

Catálogo de Requisitos para Software Sustentável

Rodrigo Soares V. Teixeira, Karla Donato Fook

Divisão de Ciência da Computação – Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

São José dos Campos, SP – Brazil

Mestrado - Início 19/02/2024 - Término 19/08/2026 - Qualificação 03/06/2025

{rodrigo.teixeira.60959@ga.ita.br, karla@ita.br}

Abstract. *The growing demand for Information and Communication Technology resources has been attracting global attention due to the environmental impacts resulting from this use. Considering that web systems are used to support the execution of processes in various types of companies and institutions, and have an impact on climate issues such as energy consumption, this article presents a proposed requirements catalog to support the development of sustainable software. The text presents the steps for developing the catalog, an example of a requirement in the proposed structure, as well as a future application of the proposed catalog. The video with the aspects covered can be accessed at: <https://youtu.be/8P4aIH6gmzs>.*

Resumo. *A crescente demanda pelo uso de recursos de Tecnologia da Informação e Comunicação vem chamando atenção no cenário global diante dos impactos ambientais decorrentes dessa utilização. Considerando que sistemas web são utilizados para suportar a execução de processos nos diversos tipos de empresas e instituições, e repercutem em questões climáticas como o consumo energético, este artigo apresenta a proposta de um catálogo de requisitos que visa apoiar a construção de softwares sustentáveis. O texto apresenta as etapas para a elaboração do catálogo, um exemplo de um requisito na estrutura proposta, bem como uma futura aplicação do catálogo proposto. O vídeo com aspectos abordados pode ser acessado em: <https://youtu.be/8P4aIH6gmzs>.*

1. Introdução

O setor de Tecnologia da Informação e de Comunicação (TIC) gera entre 3% e 4% de emissões de gases de efeito estufa e grandes volumes de água são aplicados por centros de dados com o objetivo de arrefecimento de equipamentos [Wedy and Iglecia 2024]. Tais informações sugerem a necessidade de atenção extrema por parte das Nações, no que se refere aos impactos ambientais trazidos pelo setor de TIC. Neste sentido, vale destacar que a Presidência da 29ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática (COP29) emitiu declaração sobre “Ação Digital Verde” trazendo diversos objetivos e ações mitigar as alterações climáticas, dentre eles, o incentivo do desenvolvimento e adoção de tecnologias digitais sustentáveis para acelerar a redução de emissões de gases de efeito estufa e a busca pela eficiência energética [International Telecommunication Union 2024].

Com o intuito de caracterizar sistemas, levando em consideração seu consumo de energia, Kipp *et al.* (2021) organizaram uma série de métricas, denominadas “Métricas Verdes”, em quatro grupos sendo um deles o agrupamento de métricas com o foco de

mensuração do impacto energético dos *softwares* aplicativos. Para estes autores “O uso de energia do sistema se refere ao consumo de energia de um sistema executando o aplicativo, incluindo o consumo de energia do sistema de computador, levando em consideração consumo de energia da instalação e infraestrutura, como por exemplo o sistema de refrigeração, os dispositivos de rede, etc.” e, na direção da utilização das métricas, afirmam que “capturar as perdas de energia que podem ser associadas ao código do aplicativo, para que possam ser redesenhadas de uma forma mais eficiente em termos de energia”. Diante o exposto, vale reforçar a pertinência da avaliação da qualidade na implementação do código de um aplicativo para que se tenha um consumo eficiente de energia.

O problema abordado nesta pesquisa considera o impacto ambiental do consumo energético trazido pela evolução da aplicação de recursos de TIC, em especial do uso dos sistemas web, que suportam o processo de transformação das organizações, e leva à questão **“Quais seriam os requisitos de *software* para promover sustentabilidade, em termos de eficiência no consumo de energia, na execução de sistemas *Web*?”**.

Este artigo apresenta a proposta de um catálogo de requisitos que visa apoiar a construção de softwares sustentáveis, mais especificamente aplicações *web*, objetivando a redução de consumo de energia.

2. Fundamentação Teórica

A engenharia de *software* é uma disciplina que trata de todos os aspectos da construção de *software*, desde a especificação até a manutenção, com o intuito de garantir qualidade, eficiência e sustentabilidade no desenvolvimento de sistemas. Ela tem como objetivo aplicar princípios da engenharia para construir *software* confiável e econômico, que funcione eficientemente [Sommerville 2019].

