

# NFR4ES: Um Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados

Reinaldo Silva<sup>1,2</sup>, Jaelson Castro<sup>2</sup>, and João Pimentel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Maranhão, Brazil [reinaldo.silva@ifma.edu.br](mailto:reinaldo.silva@ifma.edu.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Brazil [{ras12,jbc}@cin.ufpe.br](mailto:{ras12,jbc}@cin.ufpe.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brazil [joao.hcpimentel@ufrpe.br](mailto:joao.hcpimentel@ufrpe.br)

**Resumo** Due to the complexity in the development of embedded systems, engineers look to the requirements engineering field for methods and techniques that support the construction of these systems, specially when it concerns the handling of Non-Functional Requirements (NFRs), such as cost and energy consumption. Indeed, many papers report challenges with the elicitation and specification of NFRs for embedded systems. Thus, this paper aims to address the difficulty of identifying, interrelating and documenting NFRs in embedded systems projects, by means of a catalog of Non-Functional Requirements for Embedded Systems (NFR4ES). With this catalog, knowledge was obtained from the literature and from experts on the subject, which was then organized in order to facilitate the elicitation and specification of requirements for embedded systems. NFRs were only included in the catalog if we could find written evidence of their applicability for such systems. It was evaluated by means of a proof of concept as well as through a survey with specialists, where it was considered useful and appropriate for the elicitation and specification of embedded systems.

**Keywords:** Requirements Engineering · Requirements Specification · Non-Functional Requirements · Embedded Systems · NFR Framework

## 1 Introdução

No modelo vigente de desenvolvimento de Sistemas Embarcados, não é raro encontrar projetos onde os engenheiros de *software* não participam das decisões iniciais, o que faz com que muitas vezes o *software* não cumpra as expectativas dos clientes ou usuários. Isso poderia ser evitado, potencialmente, caso houvesse o envolvimento das equipes de *software* no projeto [1]. Adicionalmente, os engenheiros de sistemas embarcados geralmente iniciam o desenvolvimento de um determinado sistema antes da captura dos seus requisitos [2]. Isso ocorre devido a não existir, entre os profissionais de sistemas embarcados, uma cultura bem estabelecida quanto ao tratamento dos requisitos de sistema [3]. De fato, foi observado que as diversas abordagens de Engenharia de Requisitos não atendem às particularidades de sistemas embarcados, pois eles são diferentes de sistemas de propósitos gerais [3].

Em particular, os Requisitos Não-Funcionais (RNFs) são frequentemente tratados de forma inadequada no domínio de sistemas embarcados [4]. RNFs são fundamentais para o sucesso de um projeto de *software*. Caso eles não sejam elicitados de forma adequada, podem ocorrer diversos problemas que resultam em má qualidade do *software*, insatisfação dos *stakeholders* e gastos com a correção no projeto de *software* [5]. Em determinados tipos de sistemas, tais como sistemas embarcados e sistemas críticos de segurança (*safety critical systems*), os RNFs podem ser mais críticos do que os requisitos funcionais, sendo considerados um fator determinante para o sucesso ou falha de um sistema [6]. Não obstante, foi observado que a elicitação e a especificação dos RNFs é um grande desafio no desenvolvimento de sistemas embarcados [4,7].

O objetivo geral da pesquisa foi construir um catálogo de RNFs para o domínio de sistemas embarcados, de forma a apoiar as etapas de elicitação e especificação de requisitos [8]. Não foi esperado englobar todos os RNFs que podem ser aplicados no domínio, e sim encontrar um sub-conjunto que contemple os RNFs relevantes para grande parte dos sistemas embarcados e que possuam evidências comprobatórias.

Este trabalho foi guiado pelas seguintes questões de pesquisa: (i) Quais os principais RNFs que devem ser levados em consideração em projetos de sistemas embarcados?; (ii) Quais são os inter-relacionamentos entre os principais RNFs para sistemas embarcados?

Para a documentação do catálogo foi adotado o NFR *Framework*, uma abordagem que tem sido utilizada com sucesso para a representação e análise de RNFs [5]. Seu objetivo é ajudar desenvolvedores na implementação de soluções personalizadas, levando em consideração as características do domínio e do sistema em questão [5]. Nesse *framework*, os RNFs são representados através de um grafo de interdependência de *softgoals* conhecido como *Softgoal Interdependency Graph* (SIG). O catálogo foi avaliado através de uma prova de conceito e pela opinião de especialistas.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. A Seção 2 descreve a metodologia para construção do catálogo. Na Seção 3, o catálogo propriamente dito é apresentado. A Seção 4 descreve uma prova de conceito, enquanto a Seção 5 discute uma avaliação por especialistas. Os trabalhos relacionados são discutidos na Seção 6. Por último, o artigo é concluído com a Seção 7.

## 2 Metodologia de Construção do Catálogo

O processo de construção do catálogo NFR4ES (*Non-Functional Requirements for Embedded Systems*) é apresentado na Figura 1 através da notação **Business Process Model and Notation** (BPMN) desenvolvida pela OMG [9].

