

# ReQSI-CI: Um Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas de Informação em Cidades Inteligentes sob a Perspectiva de Ecosystemas Digitais

Alexandre Barbosa<sup>1</sup>[0000-0001-9511-8260], Paulo Malcher<sup>1,2</sup>[0000-0003-1945-3782]  
e Rodrigo Pereira dos Santos<sup>1</sup>[0000-0003-4749-2551]

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI)  
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) - Rio de Janeiro, Brasil  
{alexandre.barbosa, malcher}@edu.unirio.br, rps@uniriotec.br  
<sup>2</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) - Pará, Brasil

**Resumo** Iniciativas de cidades inteligentes (CI) vêm aumentando em todo mundo. Diante desse contexto, os sistemas de informação (SI) são vistos como ferramentas estratégicas para a solução de problemas a partir de uma visão sistêmica sobre pessoas, organizações e tecnologias. No entanto, vários SI têm sido usados para apoiar iniciativas de CI e não há uma diretriz específica ou padrão de requisitos que possa apoiar o desenvolvimento de SI. Este trabalho apresenta um catálogo de requisitos não-funcionais (RNF) de SI em CI sob a perspectiva de ecossistemas digitais (ED), chamado ReQSI-CI. A proposta de catálogo emergiu dos resultados de três estudos: (i) um estudo exploratório que identificou RNF por meio de oportunidades e barreiras na implantação de SI informais no domínio das CI; (ii) um mapeamento sistemático da literatura (MSL) que identificou SI formais, desafios e fatores de sucesso da implantação desses SI, que possibilitaram a identificação de RNF; e (iii) uma pesquisa de opinião que foi realizada com estudantes, pesquisadores e profissionais brasileiros interessados no tema, a fim de analisar as informações dos SI identificados no MSL e identificar novos RNF. Ao final, foi conduzida uma avaliação do catálogo por meio de um grupo focal com especialistas no assunto, resultando em uma nova versão do catálogo ReQSI-CI. Os resultados mostram que a proposta reúne elementos relevantes para CI, com destaque para características de ED. A contribuição deste trabalho é um catálogo com 46 RNF organizados em dimensões e domínios de CI.

**Palavras-chave:** Sistemas de Informação · Cidades Inteligentes · Requisitos Não-Funcionais · Ecosystemas Digitais.

## 1 Introdução

Desde a revolução industrial, a humanidade vem sofrendo grandes mudanças, nas quais empresas, governos e sociedade vêm sendo constantemente desafiadas [29]. Nesse contexto, as cidades de todas as partes do mundo vêm enfrentando

vários desafios à medida que seus recursos e infraestrutura são colocados sob níveis de pressão cada vez maiores [13]. Com o aumento populacional, desafios relacionados à eficiência dos serviços públicos tendem a ser maiores nas áreas urbanas. Para mitigar esses desafios, as iniciativas de cidades inteligentes (CI), do inglês *smart cities*, vêm crescendo.

As CI visam oferecer melhores serviços e prover melhor qualidade de vida para os cidadãos [14]. A área de sistemas de informação (SI) possui papel fundamental para dar suporte aos problemas das CI, pois sua abordagem envolve pessoas, processos/organizações e tecnologias e contribui em diversos domínios organizacionais, como indústrias e governos [1]. Boscaroli et al. [4] ressaltam que é um grande desafio estabelecer características gerais de SI em CI, sobretudo pelas novas exigências trazidas pelo mundo aberto. Nesse contexto, os ecossistemas digitais (ED), do inglês *digital ecosystems*, se apresentam como uma abordagem baseada em uma infraestrutura digital auto-organizável e conectada em rede (aberta), sem necessidade de controle ou liderança [7]. Os ED de CI têm por finalidade assegurar o equilíbrio entre tecnologia e a necessidade dos cidadãos.

Os requisitos de SI, quando bem elicitados, têm importância fundamental para garantir o equilíbrio, sustentabilidade e a qualidade dos SI no estabelecimento de ED de CI. Devido à grande quantidade de *stakeholders* envolvidos nestes projetos, existe minimamente a necessidade de padronização dos critérios de qualidade e da organização das áreas de atuação para o desenvolvimento SI [17]. Dwivedi et al. [15] ressaltam que falhas na identificação de requisitos podem ser um dos fatores capazes de provocar grandes prejuízos financeiros. A falha em SI pode ser definida como um sistema implementado que não atende às expectativas do usuário ou pela incapacidade de criar um sistema funcional.

Este trabalho apresenta como principal motivação a necessidade de pesquisas para compreender a complexidade e organizar o conhecimento sobre requisitos não-funcionais (RNF) de SI em CI sob a perspectiva de ED, principalmente pela ausência de equilíbrio entre tecnologias e as necessidades dos cidadãos. Assim, o objetivo deste trabalho é construir e avaliar um catálogo de RNF intitulado Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas de Informação em Cidades Inteligentes sob a Perspectiva de Ecossistemas Digitais (ReQSI-CI). Cysneiros et al. [11] descrevem que um catálogo de requisitos facilita a organização, identificação, compartilhamento, gerenciamento e a evolução dos requisitos.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica e trabalhos relacionados; a Seção 3 descreve os métodos usados na construção do catálogo; a Seção 4 apresenta os resultados dos estudos que fundamentaram o catálogo. Em seguida, a Seção 5 apresenta o catálogo ReQSI-CI e a Seção 6 apresenta a avaliação do catálogo. A Seção 7 apresenta as limitações e ameaças à validade e a Seção 8 conclui com algumas considerações.