A engenharia de requisitos é uma visão abrangente de tarefas e técnicas que direcionam para a compreensão dos requisitos. Segundo Pressman and Maxim (2021), engenharia de requisitos tem como intuito definir uma base concreta para o projeto e para a construção, e caso seja negligenciada o software produzido possivelmente não atenderá às necessidades do cliente afetando diretamente o resultado do projeto.

Com o aumento da demanda por soluções tecnológicas sustentáveis, surge um novo conceito de requisitos sustentáveis de *software*, que visam considerar aspectos ambientais, sociais e econômicos ao longo do ciclo de vida do sistema. De acordo com Calero *et al.* (2013), requisitos sustentáveis tratam de qualidades não funcionais voltadas à sustentabilidade, como eficiência energética, durabilidade, capacidade de reuso e minimização do impacto ambiental do *software*. Venters *et al.* (2014) propõem que métricas como consumo de energia, eficiência de recursos e tempo de vida útil sejam incorporadas aos modelos de qualidade de *software*. Essas métricas auxiliam no acompanhamento do impacto ambiental dos sistemas e orientam melhorias contínuas em direção à sustentabilidade.

2.1. Trabalhos relacionados

A eficiência energética mede a energia consumida por um determinado sistema. Capra *et al.* (2012) apresentam um método para desenvolver uma medida de eficiência energética para aplicações de *software*, que consiste em um sistema gerador cargas de trabalho para

diferentes aplicações juntamente com um aparato de *hardware* que mede a energia consumida pelo sistema. Para o que se pretende com esta pesquisa é fundamental a construção de um mecanismo de medição para permitir a validação de requisitos que serão propostos. O trabalho de Ahmad Ibrahim *et al.* (2022) destaca a importância de métricas de eficiência energética juntamente com o apoio da liderança e da cultura organizacional. A capacitação das equipes é apontada com aspecto crucial para promover a sustentabilidade no ciclo de vida do *software*. Os resultados fornecem *insights* valiosos para empresas que buscam integrar práticas sustentáveis em seus processos de desenvolvimento de *software*.

O modelo de referência para *software* verde e sustentável apresentado por Kern *et al.* (2013) direcionam o foco do trabalho para o submodelo "Critérios de Sustentabilidade para Produtos de *Software*". Este trabalho propõe o uso de caches de aplicativos para reutilizar objetos criados, reduzindo E/S de disco ou rede e com isso tendo a sinalização de otimização de *software* no consumo médio de energia. Tiwari *et al.* (2023) investigam em seu trabalho os métodos, métricas e ferramentas para avaliar a sustentabilidade de código, com o objetivo de reduzir a pegada ambiental do setor de *software*. O trabalho reforça a importância da conscientização pública, de métricas padronizadas e da integração de práticas sustentáveis ao longo do desenvolvimento de *software*.

Por fim, vale informar que foi realizado o mapeamento sistemático da literatura com o objetivo fornecer uma visão geral da situação atual de pesquisa na área de engenharia de requisitos, e investigar como problemas relacionados ao consumo energético do uso de *softwares* podem ser tratados, ao incorporar métricas verdes aos sistemas *Web*. Para obter respostas para as questões necessárias, foram estruturadas três strings de busca utilizando as plataformas de busca IEEE Xplore e a biblioteca digital denominada SBC OpenLib (SOL), mantida pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC). Ao final, foram recuperados 131 trabalhos.

Após a aplicação dos critérios de exclusão, 25 trabalhos foram selecionados para a continuidade dos estudos. Para cada um dos trabalhos selecionados foi feita a leitura de seu resumo e em seguida atribuída uma nota variando de 0 a 10, com o objetivo de avaliar a aderência de cada trabalho como esta pesquisa. Para limitar ainda mais a seleção dos trabalhos para os estudos, foi definida a nota 7 como corte. Ou seja, apenas os trabalhos que receberam nota 7 ou superior permanecerão como selecionados no escopo desta revisão sistemática da literatura, resultando em 13 trabalhos que atenderam esse critério da nota de corte.

3. Catálogo de Requisitos para softwares sustentáveis

Nesta seção, apresenta-se a proposta para a elaboração do catálogo de requisitos para softwares sustentáveis, destacando os atores envolvidos, a estrutura descritiva e exemplificando um requisito sustentável. Por fim, será descrita uma aplicação futura da abordagem.