A primeira atividade do processo foi a identificação de candidatos a RNFs relevantes para o domínio em questão. A entrada para esta atividade foi um conjunto de 84 artigos que haviam sido identificados durante uma atualização da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre engenharia de requisitos para sistemas embarcados [10]. Destes, apenas 45 artigos relatavam RNFs de sistemas

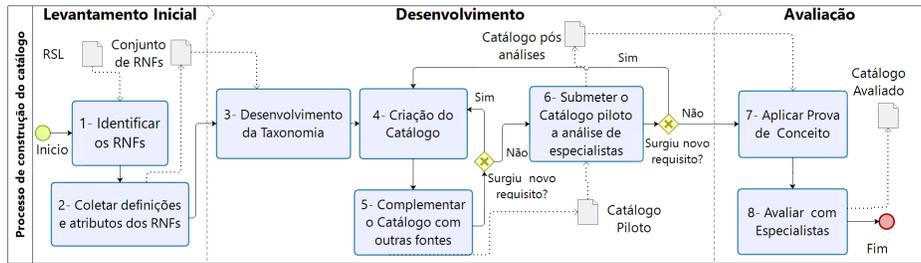


Figura 1: Fases e atividades do processo de construção do catálogo

embarcados. Desses 45 trabalhos, foi identificado um conjunto inicial de 52 RNFs. Em seguida, foi realizada uma triagem inicial para a eliminação de requisitos duplicados (termos diferentes com o significado equivalente). Essa triagem inicial resultou na exclusão de 15 requisitos.

Na tarefa 2, buscou-se “Coletar definições dos RNFs” dos 37 requisitos restantes. Ao realizar esta atividade não foi possível coletarmos todas as definições a partir dos 45 artigos originais, pois alguns artigos apenas os citavam superficialmente. Desta forma, foi necessário a busca dessas definições em outras fontes de informação, a saber: artigos acadêmicos, livros acadêmicos, trabalhos de pós-graduação (dissertações e teses), documentos de requisitos de sistemas embarcados, e padrões da indústria.

Mesmo com essa ampla busca, não foi possível encontrar exemplos nem definições de 16 desses requisitos, que estão disponíveis em [8]. Por falta de evidências corroborativas, esses RNFs também foram excluídos do catálogo. Isso não significa que esses RNFs excluídos não poderiam ser pertinentes para alguns projetos de sistemas embarcados, mas em trabalhos futuros seria interessante investigar a relevância desses RNFs em outros projetos.

Como resultado da tarefa 2, foi construído um conjunto inicial de 21 RNFs com definições. Estes foram: **área, disponibilidade, custo, consumo de energia, manutenibilidade, desempenho, portabilidade, privacidade, confiabilidade, taxa de repetição, disponibilidade de recursos, consumo de recursos, tempo de resposta, segurança (safety), segurança (security), throughput, timeout, tempo, delay, usabilidade e taxa de utilização.**

Na fase de Desenvolvimento do catálogo, realizamos a construção de uma taxonomia de RNFs para sistemas embarcados (tarefa 3) e a construção do Catálogo NFR4ES (tarefa 4). Além disso, melhoramos e complementamos o nosso catálogo a partir de outras fontes de informação como livros técnicos e artigos científicos que não foram identificados na RSL (tarefa 5). No final desta fase, uma versão piloto do catálogo foi gerada para ser submetida a uma análise preliminar por especialistas (tarefa 6).

Na tarefa “Desenvolvimento da Taxonomia” foi criada uma árvore taxonômica com os 21 RNFs obtidos na fase anterior. O objetivo da construção

dessa taxonomia foi auxiliar na compreensão desses requisitos e iniciar a sua estruturação. Este foi um passo intermediário para facilitar a criação dos *Softgoal Interdependency Graphs* (SIGs) utilizados no catálogo.

Após a construção da Taxonomia, foi iniciada a criação do nosso Catálogo de RNFs, organizando todos os RNFs encontrados nas etapas anteriores com suas definições e seus exemplos (tarefa 4). Foi realizada a construção de um grafo *Softgoal Interdependency Graph* (SIG) com os RNFs, adotando a notação do NFR *Framework* proposto por [5]. Além disso, nesta tarefa foi adotado o cartão de especificação baseado no cartão (*snowcard*) do processo *Volere* [11] para a escrita dos exemplos.

Na tarefa 5 (“Complementar o catálogo com outras fontes”), complementamos o catálogo com buscas *ad hoc* na literatura acadêmica, incluindo artigos acadêmicos, livros acadêmicos, dissertações e teses.

Na tarefa 6 (“Submeter o Catálogo piloto a análise de especialistas”), versões preliminares do catálogo foram submetidas à análise de quatro especialistas do domínio, visando a verificação da consistência dos RNFs em aspectos como: relevância, corretude e aplicabilidade em cenários reais na indústria. Os perfis dos especialistas que realizaram a análise do catálogo foram os seguintes: dois profissionais da academia com Doutorado que também atuam na indústria e possuem experiência em projetos de sistemas embarcados; e dois desenvolvedores experientes que possuem mestrado na área de sistemas embarcados e atualmente trabalham na indústria.

A análise feita pelos especialistas resultou no aperfeiçoamento do catálogo através de sugestões de novos RNFs, ajustes nas definições e ajustes na hierarquia dos requisitos. Adicionalmente, um dos papéis desses especialistas foi na identificação das correlações entre os RNFs apresentados no catálogo – isso é, da influência que um RNF exerce em outro RNF. Isso foi feito através de uma análise par-a-par entre os requisitos raiz.

Ao todo, considerando-se múltiplas iterações das tarefas 5 e 6, vinte e três novos RNFs foram identificados durante a fase de desenvolvimento do catálogo: **tolerância a falhas, dimensões, peso, formato, durabilidade, facilidade de transporte, não-inflamável, temperatura, impermeabilidade, compatibilidade eletromagnética, prevenção de perigos, registro de eventos, identificação do usuário, acesso seguro à rede, comunicação segura, armazenamento seguro, segurança de conteúdo, resistência a violação, capacidade de aprendizado, proteção contra erros do usuário, adaptabilidade, satisfação do usuário e intuitividade**. Consequentemente, o catálogo final (apresentado na Seção 3) contempla 44 RNFs, sendo 21 oriundos da RSL e 23 identificados durante a fase de desenvolvimento do catálogo.