## 2 Fundamentação e Trabalhos Relacionados

Os RNF também são conhecidos por características de qualidade do produto [16]. Os RNF têm efeito global e o atendimento destes requisitos afeta vários com-

ponentes de um SI. Este tipo de requisito define a qualidade geral do sistema e estão relacionados a restrições de tempo, custo e recursos. Os RNF expressam restrições aos serviços oferecidos pelo sistema ou definem atributos de qualidade [10]. A ISO/IEC 25010 [16] descreve as características de qualidade de sistemas e software e as diretrizes para seu uso. A norma apresenta 8 características de qualidade e 31 subcaracterísticas. As 8 características são: adequação funcional, eficiência de desempenho, compatibilidade, usabilidade, confiabilidade, segurança, manutenibilidade e portabilidade. Todas essas características são importantes para o desenvolvimento e manutenção de SI.

Laudon e Laudon [19] definem um SI como um conjunto de componentes inter-relacionados que coleta (ou recupera), processa, armazena e distribui informações destinadas a fim de apoiar a tomada de decisão, a coordenação e o controle de uma organização. SI são classificados em 4 tipos: sistema de processamento de transações (SPT); sistemas de informações gerenciais (SIG); sistemas de apoio à decisão (SAD); e sistemas de informação executiva (SIE) [19]. Os SI também podem ser classificados como SI formais e informais [26]. Os SI formais estabelecem um conjunto de procedimentos transparentes para alcançar objetivos mais amplos e de longo prazo, a fim de diminuir a burocracia e aumentar a eficiência dos serviços públicos. Os SI informais se baseiam na confiança e relacionamento humano, sem nenhum requisito formal ou intervenção organizacional [23]. SI formais e informais têm sido utilizados no contexto de CI para prover melhores serviços aos cidadãos.

Caragliu et al. [6] conceituam CI como investimentos em capital humano, social e infraestruturas tradicionais e digitais para alimentar o crescimento econômico sustentável. CI são estabelecidas para oferecer qualidade de vida, por meio de gestão dos recursos e de governança participativa. Um dos modelos de classificação de CI mais utilizados pela academia é o de Giffinger et al. [12], que envolve: ambiente inteligente; economia inteligente; mobilidade inteligente; vida inteligente; governança inteligente; e pessoas inteligentes. Polyakov [24] cita que ED de CI devem ser uma prioridade para as megacidades, onde as sinergias e a diversidade de camadas de tecnologia estão intimamente entrelaçadas.

ED é um campo de pesquisa multidisciplinar que fornece suporte tecnológico para a inovação de negócios em ambiente aberto e com forte potencial positivo na geração de impacto econômico [22]. O conceito de ED é estabelecido por meio de um paradigma de ambiente aberto, agrupado por domínio, orientado pela demanda, auto-organizado e fracamente acoplado, baseado em agente [22]. Para sustentação de um ED, é preciso haver características que dão suporte para estas tecnologias. Estas características são descritas de acordo com Boley & Chang [3]: domínio fracamente acoplado; abertura, interação e engajamento; equilíbrio; e auto-organização.

Não foi encontrado na literatura nenhum catálogo de RNF para SI específico para CI. Entretanto, alguns trabalhos relacionados propuseram catálogos de RNF para outros domínios. Os catálogos encontrados nos trabalhos relacionados foram utilizados como base para a construção do catálogo apresentado neste trabalho. Silva et al. [25] construíram um catálogo de RNF para o domínio de

sistemas embarcados. Os autores encontraram um subconjunto que contemplou os RNF relevantes para grande parte dos sistemas embarcados e que possuíam evidências. Entretanto, como pode ser observado, o catálogo de Silva et al. [25] é específico para o domínio de sistemas embarcados.

Costa et al. [9] propuseram um catálogo de RNF de confiança para robôs socialmente assistivos. O catálogo foi considerado útil e adequado para apoiar as etapas de elicitação e especificação em projetos de robôs socialmente assistivos. O trabalho também apresenta correlações entre os RNF. Entretanto, o catálogo apresentado em Costa et al. [9] compreende apenas RNF de confiança e é focado para um domínio diferente de CI. Brito et al. [5] apresentam uma abordagem para lidar com RNF em CI. O trabalho explora técnicas de elicitação em um domínio específico de CI. Os autores também apresentam os desafios para elicitar RNF em CI e propõem o uso de catálogos para auxiliar a identificação e especificação de RNF. Nesse sentido, o trabalho não apresenta um catálogo de RNF.