O catálogo de requisitos tem como objetivo apoiar o processo de desenvolvimento de *software*, de modo a contribuir para a produção de sistemas mais sustentáveis. Nesse contexto, vários desenvolvedores de *software* podem ter suas atividades impactadas. No que se refere aos analistas de requisitos de *software*, estes podem ser considerados os principais interessados impactados, uma vez que o catálogo de requisitos proposto afeta diretamente a operacionalização de suas atividades cotidianas. Além disso, o catálogo

visa estabelecer padrões que orientam e, em certa medida, direcionam a forma de trabalho desses profissionais.

Para os demais desenvolvedores de *software*, espera-se que o catálogo contribua para a conscientização quanto à necessidade de incorporar requisitos sustentáveis no desenvolvimento de produtos. Uma abordagem relevante para esse público está relacionada aos benefícios esperados de um software desenvolvido de forma sustentável, incluindo ganhos de desempenho.

3.1. Etapas para a elaboração do Catálogo de requisitos

Para a elaboração do catálogo de requisitos sustentáveis, uma sequência de etapas deverá ser realizada. Como pode ser visto na Figura 1, o primeiro passo consiste de uma busca na literatura por métricas relacionadas à sustentabilidade de software. Uma vez identificadas e selecionadas, essas métricas comporão o descritivo dos requisitos, juntamente com os demais parâmetros e regras associados a cada um deles.

Após a formatação dos requisitos em uma estrutura descritiva, serão avaliados mecanismos que incorporem a estrutura dos requisitos do catálogo como um *template* em ferramentas de suporte ao desenvolvimento de software, como o *GitLab*, por exemplo. Por último, será realizada uma análise dos resultados obtidos no desenvolvimento de um novo componente de *software*, com a aplicação dos requisitos sustentáveis previstos no catálogo.

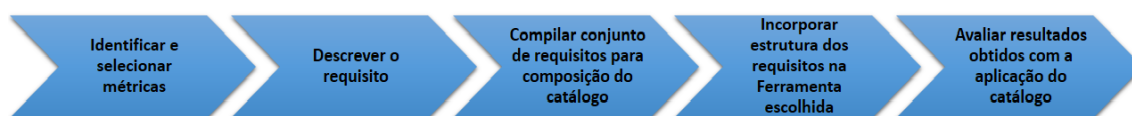


Figura 1. Etapas do processo de construção do catálogo

3.2. Estrutura dos requisitos

O catálogo proposto contará com uma estrutura descritiva para os requisitos para *softwares* sustentáveis. Isto facilitará a incorporação do catálogo em ferramentas de apoio ao desenvolvimento. A seguir temos um requisito não funcional para exemplificar a estrutura dos requisitos.

RNF-01 — Sustentabilidade no Armazenamento de Dados (EXEMPLO)

Descrição: O sistema *web* deverá implementar mecanismos que busquem a sustentabilidade no uso de armazenamento persistente, promovendo a retenção consciente e a eficiência no uso de espaço em disco.

Objetivo: Reduzir a demanda por armazenamento de dados, minimizando o consumo de recursos computacionais e, conseqüentemente, os impactos ambientais associados à infraestrutura digital.

Requisito: O volume total de dados persistidos no banco de dados da aplicação não deverá ultrapassar Y GB. O crescimento mensal médio deverá ser inferior a X%.

Deverão ser adotadas práticas como:

- Exclusão automatizada de dados obsoletos ou inativos;

- Compactação de dados estruturados;
- Uso de formatos leves e eficientes de serialização;
- Expiração ou versionamento controlado de conteúdos estáticos.

Critérios de Aceitação:

- CA.1 - O sistema deverá executar rotinas automatizadas de limpeza de dados obsoletos;
- CA.2 - Logs das exclusões e arquivamentos deverão ser registrados e mantidos por no mínimo 90 dias;

Auditorias Recomendadas:

- Auditoria Mensal de Armazenamento (geração automática de relatórios)
 - Volume total atual (em GB)
 - Crescimento percentual mensal
 - Número de registros excluídos no período

Métricas Associadas:

- M.1 - Volume total de dados armazenados (GB);
- M.2 - Crescimento percentual mensal de dados (%);
- M.3 - Quantidade de registros excluídos automaticamente por mês;

Destaca-se que a estrutura descritiva dos requisitos foi inspirada na organização dos artefatos conhecidos como Histórias de Usuário, presentes nos projetos de desenvolvimento de software na instituição na qual trabalho.

