

# Especificação de Requisitos para Sistemas Embarcados: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Hiago S. Gama<sup>1</sup>, Juliana K. Araujo<sup>1</sup>, Juliana S. Monteiro<sup>1</sup>,  
Rogerio A. Carvalho<sup>1</sup>, Aline P. V. Vasconcelos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Polo de Inovação Campos dos Goytacazes -Instituto Federal Fluminense (IFF)  
Rua Dr. Siqueira nº 273 – 28030-130 – Campos dos Goytacazes – RJ – Brazil

{hiagogama, karaujojuliana}@gmail.com, {juliana.monteiro,  
ratem, apires}@iff.edu.br

**Abstract.** *A systematic review of the literature is conducted to complement the study entitled "Retrospective and Trends in Requirements Engineering for Embedded Systems: A Systematic Literature Review", seeking to answer the following questions: (1) What requirements should be considered when developing embedded systems? (2) What are the contributions of requirements engineering to embedded systems? (3) What challenges / problems are identified in the research literature related to requirements engineering for embedded systems? The results obtained are analyzed and compared with the previous study, contributing to the identification of requirements in the elicitation process and generating a greater understanding of the requirements in embedded systems.*

**Resumo.** *Uma revisão sistemática da literatura é conduzida visando complementar o estudo intitulado "Retrospective and Trends in Requirements Engineering for Embedded Systems: A Systematic Literature Review", buscando responder às seguintes questões: (1) Quais requisitos devem ser considerados durante o desenvolvimento de sistemas embarcados? (2) Quais são as contribuições da engenharia de requisitos para sistemas embarcados? (3) Quais desafios / problemas são identificados na literatura de pesquisa relacionada à engenharia de requisitos para sistemas embarcados? Os resultados obtidos são analisados e comparados com o estudo anterior, contribuindo na identificação e num maior entendimento dos requisitos no processo de elicitação.*

## 1. Introdução

A especificação de requisitos é uma importante etapa do processo de desenvolvimento de software que foca em garantir que o sistema idealizado satisfaça as intenções das partes interessadas e considere as limitações do ambiente [Braun et al. 2014]. Apesar de sua importância, esta fase é frequentemente uma das mais negligenciadas em muitos projetos [Aceituna 2016].

No entanto, com a crescente complexidade e a demanda de qualidade dos softwares embarcados, o papel da engenharia de software está se tornando cada vez mais importante [Liggemeyer and Trapp 2009]. Por esta razão, a indústria e as comunidades acadêmicas têm investido em pesquisas que visam garantir a correta especificação de requisitos funcionais e não-funcionais para sistemas embarcados objetivando a prevenção de erros de design em fases mais avançadas do projeto.

Com o objetivo de investigar o estado da arte dos estudos relacionados à especificação e descrição de requisitos para sistemas embarcados, este artigo complementa a revisão sistemática da literatura (RSL) realizada por Pereira *et al.* (2017a) em “Retrospective and Trends in Requirements Engineering for Embedded Systems: A Systematic Literature Review”. A pesquisa atual inclui estudos de 2010 a 2018, resultando inicialmente em 1065 artigos dos quais os 81 mais relevantes foram selecionados através de critérios de exclusão e inclusão.

### 3. Revisão Sistemática

A RSL aqui apresentada segue as diretrizes propostas por Keele (2007), que agrupam as atividades do processo de revisão sistemática em três fases: planejamento, condução e comunicação da revisão. Dentre estas atividades compreendem-se: identificar a necessidade de uma revisão sistemática; desenvolver e avaliar um protocolo para efetuar a revisão sistemática; procurar e selecionar as pesquisas primárias; avaliar a qualidade dos estudos incluídos; extrair, monitorar e sintetizar os dados; formatar e avaliar a revisão para reportá-la nos mecanismos de disseminação especificados.

#### 3.1. Questões de pesquisa

Este trabalho é guiado pelas seguintes questões de pesquisa: (1) Quais requisitos devem ser considerados durante o desenvolvimento de sistemas embarcados? (2) Quais são as contribuições da ER para sistemas embarcados? (3) Quais desafios / problemas são identificados na literatura de pesquisa relacionada à ER para SE?

Essas questões foram definidas baseando-se na revisão sistemática realizada por Pereira *et al.* (2017a), permitindo a complementação do escrito citado com estudos mais recentes nesta área. As questões vão de encontro com o objetivo da pesquisa, que é investigar o estado da arte dos estudos relacionados à especificação e descrição de requisitos para sistemas embarcados, além de buscarem realizar um levantamento das abordagens já existentes sobre o tema.

