



CIBELY COBO DA SILVA SOUZA

**MEDIDAS DE REQUISITOS DE
SOFTWARE: UM ESTUDO
EXPLORATÓRIO DE APLICABILIDADE**

LAVRAS – MG

2013

CIBELY COBO DA SILVA SOUZA

**MEDIDAS DE REQUISITOS DE SOFTWARE: UM ESTUDO
EXPLORATÓRIO DE APLICABILIDADE**

Monografia de graduação apresentada ao
Colegiado do Curso de Ciência da
Computação, para obtenção do título de
Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador:

Dr. Antônio Maria Pereira Resende

Coorientador:

Dr. André Luiz Zambalde

CIBELY COBO DA SILVA SOUZA

**MEDIDAS DE REQUISITOS DE SOFTWARE: UM ESTUDO
EXPLORATÓRIO DE APLICABILIDADE**


Monografia de graduação apresentada ao
Colegiado do Curso de Ciência da
Computação, para obtenção do título de
Bacharel em Ciência da Computação.

APROVADA em 20 de Agosto de 2013.

Dr. André Pimenta Freire UFLA

Dr. Paulo Henrique de Souza Bermejo UFLA

Dr. Antônio Maria Pereira Resende
Orientador



Dr. André Luiz Zambaldo
Coorientador

**LAVRAS - MG
2013**

Dedico este trabalho aos meus pais, Expedito e Daisy, e a minha irmã, Priscila.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Expedito e Daisy, e a minha irmã, Priscila, por todo apoio, carinho, compreensão e sacrifícios que fizeram para que eu alcançasse meus objetivos. Não tem como agradecer com palavras tudo o que fizeram e fazem por mim.

A minha família, avós, tios e primos por sempre desejarem o melhor para mim.

Ao professor Antônio Maria Pereira de Resende pela orientação no desenvolvimento deste trabalho. Aos integrantes do PqES, Eudes, José Henrique, Fernando e Bruno, pelo auxílio e conselhos durante o desenvolvimento deste trabalho e pela oportunidade de compartilhar o que aprendemos.

Aos professores André Luiz Zambalde e Ana Paula Piovesan Melchiori pelas oportunidades de trabalhos em projetos junto ao Núcleo de Projetos Tecnológicos da 6ª RPM.

Ao Eduardo por seu companheirismo, brincadeiras e por toda a ajuda, e a sua família, por me receber tão bem.

Aos meus amigos e colegas da UFLA por todos os bons momentos e por tornarem os momentos difíceis mais fáceis.

Resumo

O processo de escrita e manutenção de requisitos de *software* é fundamental para o sucesso de um sistema. Através dos requisitos, os engenheiros de *software* são capazes de entender as necessidades dos clientes e usuários de um sistema. Sendo assim, espera-se que os requisitos tenham características capazes de garantir sua qualidade. A qualidade de um requisito é obtida através de boas práticas, técnicas e medidas. O objetivo deste trabalho é levantar as medidas relacionadas a requisitos presentes na literatura e analisar a aplicabilidade de um conjunto das medidas levantadas. As medidas de requisitos foram identificadas através da execução de uma revisão sistemática da literatura sobre Engenharia de Requisitos. Seis medidas foram selecionadas e aplicadas 25 em documentos de requisitos reais. As medidas selecionadas são “Compreensibilidade”^T, “Concisão”^T, “Modificável”^T, “Rastreável”^T, “Armazenado Eletronicamente”^T e “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade”^T. Durante a utilização de medidas em documentos de requisitos, dificuldades foram encontradas, por exemplo avaliar os documentos usando medidas que dependem de interpretação de texto. Considerando as dificuldades encontradas, a análise de aplicabilidade das medidas foi realizada, apontando as dificuldades e também as facilidades identificadas. Um estudo exploratório foi apresentado a título de ilustração. Este estudo mostra que os resultados das medidas estão relacionados, apesar de as medidas selecionadas considerarem características diferentes dos documentos de requisitos.

Palavras-chave: Requisitos, Qualidade, Medidas, Aplicabilidade.

Abstract

The process of writing and maintaining software requirements is crucial for a system to be successful. Using the requirements of a system, software engineers are able to understand the needs of customers and users of a system. Thus, it is expected that software requirements have characteristics that guarantee its quality. The quality of a requirement is achieved by observing best practices, techniques and metrics. This paper aims survey software requirements measure in the literature and analyze the applicability of a set of measures identified. The requirement metrics were identified by performing a systematic review of the literature about Requirements Engineering. Six metrics were selected and applied in real software requirements documents. These metrics are Understandable, Concise, Traceable, Modifiable, Electronically Stored and Annotated by relative importance. During the application of the metrics in software requirements documents, difficulties were encountered. Considering the difficulties, the analysis of the applicability of the selected metrics was performed, pointing out the pros and cons. An exploratory study was presented as an illustration. This study showed that the results of the metrics are related, although the metrics selected consider different characteristics of requirement specification.

Keywords: Requirements, Quality, Measures, Applicability

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Tipos de Pesquisa Científica | 25 |
| Figura 2 Atividades Desenvolvidas | 26 |
| Figura 3 Fases da RSL..... | 29 |
| Figura 4 Histograma para a medida “Compreensibilidade” ^T | 66 |
| Figura 5 Histograma para a medida “Concisão” ^T | 66 |
| Figura 6 Histograma para a medida “Rastreável” ^T | 67 |
| Figura 7 Histograma para a medida “Modificável” ^T | 67 |
| Figura 8 Histograma para a medida “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade” ^T | 68 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 Quantidade de artigos selecionados na revisão sistemática da literatura | 32 |
| Quadro 2 Artigos selecionados na RSL..... | 32 |
| Quadro 3 Medidas relacionadas no artigo Na Industrial Case Study on Requirements Volatility Measures..... | 36 |
| Quadro 4 Medidas listadas no artigo Metrics For Requirement Engineering..... | 48 |
| Quadro 5 Medidas listadas no artigo Automated Measurement of Models of Requirements | 53 |
| Quadro 6 Documentos de Requisitos de Software Selecionados | 59 |
| Quadro 7 Resultados das medidas | 64 |
| Quadro 8 Análise de variância sobre a medida "Compreensibilidade" ^T | 69 |
| Quadro 9 Análise de Variância sobre a medida "Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade" ^T | 69 |
| Quadro 10 Tabela de traduções..... | 75 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|--------|--|
| CSCI | <i>Computer Software Configuration Item</i> |
| ER | Engenharia de Requisitos |
| NAC | <i>Number of Requirements that Describe Architecture Algorithm</i> |
| NF | <i>Number of Functions Specified</i> |
| NRA | Número de requisitos ajustados |
| NRD | Número de requisitos entregues |
| NRN | Número de requisitos novos |
| NUF | <i>Number of Unique Functions Specified</i> |
| NUFND | <i>Number of functions that are non-deterministic</i> |
| RSL | Revisão Sistemática da Literatura |
| RSTQ | <i>Requirement statement traceability quality</i> |
| RSUndQ | <i>Requirement statement understandability quality</i> |
| RSUQ | <i>Requirement statement unambiguity quality</i> |
| SLOC | <i>Source Lines of Code</i> |
| SRS | <i>Software Requirements Specification</i> |
| SWEBoK | <i>Software Engineering Body of Knowledge</i> |
| TBD | <i>To Be Done</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | Objetivo geral do trabalho | 14 |
| 1.2 | Objetivos específicos | 14 |
| 1.3 | Nota do Autor | 15 |
| 1.4 | Estrutura do Trabalho | 15 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 2.1 | Engenharia de Requisitos..... | 16 |
| 2.1.1 | Requisitos de <i>Software</i> | 17 |
| 2.1.2 | Requisitos Funcionais | 17 |
| 2.1.3 | Requisitos Não Funcionais | 18 |
| 2.1.4 | Requisitos Inversos | 19 |
| 2.1.5 | Requisitos de Domínio..... | 19 |
| 2.1.6 | Requisitos de Usuário e Requisitos de Sistema | 19 |
| 2.1.7 | Documento de Requisitos de <i>Software</i> | 19 |
| 2.2 | Medidas de <i>Software</i> | 20 |
| 2.3 | Qualidade de <i>Software</i> | 21 |
| 2.4 | Qualidade de Requisitos de <i>Software</i> | 22 |
| 3 | METODOLOGIA | 24 |
| 3.1 | Tipos de pesquisa..... | 24 |
| 3.2 | Procedimentos Metodológicos..... | 26 |
| 4 | REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE ENGENHARIA DE REQUISITOS..... | 28 |
| 4.1 | Fases da RSL | 28 |
| 4.2 | Execução da RSL..... | 30 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2.1 | Fase de Planejamento..... | 30 |
| 4.2.2 | Fase de Execução..... | 31 |
| 4.2.3 | Análise e discussão dos artigos..... | 34 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 57 |
| 5.1 | Seleção das medidas | 57 |
| 5.2 | Seleção dos SRS | 58 |
| 5.3 | Análise de aplicabilidade das medidas | 60 |
| 5.3.1 | Análise de aplicabilidade de cada medida | 60 |
| 5.3.2 | Análise geral da aplicabilidade das medidas..... | 63 |
| 5.4 | Análise estatística dos resultados das medidas | 63 |
| 6 | CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS | 70 |
| | REFERÊNCIAS..... | 73 |
| | ANEXOS | 75 |

1 INTRODUÇÃO

A elaboração de requisitos de *software* é uma tarefa difícil (PRESSMAN, 2001). Existem técnicas para obtenção de requisitos, mas nem sempre é possível afirmar que todos os requisitos coletados junto a clientes e usuários estão corretos.

Requisitos podem conter defeitos que não são identificados durante sua elaboração. Esses defeitos geralmente são identificados durante a utilização de técnicas de verificação de requisitos, tais como inspeções que podem identificar de 30% a 90% dos defeitos de requisitos (SAYÃO; BREITMAN, 2004). Ao identificar que o defeito está em um requisito, o esforço de modelagem, implementação, desenvolvimento de casos de testes e execução de testes são desperdiçados (SAYÃO; VON STAA; LEITE, 2003). O resultado de um requisito que contém erro não é aproveitado, pois a parte da solução desenvolvida tendo como base uma especificação incorreta não atende as necessidades reais do cliente.

Uma boa base de requisitos é desejada para que os desenvolvedores de um sistema entendam da melhor maneira possível o problema e, assim, desenvolver uma solução adequada (PRESSMAN, 2001). Entende-se por uma boa base de requisitos aquela que contém requisitos avaliados como corretos. Um requisito pode ser avaliado através do estudo de alguns critérios capazes de mensurar a qualidade de requisitos (SAYÃO; BREITMAN, 2004).

Existem medidas com a finalidade de avaliar e garantir a qualidade de um requisito de *software* e a qualidade de um documento de requisitos de *software*, e reduzir os riscos envolvidos na fase de requisitos. A utilização

correta das medidas de requisitos depende do conhecimento das facilidades e dificuldades que podem ser encontradas durante a aplicação das medidas em um documento de requisitos.

1.1 Objetivo geral do trabalho

No presente trabalho tem-se como objetivo principal efetuar o levantamento de medidas de requisitos existentes na literatura e a realização de análise de aplicabilidade de um subconjunto das medidas encontradas.

1.2 Objetivos específicos

Para consecução do objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Realizar uma revisão sistemática da literatura sobre requisitos de *software* e fazer um levantamento das medidas de requisitos encontradas;
- Selecionar um subconjunto das medidas levantadas e fazer uma análise de sua aplicabilidade;
- Realizar um estudo exploratório e uma análise estatística a partir dos resultados obtidos da aplicação das medidas em documentos de requisitos reais;

1.3 Nota do Autor

Termos e expressões em inglês foram encontrados. Preferiu-se fazer uma tradução livre destes termos e expressões em inglês e manter indexado o termo em inglês no Quadro 10, ANEXO A. Durante a leitura deste trabalho, o leitor encontrará termos e expressões entre aspas, com a letra T em sobrescrito no final das aspas. Por exemplo:

“Taxa de comentários relacionados à importância”^T

Esta notação indica que o termo é uma tradução livre e a expressão original pode ser encontrada no Quadro 10, ANEXO A.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos. No Capítulo 2 é apresentado o Referencial Teórico, contendo os conceitos teóricos relacionados ao trabalho.

No Capítulo 3, encontram-se as definições do método utilizado e as atividades realizadas durante o desenvolvimento do trabalho.

No Capítulo 4, é apresentada uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de levantar as medidas relacionadas a Requisitos de *Software*.

O Capítulo 5 apresenta a análise de aplicabilidade de medidas selecionadas e a análise estatística de um conjunto de dados obtidos a partir da aplicação das medidas selecionadas em documentos de requisitos de *software*.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos teóricos relacionados ao trabalho. São citados conceitos de Engenharia de Requisitos, Requisitos de *Software*, qualidade e medidas de *Software*.