### 3 Métodos para Construção do Catálogo

Com base no contexto e problema apresentados na Seção 1, duas questões de pesquisa (QP) foram formuladas: “(QP1) Quais requisitos não-funcionais são fundamentais para o desenvolvimento de SI em CI?” e “(QP2) Como as características de ED podem ser relacionadas aos requisitos não-funcionais de SI em CI?”. A fim de atingir o objetivo apresentado na Seção 1 e responder às questões de pesquisa, foram empregados os métodos científicos apresentados na Figura 1. As etapas da pesquisa são descritas a seguir:

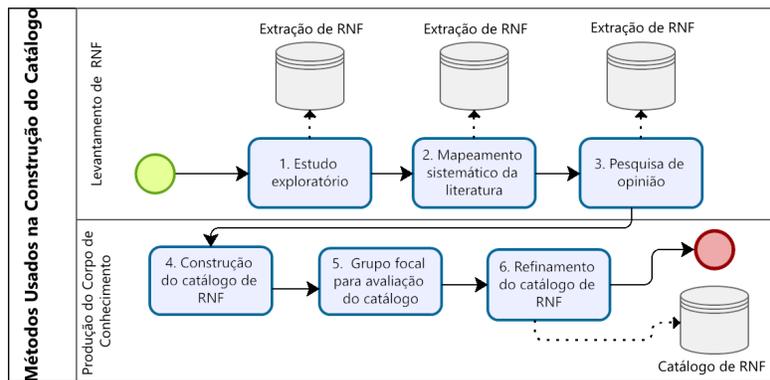
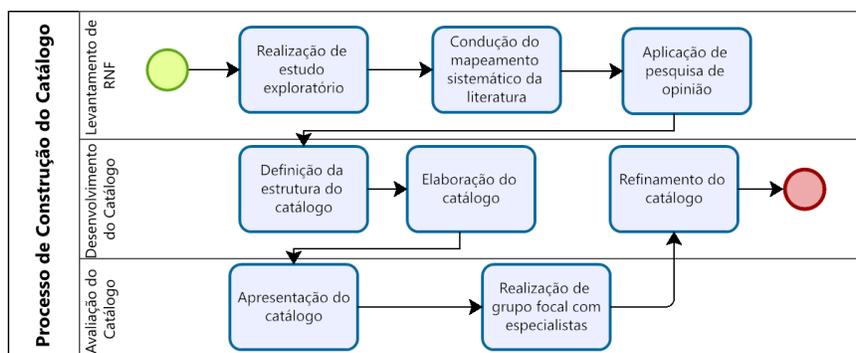


Figura 1. Métodos usados na construção do catálogo.

1. **Estudo exploratório:** a partir de estudos da literatura sobre CI, foram investigados quais SI informais dão apoio às CI. Foram identificadas oportunidades e barreiras para a implantação de SI informais em CI. Esses resultados auxiliaram na identificação de RNF para SI em CI;

2. **Mapeamento sistemático da literatura (MSL)**: o estudo foi realizado para identificar os SI formais (governamentais) que dão suporte para as CI. Além disso, foram identificados desafios e fatores de sucesso na implantação desses sistemas. Os resultados desse estudo contribuíram para a definição de RNF para SI em CI;
3. **Pesquisa de opinião (survey research)**: nesta etapa, foi aplicado um questionário on-line com estudantes, pesquisadores e profissionais brasileiros interessados no tema para analisar a concordância dos respondentes sobre os SI identificados no estudo anterior e identificar novos RNF dos principais SI levantados;
4. **Produção do corpo de conhecimento**: nas etapas 4, 5 e 6, são apresentadas as atividades para a construção, avaliação e refinamento do catálogo. O catálogo ReQSI-CI foi construído com base nos estudos realizados nas etapas 1, 2 e 3. Além disso, foi realizado um grupo focal para avaliar e refinar a estrutura do catálogo com base nas opiniões de especialistas em CI, SI, ED e engenharia de requisitos.

O processo de construção do catálogo foi dividido em 3 fases, envolvendo **levantamento dos RNF**, **desenvolvimento do catálogo** e **avaliação do catálogo**. A Figura 2 ilustra o processo de construção do catálogo, que está embasado nos métodos científicos apresentados na Figura 1. Além disso, na Figura 2, também é possível observar que as 3 fases definidas para a construção do catálogo são refinadas em 8 atividades no total.



**Figura 2.** Processo de construção do catálogo.

1. **Levantamento dos RNF**: foram considerados os SI em CI identificados na literatura bem como aqueles utilizados por cidadãos brasileiros. O método utilizado para seleção dos RNF seguiu as diretrizes da norma ISO/IEC 29148 [17], que compreende a especificação dos processos necessários implementados nas atividades de levantamento de requisitos e que resultam em

requisitos para sistemas e produtos de software. Desta forma, os três estudos conduzidos permitiram o levantamento inicial de 55 RNF para a construção do catálogo ReQSI-CI;

2. **Desenvolvimento do catálogo:** para a definição da estrutura do catálogo, foram analisados os catálogos de requisitos descritos em [9], [25] e [27]. Para a elaboração do catálogo, inicialmente, foram definidos os termos importantes para recomendação e utilização dos RNF para SI em CI. A tarefa seguinte consistiu em classificar os RNF quanto à sua característica e subcaracterística de qualidade, conforme apresentado na norma ISO/IEC 25010 [16]. Após a seleção e classificação, os RNF foram reclassificados quanto à dimensão e ao domínio das CI ao qual o SI pertence [12]. Por fim, os RNF foram analisados sob a perspectiva de ED, de acordo com as características de ED [7]. Após a avaliação do catálogo, descrita a seguir, todas as contribuições dos especialistas resultaram na atividade de refinamento do catálogo;
3. **Avaliação do catálogo:** a versão inicial do catálogo foi submetida à análise por meio de um grupo focal com especialistas em CI, SI, ED e engenharia de requisitos. Essa avaliação buscou analisar vários aspectos sobre a estrutura, relevância, aplicabilidade e utilidade do catálogo. O grupo focal ofereceu contribuições importantes para o aprimoramento do catálogo. O protocolo utilizado para a realização do grupo focal seguiu as orientações de Mitrzyk [21] e Zaganelli et al. [28]. Detalhes da fase de avaliação do catálogo são descritos na Seção 6.

