foi rejeitada.

**Tabela 11:** Teste post-hoc de Tukey: comparação pareada do nível médio de ambiguidade.  $p^*$ : comparação do  $p$  calculado com o nível de significância ( $\alpha = 0.05$ ).

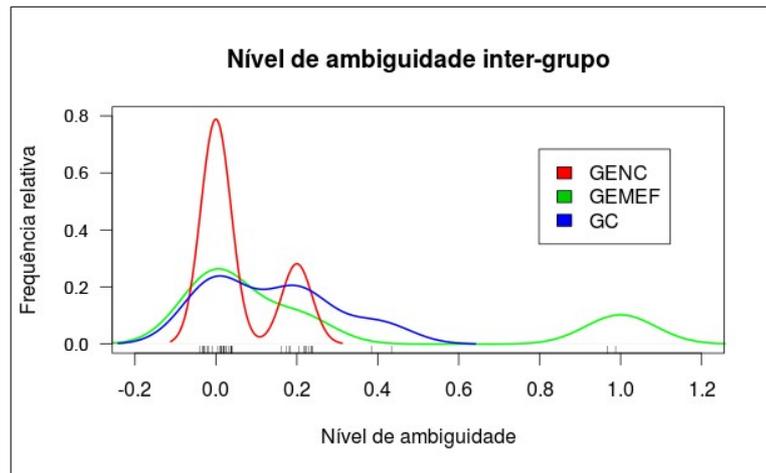
Diferença inter-grupo	$p$	$p^*$	Erro Tipo II ( $\beta$ )	Poder do Teste
GENC-GC	0.533	$p > 0.05$	0.59	0.41
GEMEF-GC	0.383	$p > 0.05$	0.58	0.42
GEMEF-GENC	0.056	$p > 0.05$	0.65	0.35

Ao adotar o nível de significância de 5% não houve nenhuma diferença estatisticamente significativa entre os pares analisados (Tabela 11). O fato da hipótese nula não ter sido rejeitada ressaltou a importância de se avaliar o Erro Tipo II ( $\beta$ ) - probabilidade de não rejeitar uma falsa hipótese nula. Assim, estimou-se o Poder do Teste estatístico definido por  $1-\beta$ , ou seja, a probabilidade de encontrar uma diferença inter-grupo que, de fato, procede. Na Figura 11 nota-se que todas as barras horizontais interceptam a linha pontilhada, situação que sugere que todos os pares estão fora do intervalo de confiança de 95% que foi adotado.



**Figura 11:** Teste post-hoc de Tukey: comparação pareada do nível médio de ambiguidade.

O perfil da distribuição do nível de ambiguidade inter-grupo foi representado na Figura 12 pelo polígono de frequência relativa. Tomando como referência o eixo das abcissas, nota-se que houve uma sobreposição da concentração dos resíduos empíricos. Além disso, também é notória a assimetria positiva da distribuição. Em termos gerais o grau de assimetria observado foi de 2.61.