2.1 Engenharia de Requisitos

Pressman (2001) apresenta a Engenharia de Requisitos como um auxílio para que os engenheiros de *software* entendam melhor o problema para o qual eles vão buscar uma solução. Pressman (2001) também diz que a Engenharia de Requisitos “inclui o conjunto de tarefas que levam a um entendimento de qual será o impacto do *software* sobre o negócio, do que o cliente quer e de como os usuários finais vão interagir com o *software*”.

De acordo com Sommerville (2008), a Engenharia de Requisitos é um processo de descobrir, analisar, documentar e verificar serviços e restrições, o objetivo deste processo é a criação e manutenção de um documento de requisitos. Segundo Sayão e Breitman (2004) o objetivo da Engenharia de Requisitos é fornecer ferramentas, técnicas e métodos que dão suporte à produção e gerência de requisitos do sistema.

A Engenharia de Requisitos é um processo dividido em tarefas ou subprocessos. Para Pressman (2001), o processo da Engenharia de Requisitos possui sete tarefas: concepção, levantamento, elaboração, negociação, especificação, validação e gestão. De modo diferente, Sommerville (2008) apresenta quatro subprocessos que compõem o processo da Engenharia de requisitos: estudo de viabilidade; elicitação e análise; especificação; e validação.

A Engenharia de Requisitos é um processo difícil. Inclui negociação com clientes, a identificação dos interesses dos clientes e usuários. Os requisitos de um sistema serão definidos a partir do processo de Engenharia de Requisitos.

2.1.1 Requisitos de *Software*

Requisito de *Software* é definido pelo SWEBoK (2004) como “uma propriedade que deve ser apresentada a fim de resolver problemas do mundo real”. De acordo com Sommerville (2008), o requisito de um sistema é a definição dos serviços fornecidos por este e as restrições operacionais, reflete as necessidades de um cliente que ajuda a solucionar um problema.

Existem alguns tipos diferentes de requisitos, sendo os mais comuns os requisitos funcionais e os requisitos não funcionais. Sommerville (2008) acrescenta os requisitos de usuário, os requisitos de sistema e os requisitos de domínio. Sayão e Breitman (2005) definem requisitos inversos.

2.1.2 Requisitos Funcionais

Requisitos funcionais estão relacionados à funcionalidade do sistema, às funções que um sistema deve prover (SAYÃO; BREITMAN; 2004). Para Sommerville (2008), os requisitos funcionais dependem do tipo de sistema desenvolvido, a quem este sistema se destina e a abordagem considerada pela organização ao redigir os requisitos.

2.1.3 Requisitos Não Funcionais

Sayão e Breitman (2004) definem requisitos não funcionais como requisitos que expressam restrições que devem ser atendidas pelo sistema ou qualidades específicas que um sistema deve ter. Sayão e Breitman (2004) ainda citam Robertson e Robertson (2005) e definem requisitos não funcionais como qualidade de um produto. De acordo com Sommerville (2008), os requisitos não funcionais não tem relação direta com as funções específicas do sistema e podem estar relacionados às propriedades emergentes do sistema.

Sommerville (2008) também introduz três tipos de requisitos não funcionais:

- **Requisitos de produto** – Relacionados ao comportamento do produto;
- **Requisitos organizacionais** – Relacionados às políticas e procedimentos das organizações do cliente e do desenvolvedor;
- **Requisitos externos** – Relacionados a fatores externos ao sistema e seu processo de desenvolvimento;

Sommerville (2008) apresenta algumas medidas para especificar requisitos não funcionais:

- **Velocidade;**
- **Tamanho;**
- **Facilidade de uso;**
- **Confiabilidade;**
- **Robustez;**
- **Portabilidade;**

2.1.4 Requisitos Inversos

Sayão e Breitman (2004) definem requisitos inversos como requisitos que definem estados e situações que nunca devem ocorrer.

2.1.5 Requisitos de Domínio

Requisitos de domínio são apresentados por Sommerville (2008) como requisitos não derivados das necessidades dos usuários do sistema, mas derivados do domínio da aplicação do sistema.

2.1.6 Requisitos de Usuário e Requisitos de Sistema

Sommerville (2008) apresenta definições para requisitos de usuário e requisitos de sistema. Requisitos de usuário são os requisitos funcionais e não funcionais descritos de forma que sejam facilmente compreendidos pelos usuários do sistema, sem uso de termos técnicos e jargões. Os requisitos de sistema são versões estendidas dos requisitos de usuários. Na descrição dos requisitos de sistema, são acrescentados detalhes e explicações de como o sistema deve fornecer os requisitos de usuário.

2.1.7 Documento de Requisitos de *Software*

O documento de requisitos de *software* também é denominado como Especificação dos Requisitos de *Software* ou *Software Requirement Specification* (SRS). Este documento é obtido durante os processos de

Engenharia de Requisitos e é a especificação formal de todos os requisitos de um sistema de *software*.

Um documento de requisitos será lido por diferentes usuários, desde clientes, aqueles que compram um sistema, até os engenheiros que desenvolvem o sistema. Cada tipo de usuário utilizará o documento de requisitos de uma maneira. Por esta razão, um documento de requisitos deve incluir os requisitos de usuário e os requisitos de sistema. (SOMMERVILLE, 2008).

2.2 Medidas de *Software*

Medidas de *software* são medidas relacionadas a um *software*, a um produto ou documentação. As medidas podem ser divididas em (1) medidas de controle, relacionadas ao processo de *software*, e (2) medidas de predição, relacionadas ao produto de *software* (SOMMERVILLE, 2008).

Pressman (2001) afirma que medidas e métricas indiretas são as mais comuns dentro da Engenharia de *Software*. Apesar do fato que na maioria das vezes essas medidas não fornecerem valores absolutos, é possível avaliar qualidade através delas. Além disso, possibilitam que os engenheiros de *software* entendam o sistema, possibilitando a descoberta e correção de problemas que, no futuro, poderiam se transformar em erros graves.

Segundo Medeiros Jr. (2006), “métricas de requisitos fornecem informações sobre o processo de requisitos e sobre a qualidade de requisitos”. A utilização de medidas é necessária para que seja possível avaliar a qualidade dos requisitos.

De acordo com Sayão, von Staa e Leite (2003), as medidas para o processo de requisitos podem ser classificadas como: (1) medidas para aferição de qualidade, (2) medidas para gerenciamento e evolução dos requisitos e (3)

medidas para validação/verificação. As medidas que compõem esses conjuntos não devem ser analisadas isoladamente, pois pode haver correlações entre duas ou mais medidas.

2.3 Qualidade de *Software*

Pressman (2001) define qualidade de *software* como “a satisfação de requisitos funcionais e de desempenho explicitamente declarados, normas de desenvolvimento explicitamente documentadas e características implícitas esperadas em todo *software* desenvolvido profissionalmente”. Fatores que dependem de cada aplicação e de clientes influenciam a qualidade de *software* e são divididos em dois grupos: (1) fatores medidos diretamente e (2) fatores medidos indiretamente.

O gerenciamento de qualidade para sistemas pequenos pode ser feita de uma maneira informal, pois a equipe de desenvolvimento geralmente é pequena, facilitando a comunicação informal entre os membros desta equipe e tornando desnecessário o uso de documentação de qualidade. Em sistemas de grande porte, a abordagem de gerenciamento de qualidade é diferente, tornando necessário o uso de documentação de qualidade especificada de maneira formal. Nestes sistemas maiores, o gerenciamento de qualidade é estruturado nas seguintes atividades: (1) garantia de qualidade, (2) planejamento de qualidade e (3) controle de qualidade (SOMMERVILLE, 2008).

2.4 Qualidade de Requisitos de *Software*

Uma etapa importante para que um projeto de *software* tenha sucesso é a garantia da qualidade de requisitos. Esta é a primeira etapa para a obtenção da qualidade de *software*. A utilização de métricas é necessária para que seja possível avaliar a qualidade dos requisitos. Além de medidas, testes e indicadores podem ser utilizados para avaliar a qualidade de requisitos.

Sayão e Breitman (2004) citam (Young, 2001) e (Wiegers, 1999) e apresentam o objetivo de qualidade de requisitos. Esse objetivo é garantir uma base de requisitos composta de bons requisitos. Existem critérios que podem definir se um requisito de *software* é bom ou não. Alguns destes critérios são:

- **Necessidade** – Tem como objetivo estabelecer se o sistema atinge seus objetivos sem um requisito. Busca verificar se determinado requisito é necessário ou não;
- **Verificável** – Indica se um requisito é atendido pelo sistema;
- **Atingível** – Verifica se o requisito é atendido pelo sistema em desenvolvimento;
- **Livre de ambiguidades** – Verifica se não é possível interpretar a descrição do requisito de mais de uma forma;
- **Completo** – Verifica se todos os requisitos estão presentes no documento de requisitos;

- **Consistente** – Está relacionado a verificar se os requisitos podem ser atendidos sem que entrem em conflito;
- **Rastreável** – Verifica se a origem dos requisitos existe, se é possível localizá-los no sistema;
- **Alocação** – Verifica se um componente do sistema pode alocar o requisito;
- **Concisão** – Tem como objetivo verificar se o requisito está descrito de forma simples e objetiva;
- **Livre de Implementação** – Verifica se o requisito descreve o que deve ser feito sem que seja influenciado por possíveis implementações;
- **Identificador Único** – Verifica se é possível referenciar um requisito através de um identificador único;
- **Correção** – Está relacionado a verificar se a descrição do requisito contém as informações necessárias para que ele seja implementado;
- **Priorizável** – Verifica se pode priorizar um requisito em relação aos outros;

3 METODOLOGIA

3.1 Tipos de pesquisa

A pesquisa realizada neste trabalho é classificada quanto à natureza como pesquisa aplicada, pois o objetivo deste trabalho é aplicar o conhecimento existente dentro da Engenharia de Requisitos de *Software*, conhecimentos relacionados às medidas e qualidade de requisitos, para identificar e analisar a aplicabilidade medidas de requisitos de *software*.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como pesquisa descritiva. É descritiva porque um conjunto de medidas de requisitos será analisada com o objetivo de apresentar as facilidades e dificuldades durante a aplicação prática das medidas.

A abordagem adotada neste trabalho é a pesquisa quantitativa, pois as medidas são aplicadas a documentos e o resultado obtido passa por uma análise estatística, comparando os resultados.

O procedimento metodológico utilizado é o estudo de caso.

A Figura 1 mostra como uma pesquisa pode ser classificada de acordo com seus diferentes tipos. Nesta figura, os quadros em cinza representam os tipos de pesquisa deste trabalho.

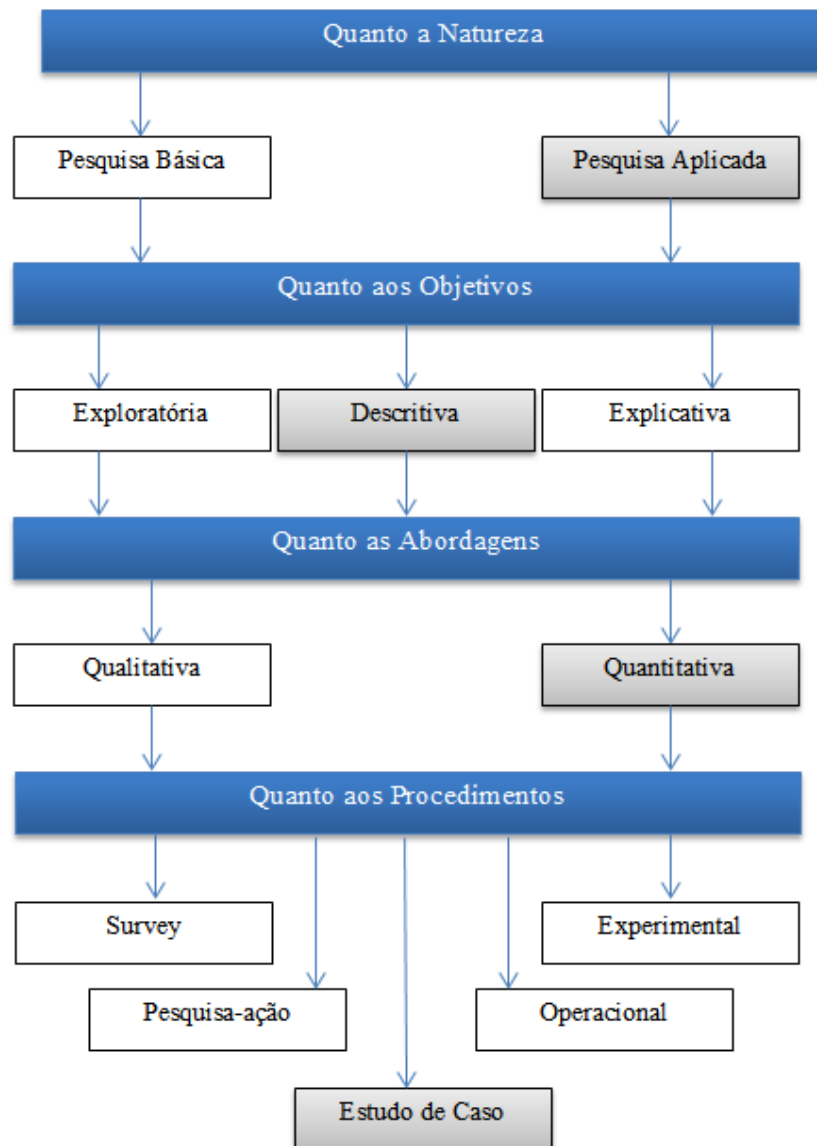


Figura 1 Tipos de Pesquisa Científica

Fonte: Adaptado de Zambalde, Pádua, Maia (2008)

3.2 Procedimentos Metodológicos

As atividades desenvolvidas neste trabalho são apresentadas na Figura 2. Em seguida, essas atividades são detalhadas.

a) Revisão Sistemática da Literatura

Primeiro, uma Revisão Sistemática da Literatura sobre Requisitos foi feita. O objetivo desta RSL é levantar as medidas de requisitos presentes na literatura.

b) Seleção das medidas a serem estudadas

Após levantamento das medidas existentes, algumas medidas foram selecionadas para serem aplicadas e avaliarem os documentos de requisitos. As medidas foram selecionadas para avaliar os documentos e analisar a aplicabilidade de cada. Além disso, o resultado obtido para as medidas foram usados na realização de uma análise estatística.

c) Levantamento e seleção de Documentos de Requisitos de Software

Fez-se a busca de Documentos de Requisitos de *Software*. Documentos de requisitos foram levantados e selecionados para que fossem submetidos à avaliação através das aplicações das medidas selecionadas previamente.