## 4 Estado da Arte e da Prática

No sentido de conciliar a visão da academia, da sociedade e da indústria, foram executados 3 estudos para construir a proposta de investigação. Primeiramente, foi realizado um estudo exploratório com objetivo de identificar, no contexto de CI, as oportunidades e barreiras na implantação de SI informais [2]. Para isso, foi realizada uma pesquisa de opinião com 37 participantes. As respostas da pesquisa de opinião foram analisadas de forma quantitativa e qualitativa. Foram identificadas 7 oportunidades para a implantação de SI em CI e 7 possíveis barreiras que podem atrapalhar a implantação de SI em CI. A partir das respostas da questão “Que oportunidades e barreiras você identifica para soluções tecnológicas em cidades inteligentes? Tente citar pelo menos uma oportunidade e uma barreira”, foram elicitados **16 RNF para SI em CI**. Como exemplo de um RNF extraído do estudo exploratório, é possível citar: “*O sistema deve possuir integração com sensores RFID para controle de veículos*”. O RNF se refere à dimensão de CI *mobilidade inteligente*, à característica de ED *auto-organização* e à característica de qualidade *compatibilidade* [2].

O segundo estudo consistiu na condução de um MSL com o objetivo de identificar os SI formais e os RNF desses sistemas. Foram identificados 457 estudos e, após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 20 estudos que citavam 20 SI governamentais implantados no contexto de CI. Os principais desafios e fatores de sucesso para a implantação desses sistemas também foram identificados e auxiliaram na identificação dos RNF. Nesse sentido,

após análise dos dados, foram identificados **30 RNF para SI em CI**. O relatório técnico do MSL pode ser acessado no repositório Figshare<sup>3</sup>. Como exemplo de um RNF extraído do MSL, é possível citar: “*O sistema deve possibilitar integração com os sistemas da administração pública*”. O RNF se refere à dimensão de CI *governança inteligente*, à característica de ED *auto-organização* e à característica de qualidade *compatibilidade*.

O terceiro e último estudo da fase de levantamento de RNF foi uma nova pesquisa de opinião. Foram consideradas algumas questões de pesquisas que serviram de guia para que os respondentes apontassem os requisitos essenciais para a implantação de SI em CI. Após condução da pesquisa de opinião, foram identificados **9 RNF para SI em CI**. Os RNF foram extraídos das seguintes questões de pesquisa: (i) “Cite desafios a serem superados para implantação de sistemas de informação para cidades inteligentes”; e (ii) “Cite fatores de sucesso para implantação de sistemas de informação para cidades inteligentes”, conforme descrito no formulário publicado no repositório Figshare<sup>4</sup>. Como exemplo de um RNF extraído da pesquisa de opinião, é possível citar: “*O sistema deve garantir a privacidade dos dados dos usuários*”. O RNF se refere à característica de ED *abertura, integração e engajamento* e à característica de qualidade *segurança*. A dimensão de CI não foi identificada para este RNF.

## 5 Catálogo ReQSI-CI

A versão final do Catálogo ReQSI, após avaliação e refinamento, conta com **46 RNF para SI em CI sob a perspectiva de ED**. A versão completa do catálogo está disponível no repositório de acesso aberto Figshare<sup>5</sup>. A estrutura final do catálogo é apresentada na Figura 3. O catálogo ReQSI-CI é dividido em três partes. A primeira parte classifica os RNF no contexto de SI (tipos de SI) em CI (dimensões e domínios de CI) sob a perspectivas dos ED (característica de ED). A segunda parte classifica os RNF na perspectiva da norma ISO/IEC 25010 [16] (características e subcaracterísticas de qualidade). A terceira parte, por sua vez, apresenta a fonte para rastreabilidade do RNF. A seguir, são apresentadas as descrições de cada item do catálogo ReQSI-CI refinado:

Ecossistema Digital de Cidades Inteligentes						Classificação do RNF			Fonte
Dimensão de CI	Domínio de CI	Id.	Descrição do RNF	Tipo de SI	Característica de ED relacionada	Característica de qualidade do RNF	Subcaracterística de qualidade do RNF		