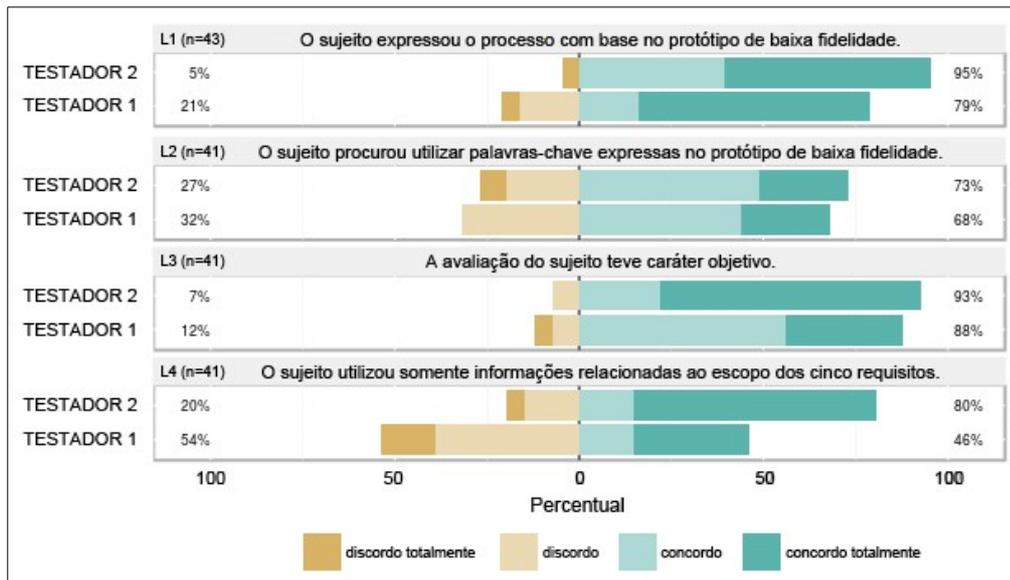


**Figura 12:** Distribuição do nível de ambiguidade inter-grupo.

#### 4.2.7 Escala de Likert

Quatro questões críticas foram observadas pelos testadores durante a análise da amostra. Estas questões referentes à aplicação da técnica LBT foram avaliadas de forma qualitativa pelo uso da Escala de Likert da Figura 13 e Tabela 12. De forma geral, é possível notar o otimismo do testador 2 em relação ao testador 1 no que se refere as questões críticas. A primeira questão serviu como critério para descartar sujeitos da amostra quando ambos os testadores concordaram com o fato do sujeito não ter descrito o processo de compra com base no protótipo de baixa fidelidade. Deste modo, 4.65% dos 43 sujeitos foram excluídos das análises subsequentes. Assim, a avaliação dos demais itens de Likert foi realizada com os 41 sujeitos restantes. Com relação ao segundo item apresentado na Figura 13, observa-se que mesmo dentre os sujeitos válidos, houve um consenso entre os testadores de que 17.07% da amostra não utilizaram palavras-chave, fato que

afetou a testabilidade dos cinco requisitos previstos na Tabela 5. Outro consenso entre os testadores foi que 85.37% das avaliações tiveram um caráter objetivo. Neste quesito, o nível de subjetividade foi de 4.88%. Por fim, em 19.51% dos casos foi possível notar a presença de informações fora do escopo dos cinco requisitos avaliados.



**Figura 13:** Escala de Likert com questões críticas experimentadas na utilização da técnica LBT durante a rotina de análise dos dados do estudo experimental.

**Tabela 12:** Análise dos itens de Likert no estudo experimental.

Item de Likert	Consenso		Não-consenso	Spearman
	Concordância	Discordância		
L1: O sujeito expressou o processo com base no protótipo de baixa fidelidade.	79.07%	4.65%	16.28%	0.59
L2: O sujeito procurou utilizar as palavras-chave expressas no protótipo de baixa fidelidade.	58.54%	17.07%	24.39%	0.50
L3: A avaliação do sujeito teve caráter objetivo.	85.37%	4.88%	9.76%	0.40
L4: O sujeito utilizou somente informações relacionadas ao escopo dos cinco requisitos.	46.34%	19.51%	34.15%	0.49

## CAPÍTULO 5: DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estudo-piloto 83.87% dos sujeitos da amostra foram abordados pelo mesmo avaliador, minimizando possíveis discrepâncias na abordagem. Apesar do nível de subjetividade da avaliação ter sido relativamente baixo, não houve consenso entre os testadores em 29.17% dos casos para este item. A correlação de postos de Spearman foi de 0.45 neste quesito, sugerindo uma baixa relação entre a opinião dos testadores ao avaliar a subjetividade. A dificuldade em avaliá-la pode ter sido afetada pelo fato de 58.33% dos sujeitos terem apresentado informação fora do escopo dos cinco requisitos passíveis de avaliação.

Ao analisar o cumprimento dos pressupostos da ANOVA reportados na Seção 3.5 (Tabela 7) com base nos resultados do estudo-piloto e do estudo experimental é possível considerar os seguintes aspectos:

1. Normalidade: o teste de aderência de Shapiro-Wilk e o gráfico quantil-quantil para a análise residual parecem indicar que a distribuição do valor da variável nível de ambiguidade não apresentou perfil normal em nenhum dos grupos analisados ( $p < 0.05$ ). A não-normalidade da especificação dos requisitos funcionais em LN, observada no estudo-piloto, confirmou-se no grupo controle do estudo experimental e também foi observada nos grupos experimentais GENC e GEMEF.
2. Independência: a amostragem de dados foi aleatória para assegurar a independência das observações. A aleatorização prevista no processo de DCC assegurou que a ocorrência de uma observação não afetou a probabilidade de ocorrência de outra observação.
1. Homocedasticidade: o Teste de Levene calculado pela mediana (Teste de Brown–Forsythe) demonstrou que a hipótese de homocedasticidade não foi rejeitada ( $p > 0.05$ ). Este teste foi adotado por apresentar boa robustez em dados com distribuição não-normal. O Teste de Levene padrão, que utiliza a média como parâmetro, rejeitou a hipótese de homocedasticidade. No entanto, ele não foi considerado, pois é mais indicado para distribuições que