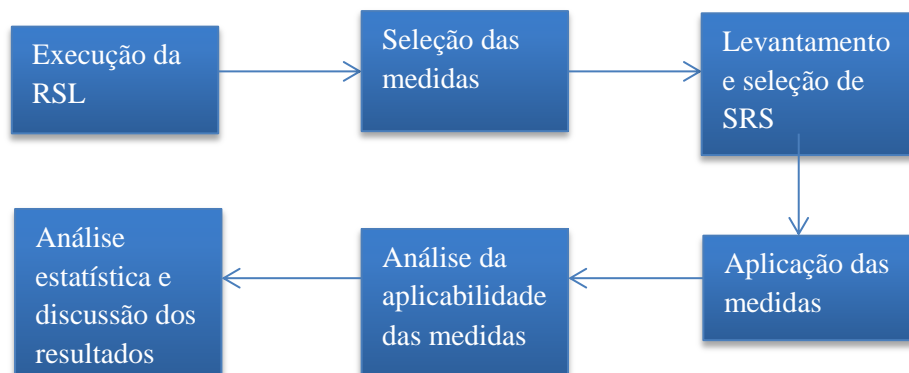


Figura 2 Atividades Desenvolvidas

d) Aplicação das medidas

As medidas selecionadas foram usadas em cima dos documentos selecionados anteriormente a fim de obter resultados que foram usados em análises estatísticas. A aplicação das medidas também foi realizada para identificar dificuldades e facilidades em suas aplicações e, a partir do que foi identificado, realizar análise de suas aplicabilidades.

e) Análise de aplicabilidade e discussão das medidas

As medidas foram analisadas e discutidas com foco em suas aplicabilidades.

f) Análise estatística e discussão dos resultados das medidas

Os resultados obtidos a partir da aplicação das medidas selecionadas para avaliar os documentos de requisitos foram analisados estatisticamente. A análise da distribuição dos dados foi apresentada através de histogramas de frequência. E a análise de variância, realizada através da aplicação da função ANOVA, foi apresentada.

4 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE ENGENHARIA DE REQUISITOS

Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é um método de pesquisa para identificar, avaliar e interpretar pesquisas disponíveis e relevantes para uma questão particular de pesquisa, uma área temática ou um fenômeno de interesse (Kitchenham, 2004). Kitchenham (2004) ainda acrescenta que RSL é uma forma de estudo secundário. A RSL é um método de pesquisa com origem nas ciências médicas e foi aplicada em estudos de Engenharia de *Software* pela primeira vez por Barbara Kitchenham (2004). Através da aplicação dessa técnica, a pesquisa, seleção, análise e organização de documentos relevantes são facilitadas.

Neste trabalho, a revisão sistemática da literatura foi realizada para levantar artigos disponíveis sobre a Engenharia de Requisitos a fim de listar as medidas disponíveis aplicáveis aos processos de Engenharia de Requisitos.

4.1 Fases da RSL

De acordo com Travassos e Biolchimi (2007) e Kitchenham (2004), a RSL é constituída de 10 passos, organizados em três fases. Essas fases são representadas na Figura 3 e descritas com mais detalhes abaixo:

- Fase de planejamento: nesta fase são realizadas: a descrição da pesquisa, onde as motivações e objetivos da pesquisa são expostos; definição das questões de pesquisa, questões relacionadas à pesquisa a serem respondidas ao final da RSL; desenvolvimento de um protocolo que será aplicado durante a busca, neste protocolo, os critérios de seleção dos documentos encontrados na literatura são definidos; e avaliação do protocolo desenvolvido.

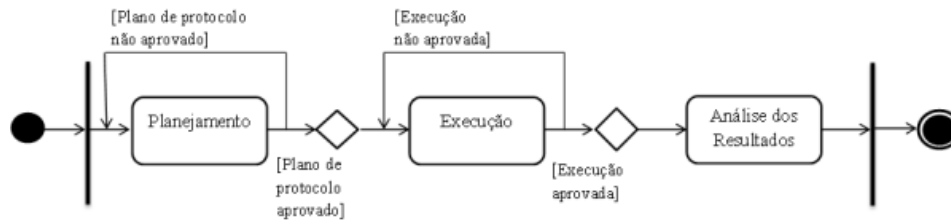


Figura 3 Fases da RSL

Fonte: Adaptado de Kitchenham (2004)

- Fase de execução: é nesta fase que o protocolo desenvolvido na fase anterior é aplicado. Uma busca é realizada nas bases escolhidas seguindo os critérios de seleção descritos no protocolo. Essa busca pode ser reajustada e executada novamente, caso não forneça resultados razoáveis. Os títulos e palavras chave dos artigos que a busca retornou são lidos para verificar se atendem aos critérios de seleção definidos na fase anterior, essa seleção é chamada de Seleção Primária. Após a seleção primária, a Seleção Secundária é executada. Na seleção secundária, os resumos e conclusões são lidos, verificando se os critérios de seleção são atendidos. Após as buscas e seleções, é feita a organização dos resultados.
- Fase de análise dos resultados: os dados são coletados dos resultados obtidos na Seleção Secundária e organizados em forma de um relatório. Em seguida os resultados são analisados, nesta etapa o relatório feito após a organização dos dados coletados é revisado.

4.2 Execução da RSL

Nesta seção, as fases de execução da RSL sobre Engenharia de Requisitos são descritas.

4.2.1 Fase de Planejamento

Na fase de planejamento, o protocolo utilizado na execução da RSL é elaborado. O objetivo desta RSL é reunir os estudos na área da ER que apresentam medidas relacionadas a requisitos de *software*. Os tópicos utilizados no protocolo usado na execução da RSL sobre Engenharia de Requisitos é apresentado a seguir:

Objetivos:

Compreender o que são requisitos de *software*. Identificar na literatura medidas de requisitos de *software*, com especial atenção àqueles relacionados à qualidade de requisitos de *software*.

Questões de Pesquisa:

1) Quais são as medidas de requisitos de *software* existentes?

Palavras chave:

Requisitos, engenharia, software, métricas.

Requirement, engineering, software, metrics.

Strings de Busca:

1) (Requisitos AND Software AND Métricas) OR (Requirements AND Software AND (Metric OR Measurement))

Método de Busca de Fontes:

Buscar sites de bibliotecas científicas virtuais.

Listagem de Fontes:

- i) IEEE Xplore (<http://ieeexplore.ieee.org/>);
- ii) Scopus (<http://www.scopus.com>);
- iii) Elsevier ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com>);
- iv) SpringerLink (<http://www.sciencedirect.com>);
- v) El Compendex (<http://www.engineeringvillage2.org>);

Tipos de Artigos:

Foram considerados artigos com conteúdo sobre medidas de requisitos.

Idiomas dos Artigos:

Os artigos devem estar em português ou inglês.

Critérios de Inclusão e Exclusão dos Artigos:

1. Os artigos devem ter seu conteúdo completo disponível.
2. Os artigos devem estar escrito em português ou inglês.
3. Os artigos devem estar disponíveis em uma das fontes listadas.
4. Os artigos devem descrever algum protocolo para Engenharia de Requisitos.

4.2.2 Fase de Execução

Nesta fase, foi realizada a busca nas bases de acordo com o que foi definido na fase de planejamento.

As buscas foram realizadas nos cinco motores de busca especificados no protocolo. Em alguns buscadores, a *string* de busca foi reajustada para que se adequasse às características do buscador.

Ao todo, foram 13233 artigos encontrados distribuídos entre as bases quando a busca foi executada utilizando a *string* “(Requisitos AND Software AND Métricas) OR (Requirements AND Software AND (Metric OR Measurement))”. Na Seleção Primária, ao analisar os títulos e palavras chave, os artigos que não se encaixavam nos critérios de seleção foram descartados,

restando 105 artigos. Na Seleção Secundária, os resumos e conclusões dos artigos foram lidos, os artigos considerados irrelevantes foram descartados, assim como os repetidos e incompletos. Os artigos considerados irrelevantes foram aqueles que não apresentaram pelo menos uma medida relacionada a requisitos de software. Ao final da fase de execução, 9 artigos foram selecionados. Os resultados são apresentados no Quadro 1.

A questão de pesquisa foi: “Quais são as medidas de requisitos de *software* existentes?”. Os artigos selecionados analisados para responder a questão são apresentados no Quadro 2.

Quadro 1 Quantidade de artigos selecionados na revisão sistemática da literatura

| Base | Quantidade inicial de resultados | Seleção primária | Seleção Secundária | | | Resultado |
|------------------------|----------------------------------|------------------|--------------------|-----------|-------------|-----------|
| | | | Irrelevantes | Repetidos | Incompletos | |
| IEEE Xplore | 3021 | 30 | 25 | 0 | 0 | 5 |
| Scopus | 1727 | 18 | 2 | 5 | 9 | 2 |
| Elsevier ScienceDirect | 157 | 9 | 5 | 3 | 0 | 1 |
| SpringerLink | 3112 | 16 | 18 | 1 | 0 | 1 |
| ElCompendex | 5216 | 32 | 3 | 15 | 14 | 0 |
| TOTAL | 13233 | 105 | 47 | 24 | 23 | 9 |

Quadro 2 Artigos selecionados na RSL

| Título | Autor |
|--|-----------------------------------|
| A Controlled Experiment to Investigate the Effects of ‘Process Patterns’ on the Quality of Requirements Analysis | Estabraghy, A; Dalcher, D. (2007) |

Quadro 2 Artigos Selecionados na RSL

| | |
|--|--|
| Automated Measurement of Models of Requirements | Monperrus, M.; Baudry, B.; Champeau, J.; Hoeltzener, B.; Jézéquel, J.M. (2011) |
| A Similarity Measurement Framework for Requirement Engineering | Ilyas, M; Küng, J. (2009) |
| An Industrial Case Study on Requirements Volatility Measures | Loconsole, A; Börstler, J. (2005) |
| Identifying and Measuring Quality in a Software Requirements Specifications | Davis, A; Overmyer, S; Jordan, K; Caruso, J; Dandashi, F; Dinh, A; Kincaid, G; Ledebor, G; Reynolds, P; Sitaram, P; TA, A; Theofanos. (1993) |
| Software Specification Metrics: A Quantitative Approach to Assess the Quality of Documents | Kenett, R. S. (1996) |
| Metrics for Requirement Engineering | Costello, R.J.; Liu, D. (1995) |
| Yet Another Set of Requirements Metrics for Software Projects | Iqbal, S.; Khan, N. A. (2012) |
| Quantifying Requirements Elaboration to Improve Early Software Cost Estimation | Malik, A. A; Boehm, B. (2009) |
| Measurements in Software Requirements Specification Process | Györkös, J. (1994) |

4.2.3 Análise e discussão dos artigos

Nesta seção serão apresentadas as medidas encontradas nos artigos, assim como as informações disponíveis sobre estas medidas.

a) A Controlled Experiment to Investigate the Effect of ‘Process Patterns’ on the Quality of Requirements Analysis

Este artigo apresenta um estudo sobre a influência do uso de padrões de projetos durante a análise de requisitos. Estudantes foram divididos em dois tipos de grupos: grupos de experimento, que usaram “padrões de processos”^T, e grupos de controle, que não usaram “padrões de processos”^T. Os autores verificaram através deste experimento que as medidas de qualidade do documento de requisitos foram maiores nos grupos que utilizaram “padrões de processos”^T.