**Figura 3.** Itens do catálogo ReQSI-CI.

<sup>3</sup> <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22626766.v1>

<sup>4</sup> <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.21692690.v1>

<sup>5</sup> <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22686724>

1. **Dimensão de CI:** Segundo Giffinger et al. [12], as dimensões de CI podem variar em: ambiente inteligente, economia inteligente, governança inteligente, mobilidade inteligente, pessoas inteligentes e vida inteligente;
2. **Domínio de CI:** Subáreas das dimensões de uma CI. Existem 38 domínios descritos [12];
3. **Id.:** Código alfanumérico composto pelo acrônimo RNF, seguido por uma numeração sequencial. Por exemplo, RNF-01;
4. **Descrição do RNF:** Descrição do RNF que foi identificado por meio do estudo exploratório, MSL ou pesquisa de opinião;
5. **Tipo de SI:** Tipo de SI que o RNF foi identificado, de acordo a definição de Laudon e Laudon [19]: SPT, SIG, SAD e SIE;
6. **Característica de ED relacionada:** Classificação do RNF quanto à característica presente em um ED: abertura, interação e engajamento; equilíbrio; auto-organização; e domínio fracamente acoplado [7];
7. **Nome da característica de qualidade do RNF:** Característica de qualidade do RNF classificado pela ISO/IEC 25010 [16]: adequação funcional, eficiência de desempenho, compatibilidade, usabilidade, confiabilidade, segurança, manutenibilidade e portabilidade;
8. **Nome da subcaracterística de qualidade do RNF:** Trata-se de uma subclassificação de uma característica de qualidade. Existem 31 subcaracterísticas de qualidade na norma ISO/IEC 25010 [16];
9. **Fonte:** Os RNF podem ter sido identificados no estudo exploratório (EE), mapeamento sistemático da literatura (MSL) ou pesquisa de opinião (PO).

O catálogo ReQSI-CI foi organizado de acordo com as dimensões de CI propostas por Giffinger et al. [12]. A Figura 4 apresenta os RNF da dimensão mobilidade inteligente. Devido à limitação de espaço, esta dimensão foi apresentada.

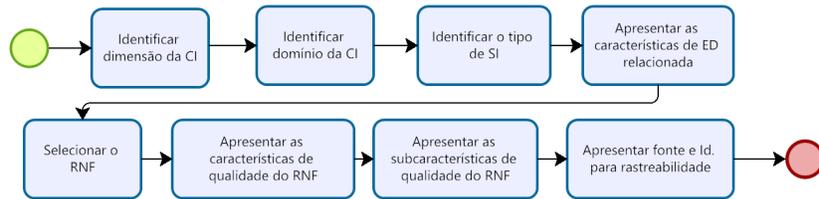
Ecosistema Digital de Cidades Inteligentes					Classificação do RNF			Fonte
Dimensão de CI	Domínio de CI	Id.	Descrição do RNF	Tipo de SI	Característica de ED relacionada	Característica de qualidade do RNF	Subcaracterística de qualidade do RNF	
Mobilidade Inteligente	Infraestrutura de tecnologia da informação	RNF-23	O sistema deve possuir integração com sensores RFID para controle de veículos.	SPT	Auto-organização	Compatibilidade	Coexistência	EE
		RNF-24	O sistema deve possuir recursos para integrar semáforos de trânsito com smartphones, visando ajustar o tempo de sinal fechado e aberto, de acordo com o fluxo de carros e pedestres.	SIG				EE
		RNF-25	O sistema deve possuir interoperabilidade com sistemas de infraestrutura para mobilidade urbana.					EE
		RNF-26	O sistema deve oferecer recursos de conectividade com diversos protocolos de comunicação.					EE

**Figura 4.** Catálogo ReQSI-CI - Dimensão mobilidade inteligente.

O catálogo ReQSI-CI tem por finalidade auxiliar gestores públicos, arquitetos de sistemas, desenvolvedores e pesquisadores de SI na seleção de RNF mais

utilizados pela literatura e na opinião dos cidadãos. Para isso, as etapas de utilização do catálogo ReQSI-CI são apresentadas na Figura 5. É importante destacar que os RNF apresentados não são estáticos, havendo a necessidade de constantes atualizações por especialistas. Além disso, os RNF trazem uma visão geral de cada dimensão e domínio de CI. Para cada projeto de CI, faz-se necessário a definição clara dos *stakeholders* e do objetivo que o SI se propõe a solucionar, a fim de garantir a instanciação dos RNF e sua verificação.

Em primeiro lugar, o *stakeholder* que irá utilizar o catálogo ReQSI-CI deverá identificar a dimensão de interesse, verificando as opções no item *Dimensão de CI*. Este item representa as 6 áreas de atuação das CI, conforme definido por Giffinger et al. [12]. Em segundo lugar, deverá ser identificado o domínio de interesse. Neste item, consta os serviços oferecidos em uma CI, organizados por dimensão. Após seleção da dimensão e domínio da CI, o *stakeholder* irá identificar o tipo de SI e, em seguida, o RNF mais adequado ao SI desejado. O RNF selecionado terá como uma de suas propriedades a característica de ED. Este item tem como função garantir a sustentação do ED de CI. Na sequência, o catálogo apresentará características e subcaracterísticas de qualidade, de acordo com a norma ISO/IEC 25010 [16]. As etapas de utilização do catálogo ReQSI-CI são apresentadas na Figura 5.