Durante a fase de Avaliação, uma prova de conceito foi executada (tarefa 7) aplicando o catálogo para a elicitacão e especificacão *a posteriori* de um sistema embarcado de uma empresa brasileira que atua na área de diagnóstico automatizado de doenças. Esta aplicacão foi realizada por um dos autores com base nas informacões fornecidas pelo Engenheiro de Hardware responsável pelo projeto na empresa. Posteriormente, uma instanciacaão do catálogo foi gerada

por um dos autores e validada pelo representante da empresa. Maiores detalhes sobre essa prova de conceito são apresentados na Seção 4.

Por fim (tarefa 8), foi realizada uma avaliação através de questionário com dez profissionais que atuam no domínio de sistemas embarcados. Nenhum desses profissionais havia participado da fase de Desenvolvimento do catálogo. Os resultados dessa avaliação são descritos na Seção 5.

### 3 O Catálogo NFR4ES

O catálogo final compreende: um *Softgoal Interdependency Graph* (SIG), mostrando a hierarquia dos RNFs e suas correlações; as definições de cada RNF; e um exemplo para cada requisito folha (isto é, requisitos que não são refinados em outros requisitos). A Figura 2 apresenta uma visão parcial do SIG, sem as correlações. São dez requisitos raiz, potencialmente refinados em outros requisitos: Confiabilidade, Desempenho, Portabilidade, Manutenibilidade, Estrutura física, Consumo de Energia, Segurança (Safety), Custo, Segurança (Security) e Usabilidade. Os RNFs Custo, Consumo de Energia, Manutenibilidade e Portabilidade não apresentam refinamentos pois não foram encontrados detalhamentos sobre os mesmos na literatura de sistemas embarcados. As evidências da aplicabilidade de todos os RNFs do SIG ao domínio de sistemas embarcados estão listadas no Apêndice A.

O SIG (Figura 2) não é exaustivo nem assume a premissa de mundo fechado. Por exemplo, o fato de Desempenho ser refinado em Tempo e Consumo de Recursos não significa, necessariamente, que esses são os únicos requisitos que compõem o refinamento de Desempenho. Significa apenas que Tempo e Consumo de Recursos são dois dos possíveis refinamentos (ou dimensões) de Desempenho.

Dado que a representação das correlações entre RNFs com o SIG é de difícil visualização, optamos por apresentar as correlações do SIG na forma de listagem (Tabela 1). Os sinais (-, --, +, ++) representam, respectivamente, contribuições parcialmente negativas, suficientemente negativas, parcialmente positivas e suficientemente positivas, de acordo com o NFR Framework [5].

Ao contrário da identificação dos RNFs propriamente ditos, que foi baseada na literatura, as correlações apresentadas na Tabela 1 foram definidas com base em entrevistas com especialistas e refletem, portanto, o conhecimento e a experiência desses profissionais. De fato, devido à natureza subjetiva dos RNFs, e também à heterogeneidade do domínio, é possível que outros especialistas tenham opiniões divergentes. Sendo assim, essas correlações não representam uma imagem definitiva e completa da área, e sim a visão parcial dos especialistas entrevistados.

Na próxima seção, exemplificamos os demais elementos do catálogo com um trecho referente ao RNF Manutenibilidade. O catálogo completo está disponível em [8].