Estabraghy e Dalcher (2007) apresentam duas medidas neste estudo. A primeira é a medida proposta por Davis *et al* (1993) em seu trabalho *Identifying and Measuring Quality in a Software Requirements Specification*. A segunda é a medida de Davis (1993) adaptada para considerar somente a não ambiguidade, a rastreabilidade e a compreensibilidade de um documento de requisitos. Estas medidas são apresentadas abaixo:

- “Qualidade do Documento de Requisitos”^T:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n Qi}{\sum_{i=1}^n i}$$

Esta é a medida apresentada por Davis *et al.* (1993) considerando que todos os atributos de qualidade de requisitos medidos tem peso igual a 1.

- “Qualidade Geral do Documento de Requisitos”^T:

$$OverallSRSQuality = \frac{RSUQ + RSTQ + RSUndQ}{3}$$

Onde:

RSUQ = “medida de não ambiguidade dos requisitos”^T

RSTQ = “medida da rastreabilidade dos requisitos”^T

RSUndQ = “medida da compreensibilidade dos requisitos”^T

b) A Similarity Measurement Framework for Requirement Engineering

Ilyas e Küng (2009) discutem sobre similaridade entre requisitos e medição da similaridade entre requisitos. Um *framework* para medição de similaridade entre requisitos é proposto (SimReq Framework). Neste *framework* os autores usam três coeficientes para medir similaridade entre dois requisitos: Dice, Jaccard e Cosine.

- “Coeficiente Dice”^T :

$$S_{A,B}^D = \frac{2|\{words_A \cap words_B\}|}{|\{words_A\}| + |\{words_B\}|}$$

Onde:

A e B são requisitos.

- “Coeficiente Jaccard”^T:

$$S_{A,B}^J = \frac{|\{words_A \cap words_B\}|}{|\{words_A\}| + |\{words_B\}| - |\{words_A \cap words_B\}|}$$

Onde:

A e B são requisitos.

- “Coeficiente Cosine”^T:

$$S_{A,B}^C = \frac{|\{words_A \cap words_B\}|}{\sqrt{|\{words_A\}| |\{words_B\}|}}$$

Onde:

A e B são requisitos.

c) An Industrial Case Study on Requirements Volatility Measures

O artigo apresenta um estudo de caso que investiga as medidas de volatilidade em projetos reais de tamanho médio. Estes projetos envolvem desenvolvedores profissionais e clientes reais. Medidas para volatilidade de requisitos encontradas na literatura pelos autores do artigo são listadas no Quadro 3.

Quadro 3 Medidas relacionadas no artigo Na Industrial Case Study on Requirements Volatility Measures

| Nome da Medida |
|--|
| “Quantidade de informações que um requisito contém em um determinado momento” ^T |
| “Número de modificações” ^T |
| “Requisitos estáveis” ^T |
| “Requisitos modificáveis classificados em mutáveis, emergentes, consequentes, adaptáveis, migração” ^T |
| “Medidas do tamanho de caso de uso” ^T |
| “Fatores de ambiente” ^T |
| “Número total de ações atômicas por objetivo e ator” ^T |

Quadro 3 Medidas relacionadas no artigo An Industrial Case Study on Requirements Volatility Measures.

| |
|---|
| “Número de objetivos por <i>stakeholder</i> ” ¹ |
| “Número de mudanças na especificação” ¹ |
| “Para cada modificação na especificação: Média de alterações em SLOC” ¹ |
| “Para cada modificação na especificação: média de alterações em SLOC por módulo” ¹ |
| “Para cada modificação na especificação: média de alterações SLOCs/pessoa-dia” ¹ |
| “Número total de novos requisitos” ¹ |
| “Modificações de requisitos” ¹ |
| “Rastreabilidade dos requisitos” ¹ |
| “Mudanças pré/pós especificação funcional” ¹ |
| “Mudanças pós lançamento” ¹ |
| “Esforço das mudanças” ¹ |
| “Volatilidade das mudanças” ¹ |
| “Completeness das mudanças” ¹ |
| “Taxa de erros das mudanças” ¹ |
| “Densidade de mudanças nos requisitos” ¹ |
| “Mudanças nos requisitos em um intervalo de tempo” ¹ |
| “Adições, exclusões, modificações no <i>software</i> ” ¹ |
| “Tipos de mudança” ¹ |
| “Motivo da mudança” ¹ |
| ”Origem” ¹ |
| “Número de requisitos de sistema” ¹ |
| “Número de requisitos adicionados, modificados, excluídos” ¹ |
| “Porcentual das mudanças nos requisitos” ¹ |
| “Porcentual de mudanças nos requisitos em um intervalo de tempo” ¹ |
| “Tipo de requisito” ¹ |
| “Os dias de esforço previstos e os reais para cada requisito” ¹ |
| “Número de dias de calendário previsto e real para uma versão” ¹ |
| “Requisitos modificados em uma versão após aprovação do plano” ¹ |

d) Identifying and Measuring Quality in a Software Requirements Specification

Neste artigo os autores definem uma medida de qualidade de documentos de requisitos. Para chegar a esta medida, atributos de qualidade são definidos, medidas para estes atributos e valores recomendados para estas medidas são sugeridos. As medidas são listadas abaixo:

- “Não ambiguidade”^T

Indica a taxa de requisitos interpretados de maneira única pelos revisores. Os valores variam entre 0 (todos os requisitos foram interpretados de mais de uma maneira) e 1 (todos os requisitos tiveram a mesma interpretação pelos revisores).

Davis (1993) recomenda que o valor para esta medida seja 1.

$$Q1 = \frac{n_{ui}}{n_r}$$

Onde

n_{ui} = “número de requisitos interpretados da mesma maneira pelos revisores”^T.

n_r = “número de requisitos”^T

- “Completeness”^T

Um documento de requisitos é considerado completo se contém tudo o que o *software* deve fazer, se possui numeração de páginas, tabelas, figuras, possui nomes e referências, e não contém requisitos ou seções marcados como “a ser definido”. Os valores para esta medida variam de 0 (incompleto) a 1 (completo). O resultado recomendado pelos autores para esta medida é 1.

$$Q2 = \frac{n_u}{n_i \times n_s}$$

Onde

$$n_u = \text{“função única”}^T$$

$$n_i = \text{“número de entradas na especificação de requisitos”}^T$$

$$n_s = \text{“número de estados definidos na especificação de requisitos”}^T$$

- “Corretude”^T

Um documento de requisitos é considerado correto se todos os requisitos contidos nele representam o que é desejado que o sistema a ser desenvolvido faça. O resultado recomendado para esta medida é 1.

$$Q3 = \frac{n_c}{n_c + n_{nv}} = \frac{n_c}{n_r}$$

Onde

$$n_c = \text{“número de requisitos corretos”}^T$$

$$n_{nv} = \text{“número de requisitos não validados”}^T$$

$$n_r = \text{“número de requisitos”}^T$$

- “Compreensível”^T

Um documento de requisitos é compreensível quando qualquer leitor consegue compreender facilmente o conteúdo do documento. Os valores desta medida variam entre 0 (nenhum requisito foi compreendido) e 1 (todos os requisitos foram compreendidos). Os autores recomendam que o resultado desta medida seja 1.

$$Q4 = \frac{n_{ur}}{n_r}$$

Onde

n_{ur} = "número de requisitos compreendidos pelos revisores"^T

n_r = "número de requisitos"^T

- "Verificável"^T

Um documento de requisitos é verificável quando existem técnicas que verificam se todos os requisitos contidos no documento são satisfeitos pelo sistema desenvolvido. Davis et al (1993) consideram que esta medida não é crítica para o sucesso do projeto e sugerem que o resultado seja 0,7.

$$Q5 = \frac{n_r}{n_r + \sum_i c(r_i) + \sum_i t(r_i)}$$

Onde

n_r = "número de requisitos"^T

$c(r_i)$ = "custo necessário para verificar a presença do requisito r_i no documento de requisitos"^T

$t(r_i)$ = "tempo necessário para verificar a presença do requisito r_i no documento de requisitos"^T

- "Internamente Consistente"^T

$$Q6 = \frac{n_u - n_n}{n_u}$$

Onde

n_u = "funções únicas"^T

n_n = "número de funções não determinísticas"^T

- "Externamente Consistente"^T

$$Q7 = \frac{n_{EC}}{n_{EC} + n_{EI}} = \frac{n_{EC}}{n_r}$$

Onde

n_{EC} = "número de requisitos consistentes com outros documentos"^T

n_{EI} = "número de requisitos não consistentes"^T

n_r = "número de requisitos"^T

- "Alcançável"^T

Um documento de requisitos é alcançável se existem pelo menos um projeto e implementação de um sistema que implementa corretamente todos os requisitos do documento. Tem valor 0 ou 1. O valor sugerido para esta medida é 1.

- "Concisão"^T

Um documento de requisitos é conciso se o tamanho dele é o menor possível, porém de uma maneira que não afete outros atributos de qualidade do documento.

$$Q9 = \frac{1}{size + 1}$$

Onde

$size = \text{“número de páginas do documento de requisitos”}^T$

- “Independente de Projeto”^T

Um documento de requisito é independente de projeto se existe mais de uma implementação de sistema que implementa corretamente todos os requisitos contidos no documento de requisitos.

$$Q10 = \frac{D(R_E \cup R_I)}{D(R_E)}$$

Onde

$R_E = \text{“requisitos que descrevem comportamento externo”}^T$

$R_I = \text{“requisitos que endereçam arquitetura ou algoritmo da solução”}^T$

- “Rastreável”^T

Tem valor 1 quando contém uma das características abaixo, caso contrário, tem valor 0.

- Numeração hierárquica de cada parágrafo. Cada parágrafo contém somente um requisito

- Numera cada requisito com um identificador único. Esse identificador está imediatamente após o requisito e entre parênteses

- Usa convenções para indicar um requisito

- “Modificável”^T

Um documento de requisitos é modificável se está estruturado de forma que mudanças podem facilmente ser feitas. Tem valor 1 ou 0.

- “Armazenado Eletronicamente”^T

O documento de requisitos é considerado armazenado eletronicamente se está armazenado em um processador de textos, foi gerado a partir de uma base de requisitos ou foi sintetizado de outra forma. Caso o documento de requisitos seja armazenado eletronicamente, o valor da medida é a porcentagem do volume do documento de requisitos armazenada eletronicamente.

- “Executável/Interpretável/Prototipável”^T

Tem valor entre 0 e 1, sendo 0 quando totalmente não executável e 1 quando inteiramente executável.

- “Taxa de comentários relacionados à prioridade”^T

Um documento tem comentários relacionados à prioridade (importância) se os leitores podem determinar quais requisitos são os mais importantes para os clientes. Isto é, a prioridade dos requisitos.

Q_{15} = porcentagem de requisitos com comentários relacionados à importância

- “Taxa de comentários relacionados à estabilidade”^T

Um documento tem comentários relacionados à estabilidade se leitores podem determinar quais requisitos suscetíveis a mudanças.

Q_{16} = porcentagem de requisitos com comentários relacionados à estabilidade

- “Taxa de comentários relacionados à versão”^T

Um documento de requisitos tem comentários relacionados à versão se os leitores podem determinar quais requisitos serão satisfeitos por cada versão do produto.

Q_{17} = porcentagem de requisitos com comentários relacionados à versão

- “Não redundante”^T

Um documento de requisitos é não redundante se não contem requisitos repetidos. Os valores desta medida variam entre 0 (completamente redundante) e 1 (sem redundâncias).

$$Q_{18} = \frac{n_f}{n_u}$$

Onde

n_f = "total de funções especificadas"^T

n_u = "total de funções únicas especificadas"^T

- “Nível correto de abstração/detalhamento”^T

Q_{19} = "média dos valores de cada requisito que compõe o SRS"^T

- “Preciso”^T

Um documento de requisitos é preciso se quantidades numéricas são usadas quando possível e os níveis adequados de precisão são usados para cada quantidade

- “Reusável”^T

Um documento de requisitos de *software* é considerado reusável se contém sentenças, parágrafos e seções que possam ser adaptadas ou utilizadas em documentos de requisitos redigidos posteriormente.

Esta medida tem valor 1 quando todo o conteúdo de um documento de requisitos for reutilizado em um documento de requisitos posterior, tem valor 0 quando nenhuma parte do documento de requisitos for reutilizada.

- “Rastreado”^T

Um documento de requisitos é dito rastreado quando é possível verificar a origem de todos os requisitos. Esta característica não pode ser medida.

- “Organizado”^T

Um documento de requisitos é organizado se, e somente se, o conteúdo do documento estiver de um modo em que os leitores possam localizar informações e relacionamentos facilmente. Não pode ser medido.

- “Referências Cruzadas”^T

Verifica se o documento de requisitos de *software* possui referências cruzadas se estas referências forem utilizadas para relacionar seções que contenham requisitos para outras seções que contenham requisitos idênticos, descrições mais detalhadas ou abstratas dos requisitos, ou quando há dependência entre requisitos de diferentes seções.