**Figura 5.** Fluxo para utilização do catálogo ReQSI-CI.

## 6 Avaliação Preliminar do Catálogo

Na fase de avaliação, o catálogo foi analisado por meio de um grupo focal com especialistas da indústria e da academia. Esta técnica tem como característica a promoção de trocas de conhecimentos e experiências pela interação entre os participantes, a partir de um problema de pesquisa que o pesquisador tem como objetivo investigar [18]. Dessa forma, o grupo focal teve o objetivo de verificar a compreensão dos especialistas em relação à estrutura do catálogo e às dimensões e domínios de CI. Para alcançar o objetivo do estudo, buscou-se responder as seguintes questões de pesquisa: “(QP1) *Que estrutura de catálogo de RNF poderia auxiliar gestores públicos e desenvolvedores de SI nas iniciativas de CI?*” e “(QP2) *Quais são os RNF de SI com característica de ED importantes para a sustentação de CI?*”. A fim de atingir o objetivo do estudo e obter melho-

res resultados, foram estabelecidas 3 etapas, envolvendo (i) planejamento; (ii) execução; e (iii) discussão e avaliação dos especialistas.

O grupo focal foi realizado com 4 especialistas (doutores, com atuação na indústria e na academia nas áreas de SI, CI, ED e engenharia de requisitos) para a avaliação da estrutura do catálogo ReQSI-CI sob a perspectiva de ED. A seleção dos participantes se deu por conta da experiência profissional em soluções para CI e acadêmica por conta de pesquisas relacionadas a engenharia de requisitos e ED. Para isso, a Tabela 1 descreve a caracterização dos participantes. Os participantes não foram identificados nas respostas e discussões durante a dinâmica do grupo, devido a questões de confidencialidade e anonimato.

Participante	Formação	Função
PA1	Doutor em Ciência da Computação	Cientista de dados
PA2	Doutor em Ciência da Informação	Consultor em gestão da informação e professor
PA3	Doutor em Engenharia Eletrônica e Computação	Professor e pesquisador em engenharia de requisitos para sistemas de software complexos
PA4	Doutor em Ciência da Computação	Professor e pesquisador em ecossistemas de software

**Tabela 1.** Caracterização dos participantes.

O grupo focal ocorreu de forma on-line, por meio da plataforma Google Meet. A duração ficou em torno de 90 minutos e foi conduzida de acordo com o seguinte roteiro preestabelecido: (1) Apresentação do moderador e participantes; (2) Esclarecimento sobre o contexto do estudo; (3) Objetivo do estudo; (4) Apresentação dos conceitos de CI e ED; (5) Apresentação da estrutura do catálogo ReQSI-CI; (6) Discussão relacionada à questão de pesquisa; e (7) Disponibilização do *link* com as perguntas a serem respondidas. A Figura 6 apresenta a estrutura inicial do catálogo que foi avaliada.

Ao final do grupo focal, os participantes foram convidados a responder 3 perguntas, por meio da ferramenta Google Forms. A primeira pergunta foi relacionada à aceitação do TCLE e as demais são apresentadas na Tabela 2. Em seguida, os dados coletados durante a discussão foram analisados no sentido de utilizar o potencial de melhoria e a experiência dos participantes reportada em suas observações. Algumas contribuições foram apontadas: (i) o catálogo não deve transmitir a ideia de ser um dicionário de RNF; (ii) o catálogo deve ser instanciado para cada tipo de dimensão ou domínio; (iii) não deve haver repetições da mesma descrição de RNF; e (iv) é necessário melhorar a descrição dos RNF, no sentido de evitar imprecisão e falhas na implementação. As sugestões foram consideradas na versão final do catálogo e resultaram no seu aperfeiçoamento e na sua nova estrutura, como foi detalhando na Seção 5.

Parte 1	<b>(a) Nome da característica de qualidade (Norma ISO/IEC 25010)</b>	
	(b) Definição da característica de qualidade	
	(c) Justificativa para inclusão da característica de qualidade do RNF	
	(d) Característica do ecossistema digital relacionada	
	(e) Relação com ecossistema digital	
Parte 2	<b>(f) Nome da subcaracterística de qualidade</b>	
	(g) Definição da subcaracterística de qualidade	
	(h) Justificativa para inclusão da subcaracterística	
Parte 3	<b>Lista de RNF para SI no contexto de CI</b>	
	(i) Id.	
	(j) Descrição	
	(k) Tipo de SI	
	(l) Classificação do SI	
	(m) Dimensão de CI	
	(n) Domínio de CI	
(o) Fonte		

**Figura 6.** Itens do catálogo ReQSI-CI

ID	Pergunta
Q1	A estrutura e descrições dos itens do catálogo foram desenvolvidas corretamente?
Q2	Os RNF apresentados no catálogo podem ser aplicados aos SI nas dimensões e domínios de CI?
Q3	As características de qualidade dos RNF apresentados possuem relação com as características de ED?

**Tabela 2.** Perguntas do formulário aplicado no grupo focal.

## 7 Limitações e Ameaças à Validade

Algumas limitações foram identificadas, considerando os estudos realizados para identificar os RNF, a construção do catálogo ReQSI-CI e o grupo focal para avaliação do catálogo. As limitações de caráter geral envolvem: (i) as restrições impostas pelo aumento acentuado de casos de COVID-19 no período da realização da pesquisa que afetaram a participação cidadã; (ii) o fato do contexto da pesquisa tratar de temas relacionados à CI é importante e requer a realização de novas pesquisas de opinião em nível internacional, tendo em vista o caráter heterogêneo deste trabalho; (iii) em relação ao catálogo, é importante ressaltar que nem todos os domínios das CI foram cobertos com RNF, ficando a cargo de novos estudos mais específicos nestes campos; por fim, (iv) o catálogo ReQSI-CI ainda não foi utilizado na prática.