#### 3.2. Estratégia de busca

A busca foi definida de acordo com as questões da pesquisa com artigos sobre o domínio do estudo de engenharia de requisitos para sistemas embarcados. O quadro 1 apresenta as palavras utilizadas na estratégia de busca nas bases Scopus e IEEE Xplore.

##### Quadro 1. Palavras utilizadas na estratégia de busca nas bases Scopus e IEEE Xplore

("requirements engineering" OR "requirements elicitation" OR "requirements specification" OR "requirements management" OR "requirements validation" OR "requirements verification" OR "requirements education") OR ("requirements modeling" OR "requirements modelling") AND ("embedded systems" OR "safety critical systems" OR "real time systems" OR "embedded software" OR "embedded product") AND ("approach" OR "technique" OR "framework" OR "processes" OR "methods" OR "tool")
---

A busca retornou um total de 1239 artigos nas duas bases pesquisadas. Eliminando-se os artigos duplicados, restaram 1065 artigos. Com o objetivo de englobar estudos mais recentes sobre o tema, um corte temporal foi feito para filtrar artigos compreendidos entre 2010 e 2018, reduzindo o número total de artigos para 472. A partir daí, os artigos foram filtrados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão.

### 3.3. Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos com o objetivo de selecionar entre os 472 estudos identificados pela estratégia de busca, os artigos mais relevantes para a pesquisa.

#### 3.3.1. Critérios de exclusão

Os critérios de exclusão definidos para a filtragem de artigos foram: 1º- o artigo não ser uma publicação em congresso ou revista científica; 2º- o artigo não ter como tema principal a especificação ou descrição de requisitos; 3º- o artigo não estar escrito em inglês ou português; 4º- o artigo cujo texto completo não estar disponível.

#### 3.3.2. Critérios de inclusão

O critério de inclusão definido foi: o artigo aborda a descrição e/ou elicitación de requisitos em sistemas embarcados.

Através dos critérios de exclusão e inclusão, 69 artigos foram selecionados para a composição desta RSL.

## 4. Resultados e Discussões

### 4.1. Requisitos para o desenvolvimento de sistemas embarcados

Esta seção tem por objetivo responder a seguinte questão de pesquisa: “Quais requisitos devem ser considerados durante o desenvolvimento de sistemas embarcados?” A resposta para esta questão foi elaborada a partir da leitura dos artigos selecionados.

Os requisitos foram identificados e então classificados de acordo com quatro níveis para o desenvolvimento de engenharia de requisitos de um sistema embarcado: nível corporativo, nível sistêmico, nível de requisitos e nível contextual [Pereira et al. 2017b]. Estes níveis, descritos abaixo de acordo com as definições apresentadas por Pereira et al.(2017a) , permitem dividir as tarefas da engenharia de requisitos em quatro visões distintas, facilitando a classificação dos requisitos necessários no desenvolvimento de sistemas embarcados.

Foram encontrados 82 requisitos durante a pesquisa nesta RSL, apresentados no Quadro 2. De acordo com a classificação aplicada, 76,8% dos requisitos identificados se encontram no nível de requisitos, 12,2% pertencem ao nível corporativo, 6,1% se enquadram no nível sistêmico e 4,9% pertencem ao nível contextual.

O nível corporativo engloba os requisitos relacionados aos stakeholders envolvidos em projetos de sistemas embarcados, bem como os modelos, leis e políticas utilizadas para orientar o processo de desenvolvimento e o ambiente de execução de SE, além do relacionamento com fabricantes e fornecedores. Já no nível sistêmico, os requisitos estão relacionados ao comportamento do sistema, seu ambiente demandado e as funcionalidades que o sistema deve executar. Tanto o comportamento do sistema embarcado quanto os comportamentos desejáveis e indesejáveis dizem respeito à interações entre as características do sistema embarcado e os interesses do stakeholder [Krüger et al. 2010]. O nível de requisitos relaciona os requisitos funcionais e não funcionais, requisitos de hardware, restrições e integração de hardware e software de SE,

requisitos do fabricante e requisitos de infraestrutura do produto. Por fim, o nível contextual compreende os requisitos que se relacionam com comportamento não nominal, condições ambientais, interação com sistemas adjacentes e requisitos de confiabilidade sensíveis ao contexto. Tanto as condições ambientais quanto a interação do sistema embarcado com sistemas adjacentes são dependentes do contexto onde o sistema está inserido e precisam ser avaliados para o desenvolvimento do projeto [Braun et al. 2014].