3.3. Aplicação dos requisitos sustentáveis ao Sistema Eletrônico de Informações

Como prova de conceito, após a elaboração do catálogo de requisitos, este será utilizado na proposta de um novo componente de *software* a ser construído. O intuito é que esse novo componente de *software* ou um conjunto de funcionalidades sejam aplicadas ao Sistema Eletrônico de Informações (SEI).

O Sistema Eletrônico de Informações (SEI) é um sistema de gestão documental desenvolvido pelo Tribunal Regional Federal da 4ª Região (TRF4). O sistema viabiliza que toda a gestão de processos administrativos aconteça no meio eletrônico, e até junho de 2023 o sistema já era utilizado por mais de 120 órgãos do Governo Federal [TRF4 2023]. Com uma implementação flexível, o SEI permite que módulos específicos sejam desenvolvidos e acoplados a ele agregando novas funcionalidades ao sistema. Essa é a característica do sistema que se pretende explorar para viabilizar a construção de novos componentes de *software* sustentáveis aplicando o catálogo de requisitos em elaboração neste trabalho de mestrado.

4. Considerações

Com base nos estudos realizados, foi possível identificar na literatura um apelo presente em diversos trabalhos, no que diz respeito a ausência de pesquisas voltadas para sustentabilidade de *software*, e o enorme volume de iniciativas voltadas para sustentabilidade em *hardware*. Este fato pode ser visto como uma oportunidade para o desenvolvimento de

pesquisas voltadas para sustentabilidade de *software*, mas também pode ser um dificultador para que pesquisadores encontrem respostas na literatura.

Como uma das contribuições deste mestrado, o catálogo de requisitos aqui proposto e em elaboração, terá como diferencial, a entrega de um conteúdo escalável e flexível, permitindo sua aplicação em diversos projetos de *software*. Para viabilizar aplicação de forma sistematizada e simplificada, a estrutura de requisitos trabalhados poderá ser acoplada a ferramentas como o *GitLab*. A utilização do catálogo no processo de desenvolvimento de um módulo com novas funcionalidades em um sistema já em produção servirá como prova de conceito para a verificação de viabilidade do catálogo de requisitos para *softwares* sustentáveis.

Referências

- Ahmad Ibrahim, S. R., Yahaya, J., and Sallehudin, H. (2022). Green software process factors: A qualitative study. *Sustainability*, 14(18).
- Calero, C., Moraga, M., and Bertoa, M. F. (2013). Towards a software product sustainability model. *Informatica (Ljubljana)*, 37(3):213–220.
- Capra, E., Francalanci, C., and Slaughter, S. A. (2012). Is software “green”? application development environments and energy efficiency in open source applications. *Information and Software Technology*, 54(1):60–71.
- International Telecommunication Union (2024). COP29 Declaration on Green Digital Action. <https://www.itu.int/initiatives/green-digital-action/events/cop29/declaration/>. Acessado em: 06 de janeiro de 2025.
- Kern, E., Dick, M., Naumann, S., Guldner, A., and Johann, T. (2013). Green software and green software engineering—definitions, measurements, and quality aspects. In *First International Conference on Information and Communication Technologies for Sustainability (ICT4S2013)*, 2013b ETH Zurich, pages 87–91.
- Kipp, A., Jiang, T., and Fugini, M. (2011). Green metrics for energy-aware it systems. In *2011 International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems*, pages 241–248.
- Pressman, R. S. and Maxim, B. R. (2021). *Engenharia de software-9*. McGraw Hill Brasil.
- Sommerville, I. (2019). *Engenharia de Software*. Pearson Addison-Wesley, São Paulo, 10 edition.
- Tiwari, R., Thombre, S., Patel, D., Tilokani, K., and Amritkar, S. (2023). Evaluating code sustainability: A comprehensive study of metrics and tools. In *2023 IEEE Engineering Informatics*, pages 1–7.
- TRF4, T. R. F. (2023). Trf4 e governo federal retomam parceria para desenvolvimento colaborativo do sei. https://www.trf4.jus.br/trf4/controlador.php?acao=noticia_visualizar&id_noticia=27183. Acesso em: 23 fev. 2025.
- Wedy, G. and Iglecia, P. (2024). Inteligência artificial e aquecimento global. In *Direito e Inteligência Artificial: Perspectivas para um Futuro Ecologicamente Sustentável*, pages 13–33. Casa Leiria.