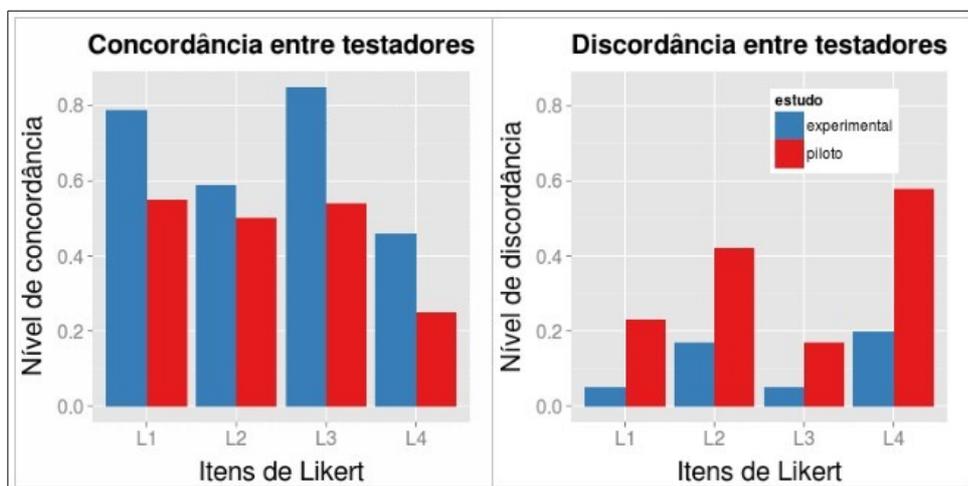
apresentam um perfil normal – situação que não ocorreu (NIST/SEMATECH, 2013). Assim, não houve diferença inter-grupo com relação à variância. Portanto, as variâncias são homogêneas, fato que reduz o risco de que as variações atribuídas às diferenças individuais sejam maiores do que aquelas relativas a aplicação do fator propriamente dito. Essa homogeneidade é fundamental para favorecer a validade de conclusão, mas compromete a validade externa pois representa uma ameaça à heterogeneidade aleatória dos sujeitos.

Com base nos aspectos mencionados é possível inferir que apenas o pressuposto da normalidade não foi cumprido. Como os pressupostos para a aplicação da ANOVA (análise paramétrica) não foram cumpridos de forma integral, a análise não-paramétrica seria a mais apropriada. No entanto, como o teste de aderência de Shapiro-Wilk é muito sensível à desvios de normalidade, a rejeição à hipótese de normalidade é muito provável. Assim, optou-se por conduzir as análises paramétrica (ANOVA de fator único e DCC) e não-paramétrica (Teste de Kruskal-Wallis). Os resultados obtidos por ambas foram similares.

Tanto no estudo-piloto quanto no estudo experimental houve restrições quanto à disponibilidade de recursos para a realização do experimento, de maneira simultânea, com todos os sujeitos. Situação que motivou a aplicação do experimento em ocasiões distintas. Contudo, no caso do estudo experimental, todos os sujeitos da amostra foram abordados pelo mesmo avaliador, minimizando possíveis discrepâncias na abordagem. Apesar do nível de subjetividade da avaliação ter sido baixo, não houve consenso entre os testadores em 9.76% dos casos para este item. A correlação de postos de Spearman foi de 0.40 neste quesito, sugerindo uma baixa relação entre a opinião dos testadores ao avaliar a subjetividade. Assim como no estudo-piloto, a dificuldade em avaliá-la pode ter sido afetada pelo fato de 19.51% dos sujeitos apresentarem informação fora do escopo dos cinco requisitos passíveis de avaliação.

No estudo-piloto o principal fator que pode ter afetado, de forma negativa, todos os itens de Likert avaliados foi a complacência nas orientações aos sujeitos acerca de como a tarefa deveria ser desempenhada. Naquela ocasião, como foi utilizado

um protótipo de baixa fidelidade com alto nível de abstração, foi permitido aos sujeitos que descrevessem tarefas do processo de compra, que poderiam estar implícitas no modelo (Silva; Carvalho; Ferreira, 2013). No entanto, no estudo experimental os sujeitos foram orientados à descrever estritamente o que estava representado no protótipo de baixa fidelidade. Além disso, o último protótipo utilizado caracterizou-se por um nível de abstração mais baixo, a fim de representar o processo de compra de forma mais realística. Assim, os dados sugerem que o efeito combinado da redução do nível de complacência nas orientações com a redução do nível de abstração do protótipo, podem ter afetado, de forma positiva, todos os itens de Likert avaliados (Figura 14).



**Figura 14:** Análise comparativa dos itens críticos experimentados durante a LBT no estudo-piloto e experimental.

A técnica LBT demonstrou uma aplicabilidade favorável enquanto ferramenta específica para a análise proposta. No entanto, a utilização da métrica do nível de ambiguidade  $Q_a$  associada à técnica LBT subestimou o nível de ambiguidade. Situação que foi evidenciada pela assimetria positiva da distribuição, cujo valor observado foi de 2.61 (Figura 9 – esquerda; Figura 12). Como o numerador de  $Q_a$  ( $n_{ui}$ ) só é contabilizado quando há concordância entre os testadores em relação à ambiguidade do requisito, a opinião do testador mais otimista tende a prevalecer. Além disso, a probabilidade de atribuir ambiguidade à um requisito é muito pequena em termos matemáticos. Há seis rótulos possíveis na LBT, caracterizando o seguinte espaço amostral:  $LBT = \{\text{omissão, informação ambígua, fato incorreto, informação alheia, outras falhas, nenhuma falha}\}$ . Entre os testadores pode haver T