**Quadro 2. Classificação de requisitos a serem considerados no desenvolvimento de SE**

Nível Corporativo	Nível Sistêmico	Nível Contextual
Requisitos de padrões de certificação; ambiente de execução; gerenciamento das necessidades de diferentes stakeholders; conformidade com leis estabelecidas; metas de negócio; pressão do mercado; relacionamento com fornecedor; mudança de padrão; objetivos da empresa; distribuição do produto.	Comportamento do sistema embarcado; requisitos comportamentais; suposições ambientais; comportamento desejável; comportamento indesejável.	Comportamento não nominal; condições ambientais; interação com sistemas adjacentes; requisitos de confiabilidade sensíveis ao contexto.
<b>Nível de Requisitos</b>		
Requisitos de tempo; requisitos de segurança; requisitos de aplicação real-time; peso; consumo de energia; custo; requisito funcional de segurança; confiabilidade; conformidade; desempenho; facilidade de uso; requisitos operacionais; requisitos estruturais estáticos; restrições de hardware; consumo de recursos; vivacidade; requisitos de sincronização; geometria do hardware; reutilização de componentes; integração entre hardware e <i>software</i> ; robustez; detecção de falhas; volume; requisitos de monitoramento; restrições eletrônicas; requisitos de comunicação; facilidade de manutenção; portabilidade; aparência; tolerância à falhas; capacidade de sobrevivência; simplicidade; disponibilidade; rastreabilidade; estabilidade; auto descrição; recuperabilidade; exatidão; consistência; completude; precisão; eficiência; modularidade; tamanho de memória; exploração do design-espaço; requisitos de rede; economia de combustível; baixa emissão de gases poluentes; testabilidade; segurança física; seguridade; integridade; requisitos de usabilidade; requisitos de integração; falha segura; interação homem-máquina; simultaneidade; controle de variáveis do processo; número de interrupções; escalabilidade; capacidades auto-adaptativas; particionamento de funções <i>hardware/software</i> .		

As considerações feitas nesta Seção podem contribuir de diversas formas, como ajudar na identificação de requisitos durante um processo de elicitação através de discussões, gerar um maior entendimento dos requisitos envolvidos no domínio dos sistemas embarcados e auxiliar na identificação e análise de requisitos em diferentes visões, de acordo com os níveis empregados para a classificação dos requisitos.

#### 4.2. Contribuições da engenharia de requisitos para sistemas embarcados

Nesta Seção, os 69 artigos selecionados foram classificados na Quadro 3 de acordo com a principal questão de engenharia de requisito abordada pelo estudo. Alguns artigos não tratavam de uma questão específica ou não deixavam claro o principal objetivo da pesquisa. Estes foram classificados em tópicos especiais denominados: Questões Gerais, que englobou 7 artigos (10.14%) e Não cita/Não está claro composto por 9 artigos (13%).

Diferente da pesquisa realizada por Pereira et al. (2017a), que traz entre as contribuições mais citadas integração entre requisitos e arquitetura, no presente estudo a contribuição mais citada foi a especificação ou elicitação de requisitos para sistemas embarcados em geral (9 artigos, 13%). Os artigos A4, A5, A7, A8 e A9 trazem novas técnicas de especificação/validação de requisitos, enquanto que os artigos A1, A2 e A3 e A6 tratam de assuntos como especificação de requisitos para sistemas automotivos, verificação formal de requisitos e substituição de casos de uso por vídeos com o objetivo de melhorar a compreensão dos requisitos.

Em segundo lugar aparecem os tópicos modelagem de requisitos para o domínio de sistemas embarcados e ferramentas de suporte para requisitos com 7 artigos (10.14%) cada. Os trabalhos incluídos na primeira contribuição propõem diferentes abordagens para modelagem. Já os trabalhos incluídos em Ferramentas de suporte para requisitos apresentam diferentes ferramentas que prometem facilitar e tornar mais confiável a Engenharia de requisitos. Por ser uma etapa muitas vezes negligenciada no processo de design, estudos que abordam técnicas ou ferramentas que agilizem e ao mesmo tempo aumentem a confiabilidade da engenharia de requisitos são de extrema importância para a maior adesão das indústrias à métodos mais formais de elicitação.

Especificação de requisitos de segurança e de tempo também são assuntos abordados com considerável frequência quando levada em consideração a quantidade de artigos analisados. Quatro artigos foram classificados em cada uma destas contribuições, representando 5.8% do total. Essa porcentagem pode ser explicada devido ao fato destes requisitos serem especialmente importantes para os sistemas embarcados, já que podem ser cruciais na prevenção de danos à pessoas, ao ambiente ou à propriedades.