Quanto ao grupo focal, a principal ameaça à validade foi de constructo, o que pode ter causado potencial desvio entre a teoria e a observação. Para mitigar esta ameaça, foi realizada uma análise do perfil dos participantes, de modo a subsidiar a elaboração do protocolo e roteiro da entrevista. Outra ameaça foi a de conclusão, devido a possíveis falhas na análise e interpretação do catálogo ReQSI-CI. Para mitigar esta ameaça, o protocolo seguiu rigorosamente as etapas

pré-definidas, para garantir que o estudo fosse o mais preciso/objetivo possível. Porém, possíveis inconsistências podem ser identificadas.

## 8 Conclusão

Este trabalho teve o objetivo de identificar e documentar RNF para SI em CI sob a perspectiva de ED. As questões de pesquisa “*Quais requisitos não-funcionais são fundamentais para o desenvolvimento de SI em CI?*” e “*Como as características de ED podem ser relacionadas aos requisitos não-funcionais de SI em CI?*” foram respondidas por meio da coleta de evidências na literatura e também por meio da opinião de interessados no tema. A partir de então, os dados foram organizados e analisados e o catálogo ReQSI-CI foi proposto.

O catálogo ReQSI-CI apresenta uma abordagem que reúne RNF distribuídos de acordo com as dimensões e os domínios de CI. Além disso, os RNF foram analisados de acordo com suas características e subcaracterísticas de qualidade. Por fim, os RNF foram relacionados à perspectiva de ED. O estudo reuniu 46 RNF classificados em 6 dimensões e 16 domínios de CI. Após esta classificação, os RNF foram agrupados em 4 características e 10 subcaracterísticas de qualidade, em que *interoperabilidade* se destacou com mais exemplos de RNF (14), seguida por *coexistência* (11). Em relação à dimensão que mais houve citações de RNF, *governança inteligente* apresentou a maior oportunidade para utilização do catálogo, com 17 RNF sugeridos. Em relação ao domínio, *SI relacionados a serviços on-line* reuniram o maior número de RNF (5).

Além da investigação dos RNF, as características de qualidade identificadas foram analisadas na perspectiva de ED, no sentido de estabelecer uma visão sustentável das CI, envolvendo pessoas, processos/organizações e tecnologia. As características de ED *equilíbrio*, *abertura*, *auto-organização* e *engajamento* e *auto-organização* foram as mais presentes nos resultados das análises dos RNF e, conforme a definição de ecossistema, os RNF apresentados colaboram para sustentação dos ED de CI, a partir de uma visão de espécie (cidadãos) e ambiente (tecnologia). Buscou-se ainda organizar o conhecimento acerca de SI em CI reunindo conceitos, informações e classificações que podem ser utilizadas por gestores públicos, arquitetos de sistemas, desenvolvedores e pesquisadores para lidar com a complexidade de SI em CI. Além disso, este catálogo pode apoiar estudos sobre arquitetura de referência e criação de ontologia de ED de CI.

Como trabalhos futuros, é possível destacar: (i) **Executar outras pesquisas de opinião**: realizar um processo contínuo de coleta de dados, a fim de alimentar o catálogo ReQSI-CI com necessidades de especialistas e outros cidadãos; (ii) **Expandir a perspectiva de ED de CI**: explorar os elementos do ED no sentido de identificar as características presentes em CI; (iii) **Expandir a avaliação do catálogo ReQSI-CI**: fazer a avaliação prática do catálogo com gestores públicos e demais envolvidos em CI; (iv) **Evoluir o catálogo ReQSI-CI**: expandir o catálogo com ontologias, arquiteturas de referências, taxonomias, modelos conceituais de apoio e adequação ao NFR Framework [8]; e (v) **Digita-**

**lizar o catálogo ReQSI-CI:** criar uma ferramenta computacional para apoiar a utilização do catálogo em situações de uso reais.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, FAPERJ (Proc. 211.583/2019 e Proc. 210.688/2019) e UNIRIO (PPQ 2022).