= {concordância, discordância, não-consenso}, totalizando outros três rótulos possíveis. A ambiguidade só é contabilizada em  $n_{ui}$  se o rótulo da LBT for “informação ambígua” e houver “concordância” entre os dois testadores. Sendo  $LBT(\text{informação ambígua}) \cong 16.67\%$  e  $T(\text{concordância}) \cong 33.33\%$ , a probabilidade de contabilizar a ambiguidade em  $n_{ui}$  é definido por  $P(\text{ambiguidade}) = LBT(\text{informação ambígua}) \cap T(\text{concordância}) \cong 5.56\%$ . Uma alternativa para minimizar este problema seria reduzir o número de rótulos possíveis na LBT. Algo como  $LBT = \{\text{informação ambígua, outras falhas, nenhuma falha}\}$ . Assim, a probabilidade de contabilizar a ambiguidade em  $n_{ui}$  atingiria aproximadamente 11.11%, forçando a redução da assimetria no perfil da distribuição dos dados para favorecer a realização de análises comparativas sob uma perspectiva mais favorável.

Algumas situações parecem ocorrer em caráter circunstancial (Figura 9 - direita). É o caso da baixa ambiguidade relativa da especificação de requisitos em LN, em face ao conceito pré-estabelecido de que a LN apresenta uma alta ambiguidade. Contraponto também observado na alta ambiguidade relativa da notação formal, em face ao conceito pré-estabelecido de que a notação formal apresenta uma baixa ambiguidade. Numa análise meramente qualitativa e independente de significância estatística, os resultados deste estudo apontam que a ambiguidade inerente à LN e a ausência de ambiguidade inerente à notação formal são altamente dependentes do uso. É provável que estas propriedades potenciais e intrínsecas dos métodos de notação tendam a se manifestar de acordo com o grau de proficiência e/ou de maturação do usuário.

Assim, deve-se avaliar o efeito do treinamento no nível de ambiguidade. A LN pode ter apresentado um nível de ambiguidade relativamente baixo por ser uma notação mais usual para os sujeitos. A notação formal, ainda que apresente um bom potencial para a redução da ambiguidade, precisa ser exercitada para evidenciar seus efeitos. Deste modo, a avaliação do efeito do fator treinamento no nível de ambiguidade é imprescindível para estimar, de forma mais robusta, o "efeito notação combinada" enquanto método de notação alternativo.

A mensuração da variável nível de ambiguidade é uma tarefa difícil por ser muito

sensível aos fatores intervenientes. É necessário que o escopo experimental seja muito bem elaborado e definido para que a fidedignidade e a reprodutibilidade científica das avaliações sejam preservadas. O zelo por estes aspectos torna o ambiente mais assertivo para observações do fenômeno.

Como os sujeitos são estudantes de graduação em ciência da computação e a especificação dos requisitos funcionais pode ser realizada por programadores, testadores, analistas e engenheiros de diversas áreas, não se pode generalizar os resultados deste estudo. Porém, a disponibilidade de recursos humanos restringe sobremaneira a seleção de uma amostra que represente a população-alvo desejável de forma fidedigna.

A partir dos problemas levantados no estudo-piloto, os resultados obtidos apontam que a técnica LBT demonstrou uma aplicabilidade satisfatória para analisar o nível de ambiguidade da especificação dos requisitos funcionais de SIE's. Além disso, os resultados sugerem que a amostra não é proveniente de uma população-alvo normalmente distribuída quanto ao nível de ambiguidade em LN.

No estudo experimental, observou-se o efeito do método de notação de modelagem de processo no nível de ambiguidade da especificação de requisitos. Via de regra, no desenvolvimento de sistemas, os requisitos são expressos em LN e é desejável que sua especificação apresente o menor nível possível de ambiguidade. Portanto, esta pesquisa experimental propôs uma combinação da LN, amplamente utilizada para tal propósito, com outro método de notação para induzir a redução do nível de ambiguidade – a Máquina de Estados Finitos.

Os resultados apontam que não houve evidência estatisticamente significativa para afirmar que o método de notação, utilizado na modelagem de processos, afete o nível de ambiguidade. Além disso, não houve diferença estatisticamente significativa inter-grupo no nível de ambiguidade. Assim, não se pode afirmar que a combinação da LN com a MEF reduza o nível de ambiguidade da especificação dos requisitos funcionais de SIE's.