A Melhoria na qualidade da especificação de requisitos para o domínio de sistemas embarcados foi discutida em 3 estudos (4.35%). Em A29, o autor descreve a relação entre melhoria de processos e engenharia de requisitos, método de melhoria de processos e abordagem de ER para sistemas embarcados e em tempo real. Os outros 2 estudos apresentam novas abordagens para melhorar a especificação de requisitos no domínio de sistemas embarcados.

**Quadro 3. Contribuições da ER para SE**

Contribuições	Artigos
Não cita/Não está claro	A39, A40, A41, A42, A43, A44, A45, A46, A47
Questões gerais	A31, A32, A33, A34, A35, A36, A37
Especificação e/ou validação de requisitos para SE	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A, A9
Modelagem de requisitos para o domínio de SE	A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16
Ferramentas de suporte para requisitos	A49, A50, A51, A52, A53, A54, A55
Especificação de requisitos de segurança	A22, A23, A24, A25
Especificação dos requisitos de tempo	A56, A57, A5, A59
Elicitação de requisitos de confiabilidade	A17, A18, A19
Melhoria na qualidade da especificação de requisitos para o domínio de SE	A26, A27, A28
Integração entre requisitos e arquitetura	A29, A30
Gerenciamento de requisitos	A60, A61
Reuso de requisitos para SE	A62, A63
Modelagem de requisitos de rastreabilidade	A20

Integração entre <i>hardware</i> e <i>software</i>	A21
Especificação de requisitos não funcionais	A38
Prototipagem de sistemas embarcados para validação de requisitos	A48
Falta de um processo de engenharia de requisitos bem definido para o domínio de SE	A64
Evitar intervenção manual para análise de SE	A65
Deteção e correção de requisitos comportamentais	A66
Requisitos físicos e não funcionais para <i>softwares</i> embarcados	A67
Elicitação de requisitos que podem diminuir a vulnerabilidade a comportamentos fora do padrão resultantes da interferência humana	A68
Modelagem de requisitos comportamentais	A69

Aproximadamente 4,35% dos artigos analisados apresentam propostas de processos bem definidos para a especificação de requisitos de confiabilidade para sistemas embarcados. Confiabilidade para sistemas embarcados difere da confiabilidade tradicional porque estes sistemas apresentam acessibilidade física, restrição de recursos e requisitos de tempo real [Fernández et al. 2010].

Outras contribuições foram identificadas em menor quantidade, representando menos de 3% do total. As mesmas também são listadas no quadro 3.

### 4.3. Desafios e necessidades da pesquisa na área de ER para SE

Nesta Seção, busca-se responder a seguinte questão de pesquisa: Quais desafios / problemas são identificados na literatura relacionada à ER para SE? O propósito desta questão é identificar trabalhos adicionais necessários em ER para SE e conforme mostrado no Quadro 4, a pesquisa concentrou-se em problemas específicos.

Vários estudos demonstram suas propostas sem, contudo, discutir desafios / problemas em ER para SE, o que corresponde a 18 artigos (26,01%). Foram desprezados estudos que abordaram problemas / desafios inseridos em propósito geral equivalentes a 10 artigos (14,5%).

Observou-se que o desafio mais citado foi a elicitación de requisitos para desenvolvimento de sistemas em um ambiente automotivo, discutido em 9 artigos (13,1%). Verificou-se que as constantes mudanças neste complexo ambiente torna a elicitación de requisitos uma tarefa árdua. Em segundo lugar destaca-se a especificação de rastreabilidade dos requisitos considerando a combinação de modelos em linguagens heterogêneas, discutido em 6 artigos (8,7 %) justificada pela necessidade de estabelecer ligações de rastreabilidade entre fluxos distintos. Em terceiro lugar aparece a consistência de requisitos de tempo que foi discutido em 4 artigos (5,8%). Ocupam juntos o quarto lugar, a integração de ferramentas para o gerenciamento de requisitos e a utilização de ferramentas para suporte a requisitos com propriedades temporais que são discutidos em 3 artigos cada representando individualmente 4,35% do total.