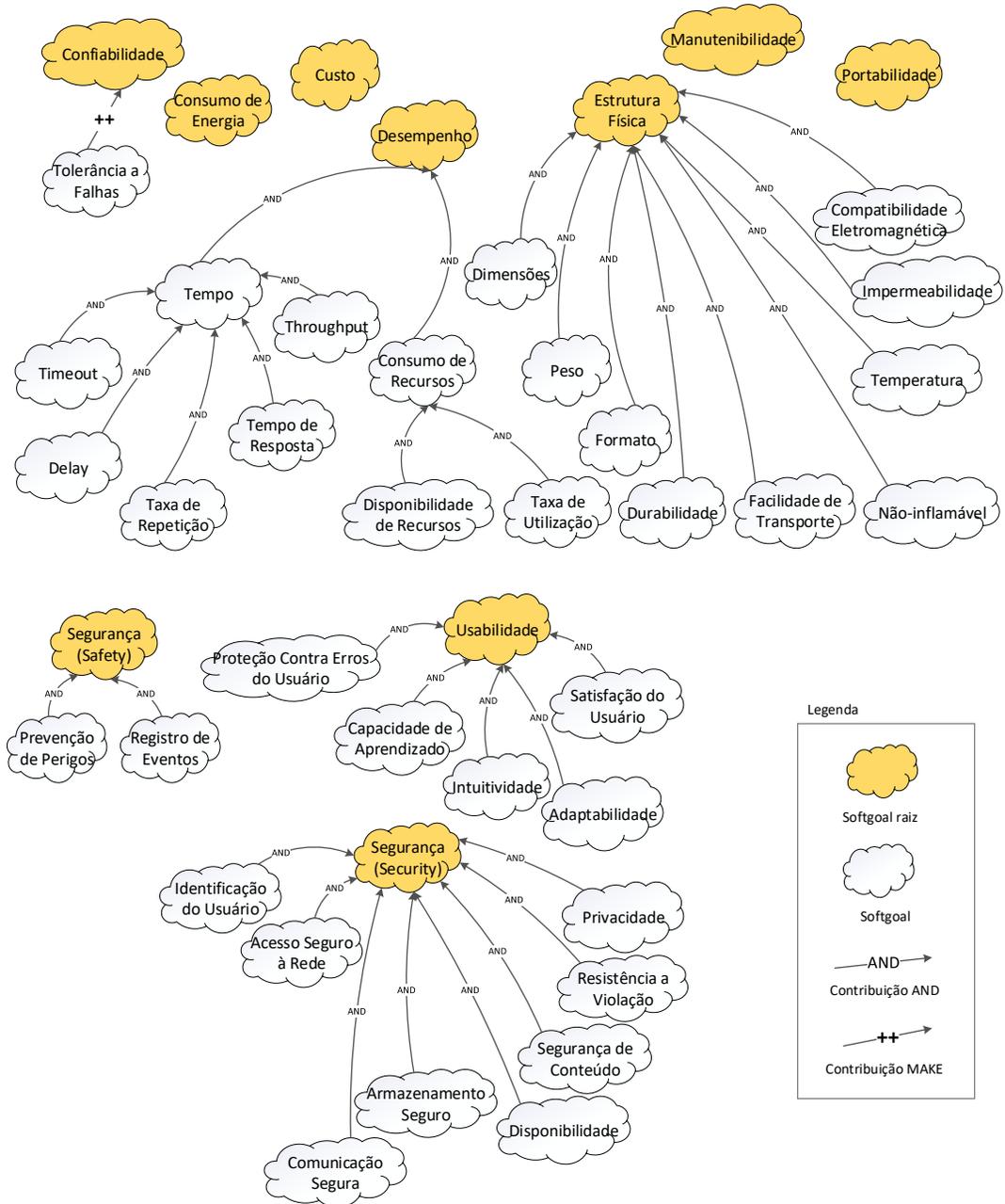


Figura 2: Grafo SIG com RNFs para Sistemas Embarcados. As correlações, omitidas para evitar poluição visual, são listadas na Tabela 1

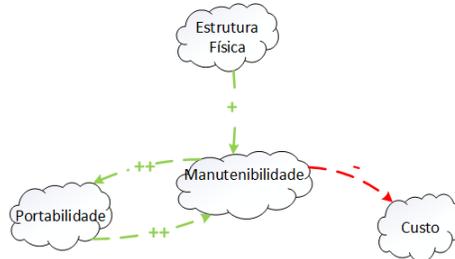
Tabela 1: Listagem das Correlações entre os RNFs

<b>Confiabilidade</b>
Confiabilidade causa um impacto negativo (-) em Consumo de Energia
Confiabilidade causa um impacto positivo (++) em Segurança ( <i>Safety</i> )
Confiabilidade causa um impacto positivo (++) em Segurança ( <i>Security</i> )
Confiabilidade causa um impacto positivo (++) em Usabilidade
<b>Consumo de Energia</b>
Consumo de Energia causa um impacto positivo (++) em Desempenho
Consumo de Energia causa um impacto desconhecido (?) em Custo
<b>Custo</b>
Não impacta sobre os outros RNFs
<b>Desempenho</b>
Desempenho causa um impacto negativo (-) em Segurança ( <i>Safety</i> )
Desempenho causa um impacto negativo (-) em Consumo de Energia
Desempenho causa um impacto negativo (-) em Segurança ( <i>Security</i> )
Desempenho causa um impacto negativo (-) em Custo
<b>Estrutura Física</b>
Estrutura Física causa um impacto positivo (+) em Manutenibilidade
Estrutura Física causa um impacto desconhecido (?) em Consumo de Energia
Estrutura Física causa um impacto desconhecido (?) em Desempenho
Estrutura Física causa um impacto desconhecido (?) em Portabilidade
Estrutura Física causa um impacto desconhecido (?) em Segurança ( <i>Safety</i> )
Estrutura Física causa um impacto desconhecido (?) em Segurança ( <i>Security</i> )
Estrutura Física causa um impacto negativo (-) em Custo
<b>Manutenibilidade</b>
Manutenibilidade causa um impacto positivo (++) em Portabilidade
Manutenibilidade causa um impacto negativo (-) em Custo
<b>Portabilidade</b>
Portabilidade causa um impacto positivo (++) em Manutenibilidade
Portabilidade causa um impacto negativo (-) em Segurança ( <i>Security</i> )
Portabilidade causa um impacto negativo (-) em Custo
<b>Segurança (<i>Safety</i>)</b>
Segurança ( <i>Safety</i> ) causa um impacto negativo (-) em Desempenho
Segurança ( <i>Safety</i> ) causa um impacto negativo (-) em Custo
<b>Segurança (<i>Security</i>)</b>
Segurança ( <i>Security</i> ) causa um impacto negativo (-) em Consumo de energia
Segurança ( <i>Security</i> ) causa um impacto negativo (-) em Desempenho
Segurança ( <i>Security</i> ) causa um impacto desconhecido (?) em Segurança ( <i>Safety</i> )
Segurança ( <i>Security</i> ) causa um impacto negativo (-) em Custo
<b>Usabilidade</b>
Usabilidade causa um impacto desconhecido (?) em Segurança ( <i>Safety</i> )
Usabilidade causa um impacto negativo (-) em Custo

Fonte: Próprio Autor

### 3.1 Manutenibilidade

**Definição:** é a capacidade do sistema em ser reparado ou substituído [12]. A manutenibilidade é um aspecto relevante no desenvolvimento de *software*, ela visa apoiar uma manutenção conveniente, rápida e de baixo custo [13]. Uma atividade comum de manutenção é acrescentar novos recursos para satisfazer as necessidades e a dinâmica do sistema em evolução [14]. A Figura 3 apresenta as correlações deste RNF.