Para a realização de estudos posteriores neste campo do conhecimento, deve-se considerar o efeito do treinamento no método de notação para induzir

ajustes no nível de ambiguidade. Em trabalhos futuros, a redução do número de rótulos possíveis na LBT deve ser considerada para aumentar a probabilidade matemática de consenso (concordância/discordância) entre testadores com relação às falhas. Isso poderá contribuir para a redução da assimetria no perfil da distribuição do nível de ambiguidade, possibilitando a realização de análises comparativas sob uma perspectiva mais favorável. Tal ação deve contribuir para evitar que o nível de ambiguidade seja subestimado e altamente condicionado à opinião do testador mais otimista. Deve-se ressaltar que é importante manter reduzido o nível de complacência nas orientações e o nível de abstração do protótipo de baixa fidelidade para melhorar a qualidade da análise.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aalst, W. M. P. (2011) Process Modeling and Analysis. *In: Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Heidelberg: Springer-Verlag. Cap. 2, p. 29-57.
- Albertin, A. L. (2012) Comércio eletrônico: da evolução para as novas oportunidades. *GVExecutivo*. 11(2): 66-70.
- Albertin, A. L.; Moura, R. M. (2002) Comércio eletrônico: mais evolução, menos revolução. *Revista de Administração de Empresas*. 42(3): 114-117.
- Bailey, R. A. (2008a) Forward look. *In: Design of Comparative Experiments*. Cambridge: Cambridge University Press. Cap. 1, p. 1-16.
- \_\_\_\_\_. (2008b) Unstructured experiments. *In: Design of Comparative Experiments*. Cambridge: Cambridge University Press. Cap. 2, p. 19-41.
- Basili, V. R.; Green, S.; Laitenberger O.; Lanubile, F.; Shull, F.; Sørungård, S.; Zelkowitz, M. V. (1996) The empirical investigation of perspective-based reading, *Empirical Software Engineering: An International Journal*. 1(2): 133–164.
- \_\_\_\_\_. Lab Package for the Empirical Investigation of Perspective-Based Reading, Disponível em: <<http://www.cs.umd.edu/projects/SoftEng/ESEG/>>. Acesso em: 25 mar. 2013.
- Bird, S.; Klein, E.; Loper, E. (2009) *Natural Language Processing with Python*. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.
- Bisqueria, R.; Sarriera, J. C.; Martínez, F. (2007a) Provas de homoscedasticidade. *In: Introdução a Estatística: Enfoque informático com o pacote estatístico SPSS*. Porto Alegre: Bookman. Cap.5, p. 83-87.
- \_\_\_\_\_. (2007b) Análise da variância. *In: Introdução a Estatística: Enfoque informático com o pacote estatístico SPSS*. Porto Alegre: Bookman. Cap. 8, p. 115-129.
- Bokhari, M. U.; Siddiqui, S. T. (2011) Metrics for Requirements Engineering and Automated Requirements Tools. Proceedings of the 5th National Conference; Indiacom-2011 Computing for Nation Development, 2011, New Delhi. New Delhi: Bharati Vidyapeeth's Institute of Computer Applications and Management.
- Bräscher, M. A ambiguidade na recuperação da informação. *DataGramaZero - Revista de Ciência da Informação*, v. 3, n. 1, fev., 2002. Disponível em: <[http://www.dgz.org.br/fev02/F\\_I\\_art.htm](http://www.dgz.org.br/fev02/F_I_art.htm)>. Acesso em: 07 mai. 2013.
- Bryer, J.; Speerschneider, K. Likert: functions to analyze and visualize likert type items. R package version 1.1. 2012. Disponível em: <<http://jason.bryer.org/likert>>. Acesso em: 7 jul. 2013.
- Card, D.N. (1998) Learning from our mistakes with defect causal analysis. *IEEE Software*. 15(1): 56–63.

- Carvalho, R. A.; Carvalho, F. L. C.; Manhaes, R. S. (2011) Business Language Driven Development: Joining Business Process Models to Automated Tests. Proceedings of the V IFIP TC8 International Conference on Enterprise Information Systems, V IFIP TC8, The IFIP International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems, Aalborg, Denmark, DK.
- Carvalho, R. A.; Silva, F. L. C.; Manhaes, R. S. (2012) Advances in Enterprise Information Systems II. *In: Møller, C.; Chaudhry, S. S. (Orgs.). Business Language Driven Development: Joining Business Process Models to Automated Tests.* Leiden, NL: CRC Press. p. 167-177.
- Carvalho, R. A.; Manhaes, R. S.; Silva, F. L. C. *Introducing Business Language Driven Development.* Relatório Técnico, 2010. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1011.2238>> Acesso em: 25 mai. 2013.
- Ceccato, M.; Kiyavitskaya, N.; Zeni, N.; Mich, L.; Berry, D. M. (2004) Ambiguity identification and measurement in natural language texts. Trento: Department of Information and Communication Technology – University of Trento. 30 p. (Technical Report DIT-04-111).
- Cohn, M. (2004) An Overview. *In: User Stories Applied for Agile Software Development.* Boston: Addison-Wesley. Cap. 1, p. 3-15.
- Coughlan, J.; Lycett, M.; Macredie, R. D. (2003) Communication issues in requirements elicitation: a content analysis of stakeholder experiences. *Information and Software Technology.* 45(8): 525-537.
- Coughlan, J.; Macredie, R. D. (2002) Effective communication in requirements elicitation: A comparison of methodologies. *Journal of Requirements Engineering.* 7(2): 47-60.
- Davis, A.; Overmyer, S.; Jordan, K.; Caruso, J.; Dandashi, F.; Dinh, A.; Kincaid, G.; Ledebor, G.; Reynolds, P.; Sitaram, A., Ta, A.; Theofanos, M. (1993) Identifying and measuring quality in a software requirements specification. Proceedings of The First International Software Metrics Symposium.
- Gardener, M. (2012) Data: Distribution. *In: Beginning R: The Statistical Programming Language.* Indianapolis: John Wiley & Sons. Cap. 5, p. 151-177.
- Gomes, F. P. (2000a) Os testes ou provas de significância. *In: Curso de estatística experimental.* Piracicaba/SP: F. Pimentel-Gomes. Cap. 3, p. 20-45.
- \_\_\_\_\_. (2000b) Experimentos inteiramente casualizados. *In: Curso de estatística experimental.* Piracicaba/SP: F. Pimentel-Gomes. Cap. 4, p. 48-60.
- IEEE Std 830. (1998) *IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications.* p. 1–40.
- Grondelle, J.; Heller, R.; Haandel, E.; Verburg, T. (2010) Involving business users in formal modeling using natural language pattern sentences. Proceedings of The 17th International Conference on Knowledge Engineering and Management by the Masses, EKAW'10, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. p. 31-43.