**Quadro 4. Desafios / problemas na ER para SE**

Direcionamento da Pesquisa quanto aos Desafios / Problemas	Artigos
Não cita/Não está claro	A2, A6, A7, A20, A22, A33, A36, A41, A42, A43, A54, A56, A60, A62, A63, A64, A65, A67
Problemas/desafios de uso geral	A9, A17, A28, A44, A46, A47, A57, A58, A61, A66
Consistência de requisitos de tempo	A1, A4, A5, A35
Rastreabilidade dos requisitos considerando a combinação de modelos em linguagens heterogêneas	A3, A8, A15, A16, A27, A37
Criação e utilização de linguagem formal de modelagem de requisitos	A10, A12
Elicitar requisitos para desenvolvimento de sistemas em um ambiente automotivo	A11, A18, A19, A21, A25, A30, A34, A39, A59
Validação de requisitos comportamentais do sistema	A13, A28
Requisitos de segurança para mitigar vulnerabilidades do sistema ou do ambiente	A14, A24
Integração de ferramentas para o gerenciamento de requisitos	A16, A29, A32
Criação de estruturas de requisitos reutilizáveis	A23, A48
Abordar requisitos de especificação de restrição de sistemas	A31
Identificação de os requisitos de segurança confiáveis e relevantes para o sistema	A38, A40,
Manipulação de requisitos não funcionais, como, segurança, confiabilidade, integridade, disponibilidade	A45
Utilização de ferramentas para suporte a requisitos com propriedades temporais e quantificadoras	A50, A51, A52
Estabelecer requisitos, operações e comportamento do sistema através de termos em lógica (matemática)	A53
Utilização de ferramenta para análise de requisitos dependente de contexto através de palavras guia	A55
Elicitação de requisitos para sistemas automotivos e outros domínios mais complexos, que reduzam a vulnerabilidade a comportamentos fora do padrão resultantes da interferência humana	A68
Tornar a elicitação e validação de requisitos de fácil entendimento para as partes interessadas	A69

Outros problemas / desafios que também foram identificados e representam menos de 3% foram incluídos no quadro 4.

## 5. Conclusão

Este artigo apresenta uma complementação da revisão sistemática da literatura realizada por Pereira et al. (2017a) para identificar tendências e necessidades da ER para SE. Os resultados obtidos foram comparados com os obtidos por Pereira et al. e são detalhados a seguir.

Nesta RSL foram identificados 82 requisitos, enquanto que Pereira et al. (2017a) identificaram 56. As porcentagens de requisitos em cada nível ficaram razoavelmente próximas nas duas pesquisas, com a maior quantidade de requisitos constando no nível de requisitos (76,8% contra 70%), seguido pelo nível corporativo (12,2% contra 16%), nível sistêmico (6,1% contra 9%) e, por último, o nível contextual (4,9% contra 5%).

Em relação às contribuições da ER para SE, semelhanças e diferenças foram encontradas. Entre as semelhanças podemos citar as contribuições especificação de requisitos de segurança e especificação de requisitos de tempo e a categoria não cita/não está claro aparecendo aproximadamente na mesma proporção. Já entre as diferenças aparecem novas contribuições não listadas anteriormente, assim como a não ocorrência neste estudo de algumas contribuições listadas no estudo anterior. É válido ressaltar que algumas dessas diferenças podem estar relacionadas à subjetividade na hora de determinar a contribuição na área de ER de cada artigo para sistemas embarcados.

Por fim, em quanto aos desafios / problemas na ER para SE, podemos destacar como semelhanças que a categoria mais citada continua sendo “requisitos para desenvolvimento de sistemas em um ambiente automotivo”. Entre as diferenças identificamos novos desafios / problemas como, “Rastreabilidade dos requisitos considerando a combinação de modelos em linguagens heterogênea”, “Integração de ferramentas para o gerenciamento de requisitos” e “Utilização de ferramentas para suporte a requisitos com propriedades temporais e quantificadoras”.

## Referências

- Braun, P., Broy, M., Houdek, F., et al. (feb 2014). Guiding requirements engineering for software-intensive embedded systems in the automotive industry: The REMsES approach. *Computer Science - Research and Development*, v. 29, n. 1, p. 21–43.
- Fernández, J. L., Alonso, R., Gómez, F., et al. (2010). Requirements engineering for trusted embedded systems.
- Keele, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. . Ver. 2.3 EBSE.
- Krüger, I., Farcas, C., Farcas, E. and Menarini, M. (2010). Requirements modeling for embedded realtime systems. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, v. 6100 LNCS, p. 155–199.
- Liggemeyer, P. and Trapp, M. (2009). Trends in embedded software engineering. *IEEE Software*, v. 26, n. 3, p. 19–25.
- Pereira, T., Albuquerque, D., Sousa, A., Alencar, F. and Castro, J. (2017a). Retrospective and trends in requirements engineering for embedded systems: A systematic literature review.
- Pereira, T., Albuquerque, D., Sousa, A., Alencar, F. and Castro, J. (2017b). Towards a metamodel for a requirements engineering process of embedded systems.