Fonte: Próprio Autor

Figura 3: Requisito Manutenibilidade - Correlações

**Correlações:** A Figura 3 apresenta uma correlação positiva do requisito Manutenibilidade para o requisito portabilidade, uma correlação negativa para o requisito Custo e uma correlação positiva do requisito Portabilidade para o requisito Manutenibilidade. Já a Estrutura Física causa um impacto positivo (+) na Manutenibilidade. A Figura 4 exemplifica este requisito no contexto de um equipamento presente em um sistema embarcado de assistente de estacionamento.

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	20	Classificação	Manutenibilidade
Descrição:	Atualização para correção de bugs e adição de novos recursos		
Justificativa:	Ao longo do tempo de seu ciclo de vida, o sistema pode apresentar a necessidade de correções ou adição de novos recursos, portanto é necessário que o sistema permita atualizações através de seu firmware.		
Origem do requisito:	Projetista de Hardware e Software		
Critério de aceitação:	Nenhum		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	7		
Conflitos:	Nenhum		
História:	08/10/2013		

Fonte: Retirado do documento de requisitos do sistema *Active Park Assist 2* (Assistente de estacionamento) desenvolvido por [15]

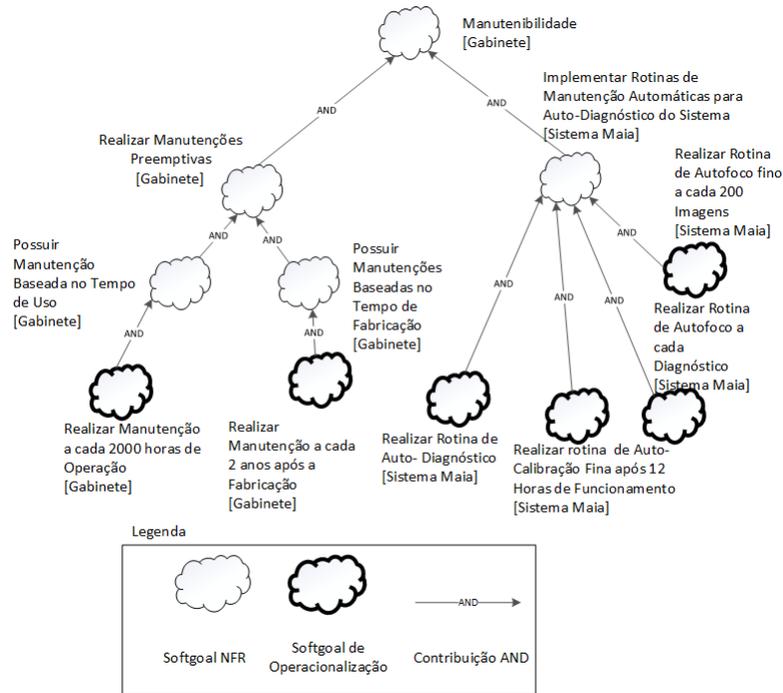
Figura 4: Exemplo de especificação de um requisito de Manutenibilidade

## 4 Prova de Conceito

O sistema trabalhado nesta Prova de Conceito é o Módulo de Aquisição de Imagens para Auto-Diagnóstico (MAIA), um sistema embarcado desenvolvido por uma empresa brasileira. O MAIA consiste em um sistema eletrônico e mecânico para aquisição de imagens de microscopia no ambiente de um laboratório básico, com a finalidade de submeter essas imagens para um *firmware* que usa inteligência artificial para diagnosticar exames parasitológicos, urianálise e hemogramas. O principal objetivo do MAIA é a aquisição automática de imagens de microscopia em lâminas com amostras de fezes, urina ou sangue e a submissão das mesmas para um serviço na nuvem que faz a análise destas. A seguir relatamos a instanciação do catálogo NFR4ES, através do uso de 3 diretrizes, na descrição de alguns RNFs do sistema MAIA.

- **1ª Diretriz- Definição dos requisitos:** Nesta etapa foi definido com base no catálogo quais os requisitos que são relevantes para o sistema. Para isso, foi realizada a aplicação de um questionário com o Engenheiro de Hardware da empresa. Esse questionário, disponível em [8], contemplava todos os RNFs presentes no catálogo NFR4ES.
- **2ª Diretriz - Instanciação do SIG:** Nesta etapa, já com todos os RNFs identificados para o sistema, realizamos a instanciação do *Softgoal Interdependency Graph* (SIG) para o sistema sendo desenvolvido. Na Figura 5 é apresentada uma visão parcial da instanciação para o sistema MAIA, contemplando o refinamento do RNF Manutenibilidade. Neste trecho foram cri-

ados novos requisitos através de 4 refinamentos e 6 operacionalizações. A instanciação completa está disponível em [8].



Fonte: Próprio Autor

Figura 5: Refinamento do RNF Manutenibilidade para o sistema MAIA

- **3ª Diretriz - Criação dos cartões de especificação:** nesta etapa foi realizada a criação dos cartões de especificação com o detalhamento dos requisitos. A Figura 6, apresenta um exemplo de RNF relacionado à temperatura do sistema.