- Hopcroft, J. E.; Ullman, J. D.; Motwani, R. (2003) Autômatos finitos. *In: Introdução à teoria de autômatos, linguagens e computação*. Rio de Janeiro: Elsevier. Cap. 2, p. 39-88.
- Jørgensen, H. D.; Karlsen, D.; Lillehagen, F. (2007) Product based interoperability – approaches and requirements. *Coordination of Collaborative Engineering - State of the Art and Future Challenges 5th International Workshop on Challenges in Collaborative Engineering, CCE'07, GI, Cracow, Poland*. p. 33-44.
- Jurafsky, D.; Martin, J. H. (2000) *Speech and language processing: an introduction to natural language processing, computational linguistics and speech recognition*. New Jersey: Prentice Hall.
- \_\_\_\_\_. (2000) Regular expressions and automata. *In: Speech and language processing: an introduction to natural language processing, computational linguistics and speech recognition*. New Jersey: Prentice Hall. Cap. 2, p. 21-53.
- Kabacoff, R. I. (2011) Power Analysis. *In: R in action: data analysis and graphics with R*. Shelter Island: Manning Publications. Cap. 10, p. 246-261.
- Kamsties, E.; Berry, D. M.; Paech, B. (2001) Detecting ambiguities in requirements documents using inspections. *Proceedings of The First Workshop on Inspection in Software Engineering, WISE'01, IEEE Computer Society, Kyoto University, Kyoto, Japan*.
- Khalfallah, M.; Figay, N.; Barhamgi, M.; Ghodous, P. (2013) Product-based business processes interoperability. *Proceedings of The 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing, SAC '13, ACM, New York, NY, USA*, p. 1472-1473.
- Kotler, P.; Kartajaya, H.; Setiawan, I. (2012) O marketing da missão junto aos consumidores. *In: Marketing 3.0: as forças que estão definindo o novo marketing centrado no ser humano*. Rio de Janeiro: Elsevier. Cap.3, p.57-78.
- Lanubile, F.; Shull, F.; Basili, V. R. (1998) Experimenting with error abstraction in requirements documents. *Proceedings of Fifth International Software Metrics Symposium, METRICS'98, IEEE Computer Society, Bethesda, MD*, p. 114–121.
- Larson, R.; Farber, B. (2010) Testes qui-quadrado e a distribuição F. *In: Estatística aplicada*. São Paulo: Pearson Prentice Hall. Cap. 10, p. 439-483.
- Lahtinen, J. (2012) Application of the perspective-based reading technique in the nuclear I&C context. *Corsica Work Report 2011 VVT Technology 9*. VTT Technical Research Centre of Finland, Finland.
- Lee, E. A.; Seshia, S. A. Introduction. *Introduction to embedded systems: a cyber-physical systems approach*. Berkeley: UC Berkeley, 2010. Cap. 1, p. 1-15. Disponível em: <<http://leeseshia.org/>>. Acesso em: 8 mai. 2013.
- Leffingwell, D. (2011) A brief history of software requirements methods. *In: Agile software requirements: lean requirements practices for teams, programs, and the enterprise*. Boston: Adisson-Wesley. Cap. 1, p. 3-28.
- Levin, J.; Fox, J. A. (2004) Análise de variância. *In: Estatística para ciências*