- “Qualidade do Documento de Requisitos”^T

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Onde:

Q_i são os valores individuais das medidas de qualidade de requisitos e W_i são os pesos recomendados para as medidas.

e) Software Specification Metrics: A Quantitative Approach to Assess the Quality of Documents

Kenett (1996) propõe um conjunto de medidas para qualidade de um documento de requisitos. As medidas propostas focam em medir três características presentes em um documento de requisitos: (i) completude, (ii) legibilidade e (iii) acurácia. As medidas são apresentadas abaixo:

- SM1 (“Informação em falta”^T)

$$SM1 = N3/N2$$

$N2$ = Número total de atributos

$N3$ = Número total de atributos que faltam

- SM2 (“Informação ambígua”^T)

$$SM2 = N4/N2$$

$N2$ = Número total de atributos

$N4$ = Número total de atributos ambíguos

- SM3

$$SM3 = (N5 + N6 + N7 + N8)/(N9 + N10)$$

N5 = Número de atributos sem fonte

N6 = Número de atributos sem destino

N7 = Número de atributos com fonte ambígua

N8 = Número total de atributos com destino ambíguo

N9 = Número de fontes de atributos

N10 = Número de destinos de atributos

- SM4 (“Atributos Válidos”^T)

$$SM4 = N11$$

N11 = Número total de atributos válidos

- SM5 (“Frequência dos TBDs”^T)

$$SM5 = N12 / N2$$

N12 = Número de TBDs

- SM6 (“Condições em falta”^T)

$$SM6 = N1/N13$$

N1 = Número total de sentenças

N13 = Número total de atributos sem condições

- SM7 (“Restrições em falta”^T)

$$SM7 = N14/N1$$

N14 = Número total de restrições em falta

- SM8 (“Informações descritivas”^T)

$$SM8 = N15/N1$$

N15 = Número de sentenças descritivas

- “Completeness”^T

$$Completeness = 8(SM1 + 4SM2 + SM3) + \frac{9 - SM4}{5.5} + 2SM5$$

- “Legibilidade”^T

$$Readability = 40SM3 + \frac{0,33 - SM8}{0,25}$$

- “Acurácia”^T

$$Accuracy = 10SM2 + 40SM5 + 5SM6 + 0,5SM7$$

f) Metrics for Requirement Engineering

Quadro 4 Medidas listadas no artigo Metrics For Requirement Engineering

| Nome da medida | Descrição |
|---|--|
| “Volatilidade dos requisitos” ^T | Indica mudanças nos requisitos. Fornece informações sobre a estabilidade e a maturidade do sistema. São consideradas mudanças: adição, exclusão e modificação em requisitos. |
| “Rastreabilidade dos requisitos” ^T | Indica até que ponto uma organização presta contas para atender os requisitos em cada etapa do ciclo de vida através de uma matriz de rastreabilidade. |
| “Completeness dos requisitos” ^T | Indica se as sessões do documento de requisitos estão completas. |
| “Densidade de defeitos dos requisitos” ^T | Indica o número de defeitos de requisitos encontrados durante uma inspeção. |

Quadro 4 Medidas listadas no artigo Metrics For Requirement Engineering

| | |
|---|--|
| “Densidade de falhas dos requisitos” ^T | Indica o número de falhas em requisitos detectadas durante a execução de testes ou análises. |
| “Densidade de interfaces dos requisitos” ^T | Indica quão completos e consistentes são as informações sobre interfaces. |
| “Emissão de relatórios de problemas de requisitos” ^T | Indica a quantidade de problemas detectados, incluindo defeitos e falhas de requisitos. |
| “Progresso da integração dos requisitos” ^T | Indica o progresso geral dos requisitos. |

g) Yet Another Set of Requirements Metrics for Software Project

Um estudo sobre medidas é feito e um conjunto de medidas para requisitos é proposto.

- “Unicidade”^T

$$\frac{Ri}{Rt} \times 100$$

Ri = Requisitos explicados de maneira distinta

Rt = Total de requisitos

- “Corretude”^T

$$\frac{Rc}{Rt} \times 100$$

Rc = Requisitos interpretados da mesma maneira

Rt = Total de requisitos

- “Requisitos Modificados”^T

$$\frac{Rch}{Rc} \times 100$$

Rch = Requisitos a serem modificados

Rc = Total de requisitos corretos

- “Requisitos Mal Interpretados”^T

$$\frac{Ri}{Rt} \times 100$$

- “Requisitos Compreensíveis”^T

$$\frac{Ru}{Rt} \times 100$$

Ru = Requisitos compreendidos pelos usuários

Rt = Total de requisitos

- “Modificável”^T

$$\frac{Rm}{Rt} \times 100$$

Rm= Requisitos modificados

Rt = total de requisitos

- “Rastreado”^T

$$\frac{Rtr}{Rt} \times 100$$

Rtr = Requisitos traçados

Rt = total de requisitos

- “Requisitos testados”^T

$$\frac{Rts}{Rt} \times 100$$

Rts = Requisitos testados

Rt = total de requisitos

- “Qualidade do Documento de Requisitos”^T

$$\frac{Rts - (Ref + Red + Rem)}{Rt} \times 100$$

Rts = Requisitos testados

Ref = Erros encontrados no documento de requisitos

Red = Erros excluídos do documento de requisitos

Rem = Erros modificados no documento de requisitos

Rt = total de requisitos

h) Quantifying Requirements Elaboration to Improve Software Cost Estimation

- NRA

“Número de requisitos ajustados”^T.

Fórmula:

$$NRA = NRD - NRN$$

- NRD

“Número de requisitos satisfeitos pelo produto entregues ao cliente”^T

- NRN

“Número de requisitos novos”^T.

i) Automated Measurement of Models of Requirements

Um metamodelo de requisitos é definido e uma abordagem de medição automatizada proposta anteriormente pelos autores do artigo é usada para especificar medidas de requisitos. 78 medidas de 11 artigos diferentes são apresentadas. As medidas estão listadas no Quadro 5.

Quadro 5 Medidas listadas no artigo Automated Measurement of Models of Requirements

| Nome da medida |
|--|
| “Completude por função” ^T |
| “Corretude” ^T |
| “Grau de decomposição por quadro” ^T |
| “Dependente de projeto” ^T |
| “Número de diagramas de caso de uso aceitos” ^T |
| “Número de atividades no fluxo alternativo por caso de uso” ^T |
| “Número de atividades do fluxo principal por caso de uso” ^T |
| “Número de atividades por ator” ^T |
| “Número de atividades por fluxo alternativo por caso de uso” ^T |
| “Número de atividades por objetivo” ^T |
| “Número de atividades por caso de uso” ^T |
| “Número de atores” ^T |
| “Número de fluxos alternativos” ^T |
| “Número de limites que não se comunicam com um caso de uso concreto” ^T |
| “Número de limites que não se comunicam com um ator” ^T |
| “Número de mudanças por quadro” ^T |
| “Número de mudanças por requisito” ^T |
| “Número de mudanças em requisitos de uma base por intervalo de tempo” ^T |
| “Número de dependências circulares entre casos de uso” ^T |
| “Número de requisitos corretos” ^T |
| “Número de CSCI ligados a requisitos” ^T |
| “Número de dependência por caso de uso” ^T |
| “Número de fluxos por função” ^T |
| “Número de requisitos funcionais alocados a um lançamento do projeto” ^T |
| “Número de funções especificadas (NF)” ^T |
| “Número de funções não determinísticas” ^T |
| “Número de objetivos” ^T |

Quadro 5 Medidas listadas no artigo Automated Measurement of Models of Requirments

| |
|--|
| “Número de metas por stakeholder” ^T |
| “Número de requisitos impactados por mudança” ^T |
| “Número de requisitos incompletos” ^T |
| “Número de requisitos iniciais” ^T |
| “Número de estados de entrada por função” ^T |
| “Número de entradas na especificação do requisito” ^T |
| “Número de casos de uso mistos” ^T |
| “Número de diagramas de caso de uso não submetidos” ^T |
| “Número de requisitos rastreados para um CSCI incompleto” ^T |
| “Número de requisitos adicionados por quadro” ^T |
| “Número de requisitos excluídos por quadro” ^T |
| “Número de requisitos que foram interpretados da mesma maneira pelos revisores” ^T |
| “Número de requisitos modificados por quadro” ^T |
| “Número de requisitos por nível que tem links ascendentes de rastreabilidade inconsistentes” ^T |
| “Número de requisitos por nível que tem links descendentes de rastreabilidade inconsistentes” ^T |
| “Número de requisitos por responsáveis” ^T |
| “Número de requisitos por estado” ^T |
| “Número de requisitos refletidos em um ou mais CSCI” ^T |
| “Número de requisitos que mudam para uma base” ^T |
| “Número de requisitos que descrevem arquitetura ou algoritmo” ^T |
| “Número de requisitos que descrevem comportamento puramente externo” ^T |
| “Número de requisitos rastreados do nível mais baixo para o mais alto” ^T |
| “Número de requisitos rastreados do nível mais alto para o mais baixo” ^T |
| “Número de requisitos rastreados para um requisito inconsistente” ^T |
| “Número de requisitos rastreado para um ou mais requisito incompleto” ^T |
| “Número de requisitos rastreados para um próximo nível em ambas as direções” ^T |

Quadro 5 Medidas listadas no artigo Automated Measurement of Models of Requirments

| |
|---|
| “Número de requisitos rastreados para um próximo nível abaixo” ^T |
| “Número de requisitos rastreados para um próximo nível” ^T |
| “Número de requisitos” ^T |
| “Número de responsáveis por requisitos” ^T |
| “Número de diagramas de sequência por caso de uso” ^T |
| “Número de <i>stakeholders</i> ” ^T |
| “Número de estados por caso de uso” ^T |
| “Número de diagramas de caso de uso submetidos” ^T |
| “Número de casos de teste por requisito” ^T |
| “Número de funções únicas especificadas (NUF)” ^T |
| “Número de casos de uso” ^T |
| “Número de casos de uso não descritos por um ou mais diagramas de comportamento” ^T |
| “Número de casos de uso por ator” ^T |
| “Número de casos de uso por estado” ^T |
| “Número de casos de uso por estado por intervalo de tempo” ^T |
| “Número de casos de uso que não estão em diagramas” ^T |
| “Número de casos de uso que não estão em um diagrama de comportamento anterior” ^T |
| “Redundância” ^T |
| “Tamanho do maior caminho entre a primeira atividade e a última atividade” ^T |
| “Força de uma categoria” ^T |
| “Força de um requisito” ^T |
| “Ambiguidade” ^T |
| “Verificabilidade” ^T |

4.2.4 Análise dos resultados

Após a análise dos artigos selecionados na revisão sistemática da literatura, 154 medidas distintas relacionadas a requisitos de *software* foram levantadas. Essas medidas podem ser classificadas em:

- Medidas que avaliam um único requisito;
- Medidas que avaliam a qualidade de um documento de requisitos;
- Medidas que avaliam a similaridade entre dois requisitos de um documento;
- Medidas que avaliam a evolução de um documento de requisitos;
- Medidas que avaliam diagramas e casos de uso contidos em um documento de requisitos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Seleção das medidas

Na RSL, 154 medidas de requisitos de *software* distintas foram encontradas. Destas 154 medidas, 6 foram selecionadas para serem submetidas à análise estatística e análise de aplicabilidade. As 6 medidas selecionadas são:

- “Compreensibilidade”^T
- “Concisão”^T
- “Rastreável”^T
- “Modificável”^T
- “Armazenado eletronicamente”^T
- “Taxa de comentários relacionados à prioridade”^T

Essas medidas foram selecionadas porque, a partir do estudo das medidas, verificou-se que as medidas selecionadas não dependem de diferentes versões de documentos de requisitos de software. Revisores podem aplicá-las facilmente sem a utilização de ferramentas de medição. Outra razão para escolha das medidas apresentadas foi a verificação, após leitura dos documentos, de que todos os documentos continham as informações necessárias para o uso das medidas.

5.2 Seleção dos Documentos de Requisitos de Software

Para selecionar os SRS a serem usados neste trabalho, foram realizadas pesquisas no Google. Tentativas de busca nos repositórios de código fonte SourceForge e Google Code foram feitas. No SourceForge, não há informações explícitas se existem documentos de requisitos. No Google Code é possível encontrar com facilidade os documentos de requisitos de *software*, porém, mesmo com a facilidade de localização dos SRS na página de um *software*, nem todos os projetos disponibilizam seu documento de requisitos.

Uma vez que as tentativas de busca nos repositórios de código fonte não retornaram resultados satisfatórios, decidiu-se realizar a busca somente no Google, utilizando as palavras chave: “*Software Requirements Specification*”, “*Software Requirements Specification SourceForge*” e “*Software Requirements Specification Google Code*”. Foram considerados os resultados das 15 primeiras páginas de cada consulta, cada página continha 10 resultados. Ao final das buscas, foram coletados 147 documentos. Após leitura destes documentos somente 25 foram selecionados. Os motivos para que os 1224 SRS restantes fossem descartados são:

- Documentos repetidos;
- Eram apenas a estrutura de um documento de requisitos, não apresentavam conteúdo relevante;
- Documentos elaborados a partir da análise do código fonte e do programa em execução;
- Documentos escritos em idiomas diferentes de inglês e português.