A elicitação e especificação de requisitos do sistema MAIA já havia sido realizada previamente pelo Engenheiro de Hardware da empresa, que forneceu essas informações para que um dos autores construísse os SIGs e os cartões de especificação. Após a criação dos artefatos eles foram devidamente validados com o representante da empresa. Em seguida, foi administrado um questionário aberto para que pudesse ser obtido *feedback* sobre o catálogo. Com esta prova de conceito observamos que nossa abordagem se mostrou aplicável para a elicitação e especificação dos requisitos de sistemas embarcados.

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	1	Classificação	Estrutura Física/Temperatura
Descrição:	Temperatura de funcionamento - O sistema Maia deve operar dentro de uma faixa específica de temperatura		
Justificativa:	O super aquecimento do sistema pode prejudicar o seu funcionamento e seus componentes		
Origem do requisito:	Projetista de Hardware do Sistema Maia		
Critério de aceitação:	O sistema deve operar com uma temperatura interna de funcionamento entre 10 e 35 graus Celsius		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	9		
Conflitos:	Nenhum		
História:	10/12/2018		

Fonte: Próprio Autor

Figura 6: Requisito Não-funcional: Temperatura

## 5 Avaliação por Especialistas através de Questionário

Os participantes desta avaliação foram convidados através de contato via *e-mail*. Foram convidados 23 profissionais, que foram escolhidos através de um lista de contatos fornecida por um especialista do domínio que participou da nossa pesquisa. Dos 23 profissionais convidados, 10 realizaram a avaliação. A aplicação do questionário ocorreu tanto de forma presencial como por contato remoto (online). Na aplicação presencial, o catálogo foi disponibilizado na forma impressa e explicado para os participantes, os quais fizeram suas leituras do mesmo. Em seguida os participantes analisaram de forma detalhada o catálogo e responderam o instrumento de avaliação que considerava os aspectos abordados pelos RNFs descritos no catálogo NFR4ES. Na aplicação online, foi realizada a aplicação do instrumento de avaliação através de video-conferência, onde o catálogo foi enviado ao respondente, explicado, lido e analisado pelo respondente. O participante então recebia o questionário, respondia e o enviava de volta para um dos autores. As tabelas 2, 3 e 4 apresentam as perguntas do questionário juntamente às respostas dos participantes.

Tabela 2: Identificação dos participantes

Parte 1 – Identificação do perfil	
1. Qual sua ocupação atual	Professor (20%); Engenheiro de Requisitos (10%); Desenvolvedor (70%)
2. Qual sua a sua maior formação?	Graduação (40%); Especialização (10%); Mestrado (20%); Doutorado (30%)
3. Quantos anos de experiência você tem no desenvolvimento de sistemas embarcados?	10 a 20 anos (20%);
4 a 10 anos (30%); 0 a 4 anos (50%)	

Fonte: Próprio autor

Como resultados das questões 1 a 3 concluímos que a maioria dos participantes possuem uma boa experiência para avaliarem o catálogo proposto.

Com os resultados das questões de 4 a 10 notou-se que o catálogo NFR4ES apresenta requisitos que refletem bem a realidade de projetos de sistemas embarcados e os participantes validaram de maneira positiva a pertinência destes requisitos. As correlações definidas refletiram de maneira satisfatória os impactos

Tabela 3: Resultados da avaliação do catálogo

Parte 2 - Experiência em Sistemas Embarcados					
Perguntas/Resultados	Concordo totalmente	Concordo parcialmente	Neutro	Discordo parcialmente	Discordo totalmente
4. Os Requisitos Não-funcionais apresentados no catálogo NFR4ES são pertinentes a projetos de sistemas embarcados.	70%	30%	0%	0%	0%
5. As correlações apresentadas no catálogo NFR4ES são condizentes com a realidade de projetos de sistemas embarcados.	60%	40%	0%	0%	0%
6. Os requisitos do catálogo NFR4ES apresentam definições adequadas.	60%	40%	0%	0%	0%
7. O catálogo NFR4ES é de fácil entendimento.	50%	40%	10%	0%	0%
8. O catálogo NFR4ES é um artefato útil nas etapas de elicitação e especificação no processo de Engenharia de Requisitos para sistemas embarcados.}	60%	40%	0%	0%	0%
9. Eu utilizaria o catálogo NFR4ES em projetos futuros.	60%	40%	0%	0%	0%
10. Eu recomendaria a outras pessoas a utilização do catálogo NFR4ES.	80%	20%	0%	0%	0%

Fonte:Próprio autor

de um RNF sobre outro. Porém, nos comentários das questões abertas (Tabela 4) surgiram algumas discordâncias; este é um ponto que deve ser aprimorado em trabalhos futuros. Adicionalmente, as definições presentes no catálogo se mostraram adequadas. Por último, a Tabela 4 apresenta alguns dos comentários fornecidos pelos participantes nas questões abertas.