## Referências

1. Barbosa, A., Fornazin, M. & Santos, R. Cidades Inteligentes: Uma Arquitetura de Referência para Sistemas de Informação Baseada na Perspectiva Social. *Anais Estendidos Do XVII Simpósio Brasileiro De Sistemas De Informação (Anais Estendidos Do SBSI 2021)*. (2021,6)
2. Barbosa, A., Malcher, P., Farias, V. & Santos, R. Exploring business opportunities in the domain of smart cities from informal systems. *2021 XLVII Latin American Computing Conference (CLEI)*. (2021,10)
3. Boley, H. & Chang, E.: Digital Ecosystems: Principles and Semantics. In: 2007 Inaugural IEEE-IES Digital EcoSystems And Technologies Conference, pp. 398–403. Cairns, QLD, Australia (2007)
4. Boscaroli, C., Araujo, R. & Maciel, R.: I GrandSI-BR Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026. Special Committee on Information Systems (CE-SI). Brazilian Computer Society (SBC). ISBN: 978-85-7669-384-0. (2017)
5. Brito, I., Moreira, A. & Araújo, J.: Handling Nonfunctional Requirements for Smart Cities. In: Ayala, C., Murta, L., Cruzes, D. et al. (eds) XXIII Iberoamerican Conference on Software Engineering (CIbSE), 334-341. (2020)
6. Caragliu, A., Del Bo, C. & Nijkamp, P.: Smart Cities in Europe. *Journal Of Urban Technology* **18**(2), 65–82 (2011)
7. Chang, E. & West, M.: Digital Ecosystems A Next Generation of the Collaborative Environment. In: The Eighth International Conference On Information Integration And Web-based Applications Services, pp. 3–24 (2006)
8. Chung, L., Nixon, B., Yu, E. & Mylopoulos, J.: Non-Functional Requirements in Software Engineering. International Series in Software Engineering, vol. 5. Springer Science & Business Media (2000)
9. Costa, L., Castro, J., Kelner, J. & Lencastre, M.: Requisitos Não-Funcionais de Confiança: Um Catálogo para Robôs Socialmente Assistivos. In: WER22 - Workshop em Engenharia de Requisitos, Virtual mode, Natal, Brasil (2022)
10. Cysneiros, L., do Prado Leite, J. & de Melo Sabat Neto, J.: A Framework for Integrating Non-Functional Requirements into Conceptual Models. *Requirements Eng* **2**(6), 97–115 (2001)
11. Cysneiros, L., Yu, E. & Leite, J.: Cataloguing non-functional requirements as soft-goal networks. In 11th IEEE Int. Requirements Eng. Conf., pp. 13-20. Monterey Bay, CA, USA (2003)
12. Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Meijers, E., et al.: City-ranking of European medium-sized cities. *Cent. Reg. Sci. Vienna UT* **9**(1), 1–12 (2007)

13. Hernández-Muñoz, J., Vercher, J., Muñoz, L., Galache, J., Presser, M., Hernández Gómez, L. & Pettersson, J.: Smart cities at the forefront of the future internet. In: Domingues, J., et al. (eds.) *The Future Internet*, LNCS 6656, pp. 447–462 Springer, Heidelberg (2011)
14. Ismagilova, E., Hughes, L., Dwivedi, Y. & Raman, K.: Smart cities: Advances in research—An information systems perspective. *International Journal Of Information Management*. **47**, 88-100 (2019)
15. Dwivedi, Y., Wastell, D., Laumer, S., Henriksen, H., Myers, M., Bunker, D., Elbanna, A., Ravishankar, M. & Srivastava, S. Research on information systems failures and successes: Status update and future directions. *Information Systems Frontiers*. **17**, 143-157 (2015,2)
16. ISO/IEC 25010:2011. ISO/IEC 25010 Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models. ISO/IEC 25010:2011(E) (2011)
17. ISO/IEC 29148:2018. ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering. ISO/IEC/IEEE 29148:2018(E), pp. 1-104 (2018)
18. Kitzinger, J.: Qualitative research: introducing focus groups. *Bmj*. **311**(7000), 299-302 (1995)
19. Laudon, K. & Laudon, J.: *Management Information Systems*. International Edition. McGraw-Hill Irwin, New York (2009)
20. Mairiza, D., Zowghi, D. & Nurmaliani, N.: Managing conflicts among non-functional requirements. In: *Australian Workshop On Requirements Engineering*, pp. 11 - 19, University of Technology, Sydney (2009)
21. Mitrzyk, B.: Practical Research Methods for Librarians and Information Professionals. *Journal of the Medical Library Association*. **96**(4), 388 (2008)
22. Nachira, F., Dini, P. & Nicolai, A.: A network of digital business ecosystems for Europe: roots, processes and perspectives. European Commission, Bruxelles, Introductory Paper. **106**, 1–20 (2007)
23. Pawar, M. & Jojo, B.: Indigenous communities’ informal care and welfare systems for local-level social development in India. In: Mohan, B. (eds) *Global Frontiers of Social Development in Theory and Practice*, 189-207. Palgrave Macmillan, New York (2015)
24. Polyakov, R.: Smart cities: competition in the digital ecosystem world. In: 2nd International Scientific conference on New Industrialization: Global, national, regional dimension (SICNI 2018), pp 829-833. Atlantis Press (2019)
25. Silva, R., Castro, J. & Pimentel, J.: Nfr4es: Um catálogo de requisitos nao-funcionais para sistemas embarcados. In: WER20 - Workshop em Engenharia de Requisitos, São José dos Campos, SP, Brasil (2020)
26. Silva, S., Penteado, B., Santos, R. & Fornazin, M.: Towards a Perspective to Analyze Emergent Systems in Health Domain. In: *Health Information Science - 11th International Conference, HIS, Virtual Event*. **13705** pp 217-228 (2022)
27. Souto, M. & Silva, C.: Um catálogo de requisitos pedagógicos para auxiliar o desenvolvimento de Softwares Educacionais. In: *Brazilian Symposium On Computers In Education (Simpósio Brasileiro De Informática Na Educação-SBIE)*, **28**(1), 506 (2017)
28. Zaganelli, b., Nisenbaum, M., Alves, K., et al.: O grupo focal na ciência da informação. *Informação & Sociedade: Estudos*. **25**(3), 37–47 (2015)
29. Zhou, K., Liu, T. & Zhou, L.: Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: *12th International Conference On Fuzzy Systems And Knowledge Discovery (FSKD)*, pp. 2147-2152. IEEE (2015)