Os documentos selecionados são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 Documentos de Requisitos de Software Selecionados

| Nome do projeto |
|--|
| Sistema de Avaliação de Resultados de Políticas de Fomento |
| SAGe - Sistema de Apoio à Gestão da FAPESP |
| Agente Micromundo e Análise do Desenvolvimento no Uso de Instrumentos Multimídia (AMADeUS -MM) |
| Graphical Oncology Diagnostic System |
| Vyassa |
| Alahamora p2p Network and Tool |
| Controlador Residencial 8bits |
| Acompshop |
| Home Automated Lighting System |
| Project ZNIX |
| Intership |
| VENSSO |
| Mr Mobile |
| OneBook |
| LabGeo |
| Spatial Intersection Tool |
| AudioLock |
| Criptic |
| Airline Flight Information and Reservation System |
| Give2Get |
| Home Appliance Control System |
| Schedule |
| Simple Inventory |
| Abu Dhabi Transportation Website |
| Scriber |

5.3 Análise de aplicabilidade das medidas

Esta seção discute a aplicabilidade das medidas selecionadas e apresentadas na Seção 5.1. Na análise de aplicabilidade, as medidas são discutidas de acordo com a facilidade e/ou dificuldades encontradas ao se calcular os resultados. Após discussão individual de cada medida, considerações gerais sobre a aplicação das medidas de requisitos selecionadas são apresentadas, considerando as medidas realizadas por um revisor (autora do trabalho).

5.3.1 Análise de aplicabilidade de cada medida

Nesta seção a análise de aplicabilidade de cada medida é apresentada.

- “Compreensibilidade”^T: esta é uma medida difícil de ser calculada. Seu resultado é a taxa de requisitos entendidos pelos revisores. Mas entender um texto é algo subjetivo. Quando revisores avaliam um documento, pode acontecer de um requisito ser considerado compreensível por um revisor, mas não ser considerado pelos outros. Outra dificuldade encontrada é a possibilidade de todos os revisores considerarem o requisito como não entendido, mas, ao consultar a interpretação do redator do requisito, este considerar o requisito como compreensível. Neste caso, seria necessário verificar com quem escreveu os requisitos se a interpretação de cada revisor está correta, o que consumiria muito tempo. A avaliação de “Compreensibilidade”^T é subjetiva, depende da interpretação que cada revisor dá ao texto do requisito. O que pode tornar essa avaliação menos subjetiva é a utilização de mecanismos,

algoritmos ou técnicas específicas para avaliação da qualidade do texto do requisito.

- “Concisão”^T: o cálculo desta medida é fácil, a fórmula utilizada para seu cálculo é simples e não utiliza variáveis que dependem da interpretação de revisores. O cálculo desta medida pode ser feita somente por um revisor sem comprometer a validade de seu resultado.
- “Rastreável”^T: esta medida tem como resultado apenas os valores 0 e 1. O valor 1 representa um documento “Rastreável”^T e 0, caso contrário. Porém, o valor para esta medida pode ser difícil de ser determinado pelos revisores caso parte dos revisores não esteja familiarizado com as convenções usadas para identificar requisitos, por exemplo, um revisor pode não estar acostumado com a utilização do identificador RF001 para indicar que este é o identificador do primeiro requisito funcional do documento.
- “Modificável”^T: esta medida também não apresenta dificuldades para ser calculada. Não é usada fórmula para calcular seu valor. Assim como a medida anterior, somente os valores 1 e 0 são resultados possíveis. Mas definir se um documento é modificável ou não depende de cada revisor. A estrutura de um documento pode ser considerada facilmente modificável por alguns revisores, enquanto outros acham que adaptar o documento para mudanças pode ser difícil ou até impossível. Um revisor para esta medida pode ser um gerente de projetos.
- “Armazenado Eletronicamente”^T: esta é uma medida simples, não há dificuldades em calcular seu valor. Como descrito anteriormente, os

únicos valores que podem ser atribuídos a esta medida são 1 e 0. E para determinar o valor desta medida, os revisores devem verificar o armazenamento eletrônico de um documento. Como um documento somente pode ou não pode estar armazenado eletronicamente, é improvável que haja diferença dos valores fornecidos pelos revisores.

- “Taxa de comentários relacionados à prioridade”^T: o cálculo desta medida é simples, basta os revisores contarem os requisitos que tem sua prioridade (ou importância) indicada. . Por exemplo, o requisito com identificador RNF001 tem sua prioridade indicada abaixo da descrição do requisito:

RNF001: Disponibilidade

O sistema deve estar disponível 24 horas por dia, todos os dias da semana, salvo horários de manutenção, backup, atualizações e manutenção de *software* e *hardware*.

Prioridade: Essencial Importante Desejável

A princípio, um revisor é suficiente para calcular esta medida.

5.3.2 Análise geral da aplicabilidade das medidas

Para aplicação das medidas de requisitos selecionadas, buscou-se por ferramentas automatizadas de medição. Existem poucas ferramentas. Verificou-se que a utilização de qualquer ferramenta é inviável. As ferramentas exigem que o documento tenha uma estrutura específica e não aceitam idiomas diferentes de Inglês Além disso, as ferramentas fazem somente a contagem de palavras (marcadas ou não pelo usuário), linhas e parágrafos.

A falta de uso de uma ferramenta para medição pode dificultar a aplicação de medidas. Os documentos possuem tamanhos diferentes, nem todos possuem identificação para os requisitos, dificultando a contagem dos requisitos.

5.4 Análise estatística dos resultados das medidas

Os dados e análises desta seção são apresentados apenas a título de ilustração, pois os dados e análises somente seriam válidos se as medidas fossem realizadas por mais de um revisor. A análise apresentada é um estudo exploratório da análise de medidas de requisitos.

Os valores das medidas calculadas para este estudo exploratório são apresentados no Quadro 7.

a) Análise dos dados

A análise dos dados apresentados no Quadro 7 foi feita utilizando o *software* R. Este *software* é uma ferramenta de análises estatísticas. Junto com o *software* R, utilizou-se a interface gráfica RStudio.

Quadro 7 Resultados das medidas

| # | Compreen- sibilidade | Concisão | Rastre- ável | Modif. | Arm. Eletron. | Coment. |
|-----|-------------------------|----------|-----------------|--------|------------------|----------|
| D1 | 0,956522 | 0,008547 | 1 | 1 | 1 | 0,956522 |
| D2 | 0,966667 | 0,166667 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| D3 | 1 | 0,285714 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| D4 | 0,941176 | 0,204081 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| D5 | 0,923077 | 0,666667 | 1 | 1 | 1 | 0,461538 |
| D6 | 1 | 0,090909 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| D7 | 0,818182 | 0,1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| D8 | 0,958333 | 0,47619 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| D9 | 1 | 0,066667 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| D10 | 0,941176 | 0,090909 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| D11 | 0,892857 | 0,05 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| D12 | 1 | 0,1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| D13 | 0,967742 | 0,03125 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| D14 | 1 | 0,071428 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| D15 | 0,25 | 0,125 | 0 | 1 | 1 | 0,9 |
| D16 | 0,969697 | 0,333333 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| D17 | 0,833333 | 0,055556 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| D18 | 1 | 0,058823 | 1 | 1 | 1 | 0,235294 |
| D19 | 0,957447 | 0,052631 | 1 | 1 | 1 | 0,531915 |
| D20 | 1 | 0,071429 | 1 | 1 | 1 | 0,214286 |
| D21 | 1 | 0,090909 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| D22 | 0,916667 | 0,066667 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| D23 | 0,85 | 0,0625 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| D24 | 1 | 0,03125 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| D25 | 0,944444 | 0,0625 | 1 | 1 | 1 | 0,333333 |

A análise de dados desta seção é apenas um estudo de caráter exploratório, como mencionado na seção anterior.

A seguir, são apresentados os histogramas de frequência para cada medida utilizada. Um histograma de frequência é a representação gráfica da

distribuição dos dados, através dele, pode-se verificar a maior concentração de valores da amostra. Para cada histograma apresentado, o eixo X representa os valores das medidas e o eixo Y representa a frequência que os valores aparecem.

A Figura 4 apresenta o histograma de frequência para a medida “Compreensibilidade”^T. 56% dos documentos apresentam “Compreensibilidade”^T igual a 1, ou seja, o revisor entendeu todos os requisitos contidos nestes documentos. O menor valor encontrado para “Compreensibilidade”^T foi 0,85.

O histograma de frequência para a medida “Concisão”^T está representado na Figura 5. Esse histograma mostra que 18 documentos (72% dos documentos medidos) apresentam “Concisão”^T entre 0,0 e 0,1. Pode-se observar também que nenhum documento apresenta “Concisão”^T superior a 0,7.

Considerando a medida “Rastreável”^T, verificou-se que a maioria dos documentos é considerada rastreável pelo revisor. 19 de 25 documentos apresentam o valor 1 para a medida “Rastreável”^T. (Ver Figura 6)

Através da Figura 7, pode-se observar que 18 documentos (72%) são considerados facilmente modificáveis pelo revisor. Na Figura 8, pode-se verificar que 15 documentos (60%) tem entre 0 e 20% requisitos com comentários relacionados à importância. Somente 5 documentos (20%) tem uma “taxa alta de comentários relacionados à prioridade”^T (entre 80% e 100% dos requisitos comentados).