Tabela 4: Sugestões para o catálogo

Parte 3 – Finalização (sugestões)
<b>11. Há algum requisito no projeto de sistemas embarcados que não foi citado e você gostaria de destacar e acrescentar no catálogo?</b>
Observação 1: Um dos participantes apontou, como requisitos que podem ser acrescentados no catálogo, os requisitos ligados a comunicação e mencionou que eles são fundamentais em Internet of Things (IOT). Porém, não mencionou nenhum destes requisitos.
Observação 2: um participante fez uma observação que o requisito time-to-market pode estar associado a custo ou a tempo
Observação3: um participante citou que um requisito de Modularização deveria ser adicionado
<b>12. Há alguma correlação que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?</b>
Observação 1: Um dos participantes fez a observação que os Custos do Produto derivam dos custos do projeto, e isso impacta em outros RNFs.
Observação 2: um participante teve a opinião queConsumo de Energia causa um impacto positivo em Custo (maior consumo, maior custo)
<b>13. Existem outras modificações que podem ser feitas para melhorar o catálogo? Quais?</b>
Observação 1: um participante fez a observação que a exibição dos Requisitos em nuvens com setas representando correlações fica um pouco confusa e a primeira vista pode assustar o usuário do catálogo
Observação 2: um participante disse que trocava Satisfação do Usuário por Experiência do Usuário ou manteria as duas. Ele questionou se Facilidade de Transporte não entraria em portabilidade, e faria a inclusão do requisito modularização, que seria a possibilidade de utilizá-lo com outros módulos

Fonte:Próprio autor

## 6 Trabalhos Relacionados

A Tabela 5 apresenta quatro trabalhos que tem relação com a nossa pesquisa. Os critérios de comparação foram definidos de acordo com as principais características do catálogo: a utilização de grafos do NFR Framework, tratamento específico de RNFs, apoio às atividades de elicitação e especificação e a construção de um catálogo genérico de RNFs para sistemas embarcados.

Tabela 5: Comparação dos trabalhos relacionados sobre aspectos observados

Aspectos observados\ Trabalhos relacionados	Apresentam catálogos com o NFR framework	Tipos de Requisitos	Atividades apoiadas	Apresenta um catalogo genérico para SEs
(Cavalcante,2017)	Não	RNF	Especificação	Não
(Ossada et al.,2012)	Não	RF e RNF	Elicitação e Especificação	Não
(Martins et al.,2010)	Não	RNF	Especificação	Não
(Toniolo et al.,2018)	Sim	RNF	Elicitação e especificação	Sim
NFR4ES	Sim	RNF	Elicitação e Especificação	Sim

Fonte:Próprio autor

O trabalho realizado por Pereira et al. [10] apresenta uma investigação sobre a especificação de RNFs no domínio de sistemas embarcados. Os trabalhos desenvolvidos por Ossada et al. [1] e Martins et al. [16] apresentam abordagens de Engenharia de Requisitos para apoiar projetos de sistemas embarcados que também visam apoiar as atividades de elicitação e especificação de requisitos. Contudo, eles não fornecem a catalogação de RNFs. O trabalho desenvolvido por Toniolo e Martins [17], além de apresentar uma catalogação com o NFR Framework, pode ser utilizado para elicitar e especificar famílias de produtos. Em nosso trabalho a proposta é utilizar catálogos do NFR Framework para apoiar projetos de sistemas embarcados, onde esses catálogos podem ser aplicados em diversos sub-domínios. Para uma análise mais detalhada dos trabalhos relacionados consultar [8].

## 7 Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo tratou da dificuldade de identificar, inter-relacionar e documentar RNFs em projetos de sistemas embarcados. A questão de pesquisa 1 (Quais os principais RNFs que devem ser levados em consideração em projetos de sistemas embarcados?) foi respondida através da coleta de evidências na literatura acadêmica da aplicação dos RNFs catalogados em projetos de sistemas embarcados. A questão 2 (Quais são os inter-relacionamentos entre os principais RNFs para sistemas embarcados?) foi respondida através da documentação das correlações entre os RNFs catalogados com base na opinião de quatro especialistas na área. O catálogo foi aplicado com sucesso em uma prova de conceito, além de ter sido avaliado por outros dez especialistas. A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa e as limitações encontradas, são propostas algumas ações como trabalhos futuros: aperfeiçoar o catálogo com novos RNFs de produto baseados em padrões da indústria, normas técnicas e a opinião de mais desenvolvedores de sistemas embarcados; expandir o catálogo de RNFs, com a inclusão de requisitos de processo e requisitos externos; e aplicar o catálogo no desenvolvimento de novos sistemas embarcados.