- humanas*. São Paulo: Prentice Hall Brasil. Cap. 8, p. 267-292.
- Libreoffice. Disponível em: <<http://www.libreoffice.org/>>. Acesso em: 2 abr. 2013.
- Lin, C.; Lin, K. (2011) A study of information requirement determination process of an executive information system. Information Resources Management Association (IRMA) (Org.). *Enterprise information system: concepts, methodology, tools and applications*. New York: IGI Global. Cap. 4.10, p. 1030-1038.
- Lopes, E. Modalidades de gramática. *In: Fundamentos da linguística contemporânea*. São Paulo: Editora Pensamento-Cultrix, 2008. Cap. 5, p. 183-228.
- Magalhães, M. N.; Lima, A. C. P. (2002) Inferência estatística: testes de hipóteses. *In: Noções de probabilidade e estatística*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. Cap. 8, p. 243-292.
- Manning, C. D.; Schütze, H. (2000) *Foundations of statistical natural language processing*. Cambridge: The MIT Press.
- Mendonça, M. A. A.; Freitas, F. A.; Souza, J. M. (2009) Tecnologia da informação e produtividade na indústria brasileira. *Revista de Administração de Empresas*. 49(1): 74-85.
- Menezes, P. B. (2008a) Hierarquia de classes de linguagens e conclusões. *In: Linguagens formais e autômatos*. Porto Alegre: Bookman. Cap. 9, p. 195-201.
- Menezes, P. B. (2008b) Linguagens regulares. *In: Linguagens formais e autômatos*. Porto Alegre: Bookman. Cap. 3, p. 41-79.
- Mishra, A. (2011) Enterprise resource planning systems: effects and strategic perspectives in organizations. Information Resources Management Association (IRMA) (Org.). *Enterprise information systems: concepts, methodologies, tools and applications*. New York: IGI Global. Cap. 5.9, p. 1318-1326.
- Montgomery, D. C. (2003) Planejamento e análise de experimentos com um único fator: a análise de variância. *In: Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Cap. 12, p. 268-294.
- NIST/SEMATECH. e-Handbook of Statistical Methods. Disponível em: <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>>. Acesso em: 17 mar. 2013.
- Nonaka, I.; Takeuchi, H. (2008) Gestão do conhecimento. *In: Takeuchi, H.; Nonaka, I. (Org.) Teoria da criação do conhecimento organizacional*. Porto Alegre: Bookman. Cap. 3, p. 54-90.
- Norris, G.; Hurley, J. R.; Hartley, K. M.; Dunleavy, J. R.; Balls, J. D. (2001) Os conceitos que suportam o grupo empresarial eletrônico. *In: E-business e ERP: transformando as organizações*. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. Cap. 1, p. 1-15.
- NSI. Disponível em: <<http://nsi.iff.edu.br/ferramenta/should-dsl>>. Acesso em: 9 junho 2013a.
- NSI. Disponível em: <<http://nsi.iff.edu.br/ferramenta/specloud>>. Acesso em: 9 junho

2013b.

- Piantadosi, S. T.; Tily, H.; Gibson, E. (2012) The communicative function of ambiguity in language. *Cognition*. 122(3): 280-291.
- Ponzio, A.; Calefato, P.; Petrilli, S. (2007) Filosofia da linguagem e teoria do conhecimento. *In: Fundamentos de filosofia da linguagem*. Petrópolis: Editora Vozes. Cap. 11, p. 299-320.
- Python Software Foundation. Disponível em: <<http://docs.python.org/tutorial/index.html>>. Acesso em: 9 junho 2013.
- R. Disponível em: <<http://http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 2 abr. 2013.
- Raffin, F. (2009) Rigor e ambiguidade. *In: Pequena introdução à filosofia*. Rio de Janeiro: Editora FGV. Cap. 15, p. 181-191.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 7 jul. 2013.
- Ross, R. G. RuleSpeak® sentence forms: specifying natural-language business rules in english. *Business Rules Journal*, v. 10, n. 4, abr. 2009. Disponível em: <<http://www.BRCommunity.com/a2009/b472.html>>. Acesso em: 28 mai. 2013.
- Schnieder. L.; Arndt, S. Reducing natural-language ambiguities in requirements engineering. *Ask Magazine*, National Aeronautics and Space Administration. n. 49, p. 38-40, 2013. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/offices/oce/appel/ask/issues/49/index.html>> Acesso em: 6 jun. 2013.
- Shull, F.; Rus, I.; Basili, V. (2000) How perspective-based reading can improve requirement inspections. *Journal Computer*. 33(7): 73-79.
- Silva, A. E. C.; Carvalho, R. A.; Ferreira, H. S. Nível de ambiguidade da especificação dos requisitos funcionais de sistemas de informação empresarial: um estudo-piloto. Simpósio de Engenharia de Produção (XX SIMPEP). Bauru, São Paulo, 2013. Disponível em: <[http://www.simpep.feb.unesp.br/abrir\\_arquivo\\_pdf.php?tipo=artigo&evento=8&art=933&cad=17616&opcao=com\\_id](http://www.simpep.feb.unesp.br/abrir_arquivo_pdf.php?tipo=artigo&evento=8&art=933&cad=17616&opcao=com_id)>. Acesso em: 4 jun. 2014.
- Silva, B. L. (2006) *Ambiguidades da língua portuguesa: recorte classificatório para a elaboração de um modelo ontológico*. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) - Departamento de Ciência da Informação e Documentação, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 135p.
- Slack, N.; Chambers, S.; Harland, C.; Harrison, A.; Johnston, R. (2006) Tecnologia de processo. *In: Administração da Produção*. São Paulo: Atlas. Cap.8, p. 178-200.
- Sommerville, I. (2007a) Verificação e validação. *In: Engenharia de Software*. São Paulo: Addison-Wesley. Cap. 22, p. 341-453.
- \_\_\_\_\_. (2007b) Requisitos de software. *In: Engenharia de Software*. São Paulo:

Addison-Wesley. Cap. 6, p. 79-94.