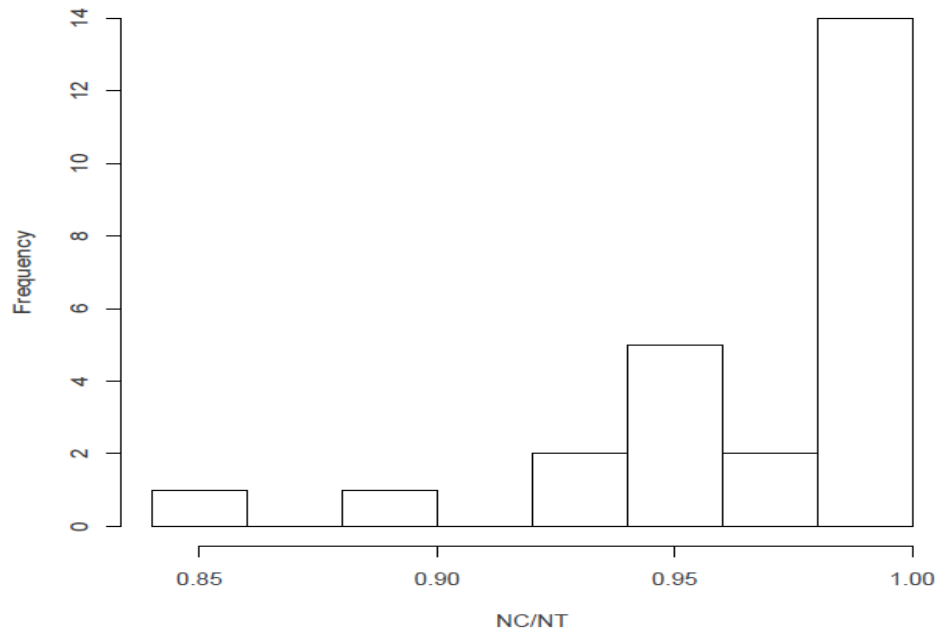


Figura 4 Histograma para a medida "Compreensibilidade"^T

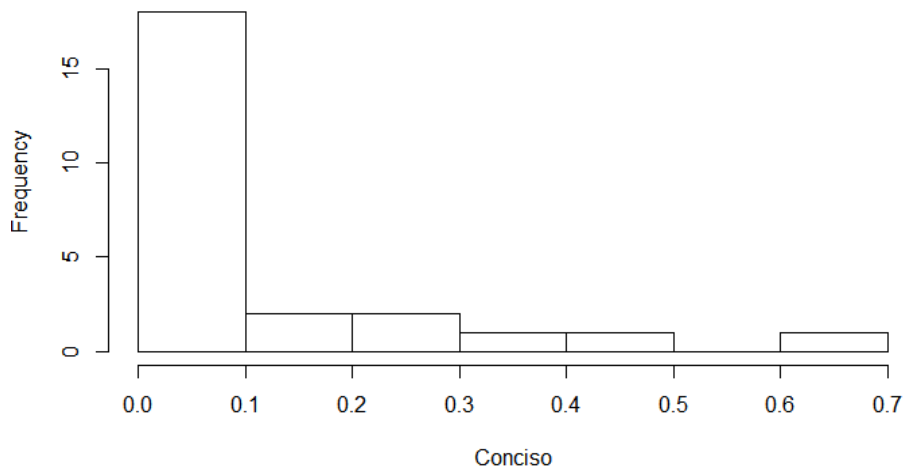


Figura 5 Histograma para a medida "Concisão"^T

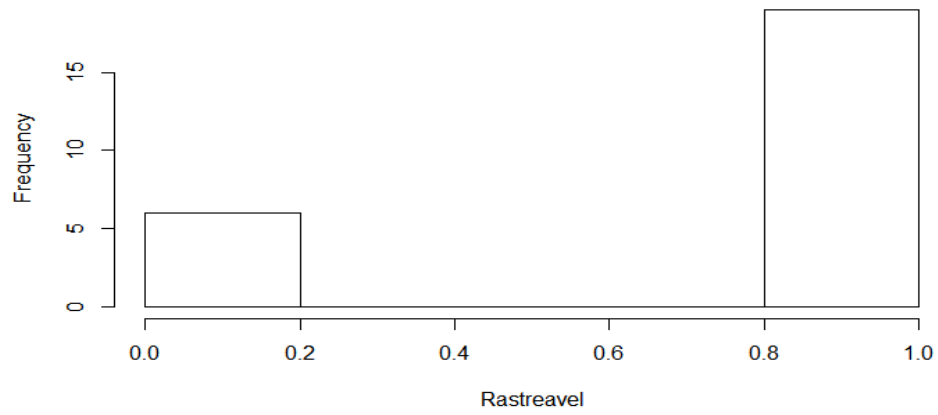


Figura 6 Histograma para a medida "Rastreável"^T

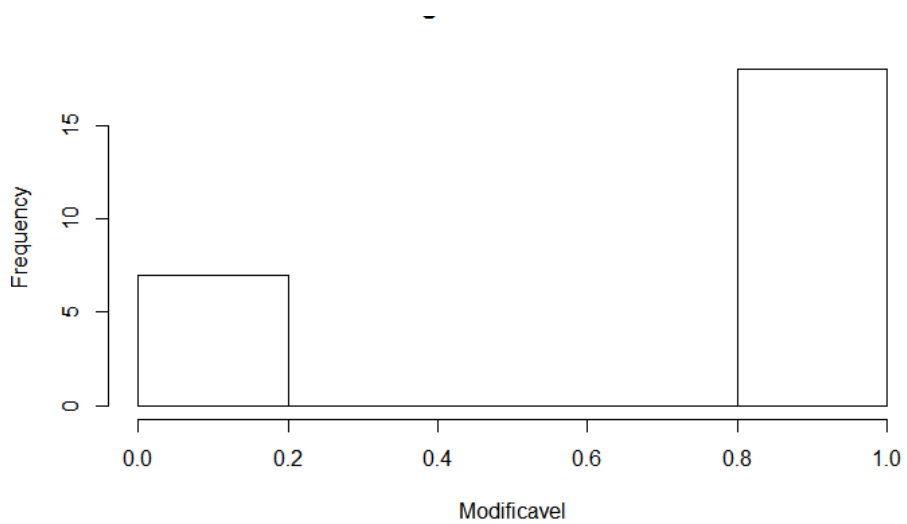


Figura 7 Histograma para a medida "Modificável"^T

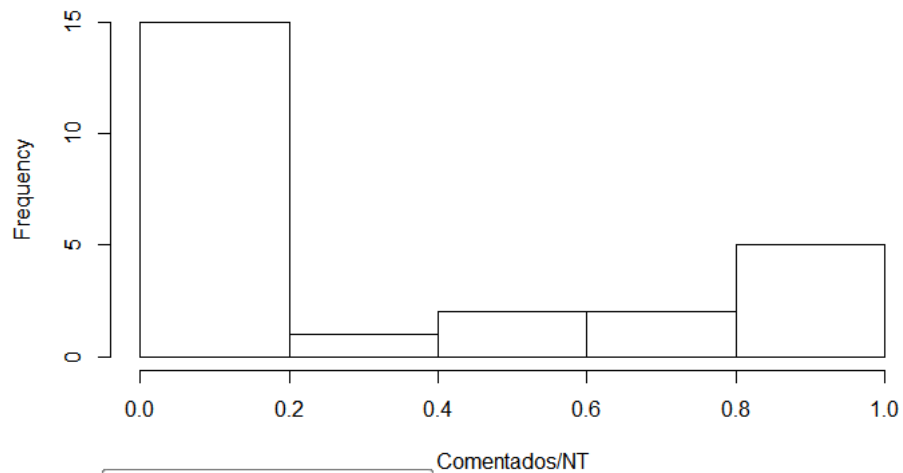


Figura 8 Histograma para a medida “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade”^T

b) Análise de variância

Assim como a análise dos dados mostrada anteriormente, a análise de variância foi feita utilizando o *software* R. A análise de variância verifica a diferença entre as médias das medidas e se uma ou mais medidas influenciam outra.

A análise de variância foi realizada usando a função ANOVA do R (`anova(objects,...)`). Esta função retorna um objeto que representa as tabelas de análises de variância e desvio.

A análise de variância verifica a influência das medidas “Concisão”^T, “Rastreável”^T e “Modificável”^T sobre as medidas “Compreensibilidade”^T e “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade”^T.

A análise de variância sobre a medida “Compreensibilidade”^T é apresentada no Quadro 8. A coluna “Média” da quadro indica a influência de cada sobre a medida “Compreensibilidade”.^T Através dos dados apresentados,

pode-se concluir que a medida que menos influencia “Compreensibilidade”^T é a medida “Concisão”^T, enquanto a medida que mais influencia é a “Rastreável”^T. Isto é, para documentos considerados rastreáveis, a “Compreensibilidade”^T é alta.

Considere, agora, a medida “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade”^T. Os dados da análise de variância dessa medida são apresentados no Quadro 9. A coluna “Média” do quadro indica a influência de cada medida sobre a “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade”^T. Neste quadro, observa-se que “Concisão”^T e “Rastreável”^T são medidas que não influenciam a “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade”^T. A medida “Modificável”^T apresenta maior influência sobre a “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade”^T.

Quadro 8 Análise de variância sobre a medida "Compreensibilidade"^T

| Medida | Média |
|----------------------------|--------------|
| “Concisão” ^T | 0,84832 |
| “Rastreável” ^T | 1,39141 |
| “Modificável” ^T | 0,70266 |

Quadro 9 Análise de Variância sobre a medida "Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade"^T

| Medida | Média |
|----------------------------|--------------|
| “Concisão” ^T | 0,0559 |
| “Rastreável” ^T | 0,1302 |
| “Modificável” ^T | 10,5741 |

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A Revisão Sistemática da Literatura foi executada para levantar as medidas de requisitos existentes. 154 medidas de requisitos foram identificadas. Parte dessas medidas foram propostas com o objetivo de avaliar, melhorar a qualidade dos documentos de requisitos de *software*. Outras medidas foram propostas com a finalidade de monitorar e avaliar a evolução dos requisitos de um documento em suas diferentes versões.

A partir da leitura dos artigos selecionados na RSL e listagem de medidas é possível perceber que medidas de requisitos de *software* tem impacto na qualidade do documento de requisitos e, conseqüentemente, na qualidade do produto a ser desenvolvido. Se essas medidas forem aplicadas durante o processo de Engenharia de Requisitos, fatores que podem gerar um documento sem qualidade seriam minimizados. Por exemplo, os requisitos considerados ambíguos, os requisitos considerados difíceis de serem entendidos pelos revisores seriam identificados e corrigidos. Como consequência, o *software* desenvolvido a partir de um documento que teve sua qualidade avaliada através da aplicação de medidas atenderá as necessidades dos usuários e clientes, será considerado um produto de qualidade, pois foi desenvolvido a partir de requisitos analisados e corrigidos, caso necessário, gerando requisitos e casos de uso facilmente compreensíveis pelos desenvolvedores do sistema.

A aplicação das medidas de requisitos deve ser feita manualmente, pois uma ferramenta para realizar as medições e gerar resultado satisfatório não foi encontrada. Ao se observar os documentos selecionados para este trabalho, concluiu-se que a falta de ferramentas tem como causa a falta de padronização de documentos. Os redatores não seguem um modelo, gerando, assim, documentos de requisitos de *software* com estruturas diferentes, identificadores

diferentes e convenções diferentes. Outra razão observada para a deficiência de ferramentas é a necessidade de interpretação dos requisitos e SRS avaliados.

Através da análise de aplicabilidade, observou-se que existem medidas em que a interpretação do texto do documento pelos revisores influencia o resultado, são medidas em que a opinião e entendimento do problema geram diferenças nos resultados. Sendo assim, um valor para essas medidas somente seria válido se elas fossem aplicadas por mais de um revisor.

As medidas “Compreensibilidade”^T e “Modificável”^T são medidas que devem ser aplicadas por um conjunto de revisores. Essas medidas levam em consideração a interpretação do revisor de cada requisito e da forma como o documento de requisitos é estruturado.

As medidas “Armazenado Eletronicamente”^T, “Concisão”^T, “Rastreável”^T, “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade”^T podem ser aplicadas por apenas um revisor. São medidas que não necessitam de interpretação do texto dos requisitos. “Armazenado Eletronicamente”^T e “Rastreável”^T só permitem valores 0 e 1. “Concisão”^T e “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade”^T são calculadas a partir de fórmulas simples que contem 1 e 2 variáveis, respectivamente.

A análise estatística, apesar de ter considerado apenas os dados obtidos da aplicação das medidas por um revisor (autora do trabalho), mostra que a “Compreensibilidade”^T é influenciada pela medida “Rastreável”^T, e “Taxa de Comentários Relacionados à Prioridade”^T é influenciada pela medida “Modificável”^T.

Os documentos que apresentaram maior “Compreensibilidade”^T foram aqueles considerados rastreáveis. E os documentos com maior taxa de requisitos comentados com relação a sua importância foram considerados facilmente modificáveis.

As limitações da pesquisa foram a baixa quantidade de documentos de requisitos levantados para serem selecionados e a avaliação dos documentos por apenas um revisor. A baixa quantidade de documentos gerou poucos resultados para serem submetidos à análise estatística. A avaliação realizada por apenas um revisor não garante a validade dos resultados das medidas que consideram características subjetivas do documento de requisitos, por exemplo, avaliar se a estrutura do documento de requisitos é modificável.

Como trabalhos futuros, sugere-se formar um grupo de revisores e aplicar as medidas de requisitos em uma quantidade maior de SRS. Realizar uma análise estatística mais detalhada a partir dos dados obtidos e, se possível, propor valores de referências para medidas de requisitos. Aplicar técnicas de análise de inteligibilidade de textos existentes na área de Processamento de Linguagem Natural, para avaliar a qualidade do texto escrito para o requisito.

REFERÊNCIAS

- COSTELLO, R. J; LIU, D. B. **Metrics for Requirements Engineering**. 1995.
- DAVIS, A; OVERMYER, S; JORDAN, K; CARUSO, J; DANDASHI, F; DINH, A; KINCAID, G; LEDEBOER, G; REYNOLDS, P; SITARAM, P; TA, A; THEOFANOS, M. **Identifying and Measuring Quality in a Software Requirements Specification**. 1993.
- ESTABAGHY, A; DALCHER, D. **A Controlled Experiment to Investigate the Effects of ‘Process Patterns’ on the Quality of Requirements Analysis**. 2007.
- GYÖRKÖS, J. **Measurements in Software Requirements Specification Process**. 1994
- IQBAL, S; KHAN, N., A. **Yet Another Set of Requirements Metrics for Software Projects**. 2012.
- ILYAS, M; KÜNG, J. **A Similarity Framework for Requirements Engineering**. 2009.
- KENETT, R. S. **Software Specifications Metrics: A Quantitative Approach to Assess the Quality of Documents**. 1996.
- KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. 2004.
- LOCONSOLE, A; BÖRSTLER, J. **An Industrial Case Study on Requirements Volatility Measures**. 2005.
- MALIK, A. A; BOHEM, B. **Quantifying Requirements Elaboration to Improve Early Software Cost Estimation**. 2009.
- MEDEIROS Jr, R. A. **Uma Ontologia para Engenharia de Requisitos de Software**. 2006.
- MONPERRUS, M; BAUDRY, B; CHAMPEAU, J; HOELTZENER, B; JÉZÉQUEL, J. M. **Automated Measurement of Models of Requirements**. 2011.

PRESSMAN, R. S. **Software Engineering – A Practitioner’s Approach**. Fifth Edition. McGraw-Hill, 2001.

SAYÃO, M; BREITMAN. K. Gerência de Requisitos. **Mini-Cursos do 20º SBBB e 19º SBES**. 2004.

SAYÃO, M; VON STAA, A; LEITE, J. C. S. P. **Qualidade em Requisitos**. 2003.

SOMMERVILLE, I. **Software Engineering**. Eighth Edition. Pearson Education, 2007.

SWEBOK. **Guide of the Software Engineering Body of Knowledge**. 2004. Disponível em: www.swebok.org. Acesso em: 15/04/2012.

TRAVASSOS, G. H.; BIOLCHINI, J. **Revisões Sistemáticas Aplicadas a Engenharia de Software**. 2007

ZAMBALDE, A. L.; PÁDUA, C. I. P. S.; ALVES, R. M. **O documento científico em Ciência da computação e Sistemas de Informação**. Lavras/MG: DCC/UFLA, 2008.