## 8 Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE).

## Referências

1. Jaime Cazuhiro Ossada, Luiz Eduardo Galvão Martins, Bárbara Stefani Ranieri, and Anderson Belgamo. Gerse: Guia de elicitação de requisitos para sistemas embarcados. In *Workshop de Engenharia de Requisitos (WER)*, 2012.
2. Andréia Aparecida Barbiero. Ambiente de suporte ao projeto de sistemas embarcados. (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Informática - Universidade Federal do Paraná, 2006.
3. Jaime Cazuhiro Ossada and Luiz Eduardo Galvão Martins. Um estudo de campo sobre o estado da prática da elicitação de requisitos em sistemas embarcados. In *Workshop em Engenharia de Requisitos (WER), Cuenca, Equador, Abril 12-13, 2010*, pages 41–52, 2010.
4. Aêda Sousa, Celso Agra, Josenildo Melo, and Fernanda MR Alencar. Elicitação e especificação de requisitos em sistemas embarcados: Uma revisão sistemática. In *Workshop de Engenharia de Requisitos (WER)*, 2015.
5. Lawrence Chung, Brian A Nixon, Eric Yu, and John Mylopoulos. *Non-functional requirements in software engineering*. 2000.
6. Dewi Mairiza, Didar Zowghi, and Nurie Nurmuliani. An investigation into the notion of non-functional requirements. In *Proceedings of the 2010 ACM Symposium on Applied Computing*, pages 311–317, ACM, 2010.
7. Milton Deivson Albuquerque CAVALCANTE. Uma análise sobre a engenharia de requisitos em sistemas embarcados. (Mestrado Profissional) - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - Universidade Federal de Pernambuco, 3 2017.
8. Reinaldo Silva. Nfr4es: Um catálogo de requisitos não-funcionais para sistemas embarcados. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 2019.
9. Business Process Modeling Notation OMG. Version 1.0. *OMG Final Adopted Specification, Object Management Group*, 190, 2006.
10. Tarcísio Pereira, Deivson Albuquerque, Aêda Sousa, Fernanda MR Alencar, and Jaelson Castro. Retrospective and trends in requirements engineering for embedded systems: A systematic literature review. In *Conferencia Iberoamericana de Software Engineering 2017 (CIbSE)*, pages 427–440, 2017.
11. Suzanne Robertson and James Robertson. *Mastering the requirements process: Getting requirements right*. Addison-wesley, 2012.
12. Maurizio Di Paolo Emilio. *Embedded systems design for high-speed data acquisition and control*. Springer Publishing Company, Incorporated, 2015.
13. Xu Luo, Zhexue Ge, Fengjiao Guan, and Yongmin Yang. A method for the maintainability assessment at design stage based on maintainability attributes. In *Prognostics and Health Management (ICPHM), 2017 IEEE International Conference on*, pages 187–192, IEEE, 2017.
14. Peraphon Sophatsathit. Lessons learned on design for modifiability and maintainability. 2000.
15. Joseph Reeder, Ethan Ettema, Ryan Boyce, Kenneth Massie, and Stephanie Brown. Project active park assist 2. Disponível em <https://bit.ly/2WceEJB>, 2014.
16. Luiz Eduardo Galvão Martins, Roberto de Souza Júnior, Hermano Peixoto de Oliveira Jr, and Cecilia Sosa Arias Peixoto. Terasse: Template para especificação de requisitos de ambiente em sistemas embarcados. In *Workshop de Engenharia de Requisitos (WER)*, 2010.

17. Cristiano Marçal Toniolo and Luiz Eduardo Galvão Martins. PRReSE – Process of Non-Functional Requirements Reuse for Embedded Systems Based on a NFR-Framework. In *ICSEA 2014 : The Ninth International Conference on Software Engineering Advances*, pages 293–299, IARIA, 2014.

**APÊNDICE A** – Evidências da aplicabilidade dos RNFs a sistemas embarcados. O prefixo S indica que a fonte é oriunda da RSL [10], enquanto F indica que é uma fonte adicional. A listagem dessas referências encontra-se em [8]

<b>Confiabilidade:</b> S16, S40, S56, S65, S68, S70, S81 e F29
<b>Tolerância a falhas:</b> F1, F29, F32 e F36
<b>Consumo de Energia:</b> S07, S13, S38, S43, S47, F14 e F19
<b>Custo:</b> S03, S13 e S25
<b>Desempenho:</b> S02, S03, S13, S17, S18, S24, S38, S43, S46, S47, S56, S65, S68, S75 e S76
<b>Tempo:</b> S01, S02, S13, S16, S20, S24, S31, S33, S34, S39, S46, S52, S56, S63, S75, S84 e F29
<b>Timeout:</b> S24, F35 e F37
<b>Throughput:</b> S24, F31, F32, F33, F34 e F35
<b>Delay:</b> S63, F31, F32, F33, F34 e F35
<b>Taxa de Repetição:</b> S63 e F38
<b>Tempo de Resposta:</b> S24, F38, F39, F40 e F41
<b>Consumo de Recurso:</b> S24, S31, S39, F29 e F42
<b>Disponibilidade de Recursos:</b> S24
<b>Taxa de Utilização:</b> S24
<b>Estrutura física:</b> S13, F4, F5, F6, F13, F14 e F22
<b>Dimensões:</b> S13, F5 e F22
<b>Peso:</b> F4, F5 e F22
<b>Formato:</b> F5
<b>Durabilidade:</b> F5
<b>Facilidade de transporte:</b> F6
<b>Não-inflamável:</b> F5
<b>Temperatura:</b> F5 e F49
<b>Impermeabilidade:</b> F7 e F49
<b>Compatibilidade eletromagnética:</b> F13, F48 e F49
<b>Manutenibilidade:</b> S16, S81, F15, F16, F17, F18, F29 e F30
<b>Portabilidade:</b> S16, F19, F20, F21, F22, F23 e F29
<b>Segurança (Safety):</b> S03, S05, S06, S07, S08, S12, S14, S19, S25, S27, S33, S35, S40, S41, S43, S45, S46, S49, S50, S51, S56, S61, S64, S70, S74, S76, S81, S82 e F12
<b>Prevenção de perigos:</b> F12
<b>Registro de Eventos:</b> F12
<b>Segurança (Security):</b> S16, S40, S48, S64, S70 e S81
<b>Identificação do Usuário:</b> F11, F44 e F47
<b>Acesso Seguro à Rede:</b> F11, F44 e F45
<b>Comunicação Segura:</b> F11, F44 e F45
<b>Armazenamento Seguro:</b> F11, F43 e F44
<b>Disponibilidade:</b> S38, S70, S81, F11, F44 e F46
<b>Segurança de Conteúdo:</b> F11 e F44
<b>Resistência a Violação:</b> F11, F13, F43 e F44
<b>Privacidade:</b> S81, F24, F25, F26 e F27
<b>Usabilidade:</b> S16, F5, F8, F9, F10 e F28
<b>Capacidade de aprendizado:</b> F8 e F10
<b>Proteção contra erros dos usuário:</b> F8
<b>Adaptabilidade:</b> F9
<b>Satisfação do Usuário:</b> F10
<b>Intuitividade:</b> F10