- \_\_\_\_\_. (2007c) Processos de engenharia de requisitos. *In: Engenharia de Software*. São Paulo: Addison-Wesley. Cap. 7, p. 95-111.
- Sørungård, S. (1997) *Verification of Process Conformance in Empirical Studies of Software Development*. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Department of Computer and Information Science, The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 252p.
- Sutcliffe, G. A.; Economou A.; Markis, P. (1999) Tracing Requirements Errors to Problems in the Requirements Engineering Process. *Requirements Engineering*. 4(3): 134-151.
- Thirumaran, M.; Dhavachelvan, P.; Aranganayagi, G. (2011) Evaluating service business logic using finite state machine for dynamic service integration. *International Journal of Computer Applications*. 22(7): 33-39.
- Thirumaran, M.; Dhavachelvan, P.; Naga, V. K. G. (2012) Finite state machine based business logic model for web services change management. International Conference on Advances in Computing and Communications, ICACC 2012, IEEE Computer Society, Cochin, Kerala, IN, p. 174-177.
- Tonet, H. C.; Paz, M. G. T. (2006) Um modelo para o compartilhamento de conhecimento no trabalho. *Revista de Administração Contemporânea*. 10(2): 75-94.
- Turnquist, G. L. (2011) Testing customer stories with behavior driven development. *In: Python testing cookbook*. Birmingham: Packt Publishing. Cap. 4, p. 117-163.
- Walia, G. S.; Carver, J. C. (2009) A systematic literature review to identify and classify software requirement errors. *Information and Software Technology*. 51(7): 1087–1109.

## ANEXO A

### CENÁRIO PARA CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS DURANTE A LEITURA

#### Categorias de Falhas

Encontre todas as categorias de falhas possíveis. Uma falha num documento de requisito é uma omissão, falta de exatidão, ambiguidade ou qualquer coisa que leve à uma solução insatisfatória do problema a ser resolvido. Ela pode ser classificada por qualquer uma das categorias de falhas descritas abaixo (As abreviaturas das categorias de falhas estão entre parênteses!):

**Omissão (O):** ausência de informação sobre o sistema no documento de especificação dos requisitos funcionais.

**Informação ambígua (A):** informações inconsistentes que levam à múltiplas interpretações do documento de especificação dos requisitos funcionais.

**Fato incorreto (I):** alguma sentença contida no documento de especificação dos requisitos funcionais afirma um fato que não pode ser verdade sob as condições especificadas para o sistema.

**Informação Alheia (IA):** fornecimento de informação desnecessária ou inútil.

**Diversas (D):** outras falhas.

Observação 1: Uma falha pode receber 1 ou mais rótulos (O, A, I, IA, D) de categoria.

Observação 2: Se você não tiver certeza da categoria, procure a mais adequada.



## **CENÁRIO PARA A PERSPECTIVA DO TESTADOR**

### **Introdução**

Assuma que você está revisando a especificação de requisitos pela perspectiva do testador. O testador assegura que os requisitos estão corretos ao criar um conjunto de casos de testes que cobrem todas as funcionalidades relevantes do sistema. Um testador precisa de requisitos que são testáveis e não-ambíguos. Nesta perspectiva você criará casos de testes para os requisitos. Um caso de teste consiste de entradas e saídas esperadas para estas entradas. Siga as instruções e responda as perguntas.

### **Instruções**

Para cada requisito, crie um teste ou conjunto de testes que permita que você assegure que uma implementação do sistema satisfaz o requisito. Use sua abordagem e técnica de teste-padrão e incorpore critérios de teste no conjunto de testes. Ao fazer isso, questione-se sobre as perguntas fornecidas abaixo. Registre todas as falhas identificadas.

### **Perguntas**

1. Você tem todas as informações necessárias para identificar o item a ser testado e o critério de teste? Você pode gerar um caso de teste razoável para cada item com base nos critérios?
2. Você pode assegurar que os testes gerados produzirão os valores corretos nas unidades corretas?
3. Há outras interpretações deste requisito que o implementador pode fazer com base na maneira que o requisito foi definido? Estas interpretações podem afetar os testes que você gerou?
4. Há um outro requisito para o qual você criaria um caso de teste similar, mas que teria um resultado contraditório?
5. Os requisitos fazem sentido pelo que você conhece sobre a aplicação ou a partir do que é especificado na descrição geral?