ANEXOS

ANEXO A – Quadro de traduções dos termos e expressões em inglês

Quadro 10 Tabela de traduções

| Termo em português | Termo em inglês |
|--|--|
| Acurácia | Accuracy |
| Adições, exclusões, modificações no <i>software</i> | Additions, deletions, and modifications to software |
| Alcançável | Achievable |
| Ambiguidade | Unambiguity |
| Armazenado Eletronicamente | Electronically Stored |
| Coefficiente Cosine | Cosine Coefficient |
| Coefficiente Dice | Dice Coefficient |
| Coefficiente Jaccard | Jaccard Coefficient |
| Compleitude | Completeness |
| Compleitude das mudanças | Change Completeness |
| Compleitude dos requisitos | Requirements Completeness |
| Compleitude por função | Completeness per function |
| Compreensível | Understandable |
| Conciso | Concise |
| Condições em falta | Missing Conditions Info |
| Corretude | Correctness |
| Custo necessário para verificar a presença do requisito r_i no documento de requisitos | Cost necessary to verify presence of requirement r_i |
| Densidade de defeitos dos requisitos | Requirements defect density |
| Densidade de falhas dos requisitos | Requirements fault density |
| Densidade de interface de requisitos | Requirements interface density |
| Densidade de mudanças nos requisitos | Requirements change density |
| Dependente de projeto | Design Dependency |
| Emissão de relatórios de problemas de requisitos | Requirements problem report/actional item/issue |
| Esforço das mudanças | Change effort |
| Executável/Interpretável/Prototipável | Executable/Intepretable/Prototypable |
| Externamente consistente | Externally consistent |

| | |
|---|---|
| Fatores de ambiente | Environmental factors |
| Força de um requisito individual | Strength of an individual requirement |
| Força de uma categoria | Strength of a category |
| Frequência de TBD (<i>To Be Done</i> – requisitos incompletos) | TBD Frequency |
| Função única | Unique functions |
| Grau de decomposição por quadro | Degree of decomposition per frame |
| Independente de projeto | Design-Independent |
| Informação ambígua | Ambiguous Info |
| Informação em falta | Missing Info |
| Informações Descritivas | Descriptive Info |
| Internamente consistente | Internally consistent |
| Legibilidade | Readability |
| Média dos valores de cada requisito que compõem o SRS | The average of the values of each of its constituent requirements |
| Medidas do tamanho de caso de uso | Use case size measures |
| Modificações de requisitos | Modification to requirements |
| Modificável | Modifiable |
| Motivo da mudança | Reason of change |
| Mudanças nos requisitos em um intervalo de tempo | Requirements changes in time |
| Mudanças pós lançamento | Post release changes |
| Mudanças pré/pós especificação funcional | Pre/Post functional specification changes |
| Não ambiguidade | Unambiguous |
| Não redundante | Not Redundant |
| Nível correto de abstração/detalhamento | At Right Level of Detail |
| Número de atividades do fluxo principal por caso de uso | Number of activities in the main flow per use case |
| Número de atividades no fluxo alternativo por caso de uso | Number of activities in the alternative flows per use case |
| Número de atividades por ator | Number of activities per actor |
| Número de atividades por caso de uso | Number of activities per use cases |
| Número de atividades por fluxo alternativo por caso de uso | Number of activities per alternative flow per use case |
| Número de atividades por objetivo | Number of activities per goal |
| Número de atores | Number of actors |

| | |
|--|---|
| Número de casos de teste por requisito | Number of test cases per requirement |
| Número de casos de uso | Number of use cases |
| Número de casos de uso mistos | Number of mixed use cases |
| Número de casos de uso não descritos por um ou mais diagramas de comportamento | Number of use cases non-described by one or more behavioral diagram |
| Número de casos de uso por ator | Number of use cases per actor |
| Número de casos de uso por estado | Number of use cases per status |
| Número de casos de uso por estado por intervalo de tempo | Number of use cases per status per frame time |
| Número de casos de uso que não estão em um diagrama de comportamento anterior | Number of use cases that do not appear on a parent behavior diagram |
| Número de casos de uso que não estão em diagramas | Number of use cases that do not appear on a diagram |
| Número de CSCI ligados a requisitos | Number of CSCI linked to a requirement |
| Número de dependência por caso de uso | Number of dependencies per use case (includes, extends) |
| Número de dependências circulares entre casos de uso | Number of circular dependencies between use cases |
| Número de destinos de atributos | |
| Número de diagramas de caso de uso não submetidos | Number of non-submitted use case diagrams |
| Número de diagramas de casos de uso aceitos | Number of accepted use case diagrams |
| Número de diagramas de sequência por caso de uso | Number of sequence diagrams per use case |
| Número de diagramas de caso de uso submetidos | Number of submitted use case diagrams |
| Número de dias de calendário previsto e real para uma versão | The planned and actual number of calendar days for a version |
| Número de entradas na especificação do requisito | Number of inputs specified in the SRS |
| Número de estados de entrada por função | Number of input states per functions (A) |
| Número de estados definidos na especificação dos requisitos | Número de estados definidos ou implícitos no SRS |
| Número de estados por caso de uso | Number of states per use case |
| Número de estímulos de entrada por | Number of input stimulus per function |

| | |
|---|--|
| função | |
| Número de fluxos alternativos | Number of alternative flows |
| Número de fluxos por função | Number of flows per function |
| Número de fontes de atributos | |
| Número de funções especificadas (NF) | Number of functions specified (NF) |
| Número de funções não determinísticas | Number of functions that are non-deterministic (NUFND) |
| Número de funções únicas especificadas (NUF) | Number of unique functions specified (NUF) |
| Número de limites que não se comunicam com um ator | Number of boundaries that do not communicate with an actor |
| Número de limites que não se comunicam com um caso de uso concreto | Number of boundaries that do not communicate with a concrete use case |
| Número de metas por <i>stakeholder</i> | Number of goals per stakeholder |
| Número de modificações | Number of changes |
| Número de mudanças em requisitos de uma base por intervalo de tempo | Number of changes to requirement incorporated into baseline per frame time |
| Número de mudanças na especificação | Number of specification changes |
| Número de mudanças por quadro | Number of Changes per Frame |
| Número de mudanças por requisito | Number of Changes per Requirement |
| Número de objetivos | Number of goals |
| Número de objetivos por <i>stakeholder</i> | Number of goals per stakeholder |
| Número de páginas do documento de requisitos | Number of pages |
| Número de requisitos adicionados, modificados, excluídos | Number of requirements added, modified, deleted |
| Número de requisitos | Number of requirements |
| Número de requisitos | Number of Requirements |
| Número de requisitos adicionados por quadro | Number of Requirements Added per Frame |
| Número de requisitos consistentes com outros documentos | Number of requirements in the SRS that are consistent with all other documents |
| Número de requisitos corretos | Number of correct requirements |
| Número de requisitos de sistema | Total number of system requirements |
| Número de requisitos em que <i>simpless</i> | Number of requirements for which all |

| | |
|---|---|
| os revisores apresentam interpretação idêntica | reviewers presented identical interpretation |
| Número de requisitos excluídos por quadro | Number of Requirements Deleted per Frame |
| Número de requisitos funcionais alocados a um lançamento do projeto | Number of functional allocated to a project release |
| Número de requisitos impactados por mudança | Number of impacted requirements per change |
| Número de requisitos incompletos | Number of incomplete requirements |
| Número de requisitos iniciais | Number of Initial Requirements |
| Número de requisitos modificados por quadro | Number of Requirements Modified per Frame |
| Número de requisitos não consistentes | Number of requirements in the SRS that are not consistente with all other documents |
| Número de requisitos não validados | Number of not (yet) validated requirements |
| Número de requisitos por estado | Number of requirements per status |
| Número de requisitos por nível que tem links ascendentes de rastreabilidade inconsistentes | Number of requirements per level that have inconsistent traceability links upward |
| Número de requisitos por nível que tem links descendentes de rastreabilidade inconsistentes | Number of requirements per level that have inconsistent traceability links downward |
| Número de requisitos por responsáveis | Number of requirements per responsible |
| Número de requisitos que descrevem arquitetura ou algoritmo | Number of requirements that describe architecture algorithm (NAC) |
| Número de requisitos que descrevem comportamento puramente externo | Number of requirements that describe pure external behavior |
| Número de requisitos que foram compreendidos pelos revisores | Number of requirements for which all reviewers thought they understood |
| Número de requisitos que foram interpretados da mesma maneira pelos revisores | Number of requirements for which all reviewers presented identical interpretations |
| Número de requisitos que mudam para uma base | Number of requirements that changes to a baseline |
| Número de requisitos rastreado para um ou mais requisito incompleto | Number of requirements that trace to one or more incomplete requirement |
| Número de requisitos rastreados do nível mais alto para o mais baixo | Number of requirements that trace from the highest to lowest |

| | |
|--|--|
| Número de requisitos rastreados do nível mais baixo para o mais alto | Number of requirements that trace from lowest to highest |
| Número de requisitos rastreados para um CSCI incompleto | Number of requirement traced to incomplete CSCI |
| Número de requisitos rastreados para um próximo nível | Number of Requirements that trace to the next level up |
| Número de requisitos rastreados para um próximo nível abaixo | Number of Requirements that trace to the next level down |
| Número de requisitos rastreados para um próximo nível em ambas as direções | Number of requirements that trace to the next direction in both directions |
| Número de requisitos rastreados para um requisito inconsistente | Number of requirements that trace to inconsistent requirement |
| Número de requisitos refletidos em um ou mais CSCI | Number of requirements reflected in one or more CSCI |
| Número de requisitos satisfeitos pelo produto que foi entregue ao cliente | Number of requirements satisfied by the product delivered to the client |
| Número de responsáveis por requisitos | Number of responsible per requirement |
| Número de <i>stakeholders</i> | Number of stakeholders |
| Número total de ações atômicas por objetivo e ator | Total number of atomic actions per goal and actor |
| Número total de novos requisitos | Total number of new requirements |
| Organizado | Organized |
| Origem | Origin |
| Os dias de esforço previstos e os reais para cada requisito | The planned and actual effort days for each requirements |
| Padrões de processos | Process Patterns |
| Para cada modificação na especificação: Média de alterações em SLOC | For each specification change: average changed SLOC |
| Para cada modificação na especificação: média de alterações em SLOC por módulo | For each specification change: average changed SLOC per module |
| Para cada modificação na especificação: média de alterações SLOCs/pessoa-dia | For each specification change: average changed SLOCs/personday |
| Porcentual das mudanças nos requisitos | Percentage of total requirements change |
| Porcentual de mudanças nos requisitos | The percentage of requirements |

| | |
|---|---|
| em um intervalo de tempo | change in a given period time |
| Preciso | Precise |
| Progresso da integração dos requisitos | Requirements Integrated progress |
| Qualidade do Documento de Requisitos | SRS Quality |
| Qualidade geral do documento de requisitos | Overall SRS Quality |
| Quantidade de informações que um requisito contém em um determinado momento | Amount of information contained in requirements at a certain time |
| Rastreabilidade dos requisitos | Requirements Traceability |
| Rastreado | Traced |
| Rastreável | Traceable |
| Referências Cruzadas | Cross referenced |
| Rendundância | Redundancy |
| Requisitos compreensíveis | Understandable requirements |
| Requisitos estáveis | Stable requirements |
| Requisitos Mal Interpretados | Missinterpreted requirements |
| Requisitos modificados | Changed Requirements |
| Requisitos modificados | |
| Requisitos modificados em uma versão após aprovação do plano | Requirements changes made to a version after plan approval |
| Requisitos modificáveis classificados em mutáveis, emergentes, consequentes, adaptáveis, migração | Changing Requirements classified in mutable, emergent, consequential, adaptive, migration |
| Requisitos testados | Requirement testing |
| Restrições em falta | Missing Constraints |
| Reusável | Reusable |
| Tamanho do maior caminho entre a primeira atividade e a última atividade | Size of the longest path between the first activity and the final activity |
| Taxa de comentários relacionados à estabilidade | Annotated by relative stability |
| Taxa de comentários relacionados à prioridade | Annotated by relative importance |
| Taxa de comentários relacionados à versão | Annotated by version |
| Taxa de erros das mudanças | Change Error Rate |
| Tempo necessário para verificar a presença do requisito r_i no documento | Time necessary to verify presence of requirement r_i |

| | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| de requisitos | |
| Testes de requisitos | Requirements testing |
| Tipo de requisito | Type of Requirement |
| Tipos de mudança | Change Types |
| Total de funções especificadas | The actual functions specified |
| Total de funções únicas especificadas | The actual unique functions specified |
| Unicidade | Uniqueness |
| Verificabilidade | Verifiability |
| Verificável | Verifiable |
| Volatilidade das mudanças | Change Volatility |
| Volatilidade dos requisitos | Requirements Volatility |