



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E MATEMÁTICA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO



Throttling como alternativa para incremento da Disponibilidade em Energy Drive IoT com capacidade de Coleta Energética

Paulo Henrique de Queiroz Lopes

Natal-RN
Fevereiro de 2024

Paulo Henrique de Queiroz Lopes

**Throttling como alternativa para incremento da
Disponibilidade em Energy Drive IoT com capacidade
de Coleta Energética**

Qualificação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sistemas e Computação do Departamento de Matemática Aplicada da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas e Computação.

Linha de Pesquisa:

Sistemas Integrados e Distribuídos

Orientador

Prof. Dr. Gibeon Soares de Aquino Junior

UFRN – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

DIMAP – DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E MATEMÁTICA APLICADA

CCET – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

PPGSC – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

Natal-RN

Fevereiro de 2024

Qualificação de Mestrado sob o título *Throttling como alternativa para incremento da Disponibilidade em Energy Drive IoT com capacidade de Coleta Energética* apresentada por Paulo Henrique de Queiroz Lopes e aceita pelo Programa de Pós-graduação em Sistemas e Computação do Departamento de Informática e Matemática Aplicada da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, sendo aprovada por todos os membros da banca examinadora abaixo especificada:

Prof. Dr. Gibeon Soares de Aquino Junior
Orientador
Departamento de Informática e Matemática Aplicada
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Título e nome do professor
Examinador
SIGLA – Instituição
SIGLA – Instituição

Título e nome do professor
Examinador
SIGLA – Instituição
SIGLA – Instituição

Título e nome do professor
Examinador
SIGLA – Instituição
SIGLA – Instituição

Texto de dedicatória. asdasdasdasdas

Agradecimentos

Agradeça a quem você desejar e da forma que você desejar. Este espaço pertence ao aluno e deve ter sua livre expressão de gratidão a quem desejar.

“Not all those who wander are lost.”

J. R. R. Tolkien

Throttling como alternativa para incremento da Disponibilidade em Energy Drive IoT com capacidade de Coleta Energética

Autor: Paulo Henrique de Queiroz Lopes

Orientador: Prof. Dr. Gibeon Soares de Aquino Junior

Resumo

resumo do trabalho em português.

Palavras-chave: palavra_1; palavra_2; palavra_3.

Research Title in English

Author: Aluno da Silva

Supervisor: Título e nome do seu orientador

Abstract

Research abstract fully in English.

Keyword_s: Word_1; Word2; Word_n.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama de blocos subsistema energético para operação neutro-energética.	17
Figura 2 – Dinâmicas de operação com coleta de energia	17
Figura 3 – Throttling pode ser aplicado uma vez estabelecidos critérios de prioridade de operações	19
Figura 4 – Aqui vou colocar uma figura apresentando os dois grupos da taxonomia	24
Figura 5 – Aqui vou colocar uma figura da taxonomia proposta	25
Figura 6 – Representação de Node Provedor.	26
Figura 7 – Aqui vou colocar uma figura power-neutral	29
Figura 8 – Aqui vou colocar uma figura energy-neutral	29
Figura 9 – Aqui vou colocar uma figura A e B com as diferentes atuações do limiar.	33
Figura 10 – Aqui vou colocar uma figura sobre entrada energética e ciclo de carga. .	33
Figura 11 – Etapas do Estudo Experimental.	39
Figura 12 – Dinâmica do Node Provedor.	41
Figura 13 – Máquina de estados do Node.	43
Figura 14 – Componentes do Node Provedor.	45
Figura 15 – Componentes do Node Provedor.	47
Figura 16 – Dashboard para visualização dos resultados.	47

Lista de tabelas

Tabela 1 – Valor disponibilizado por entrada	44
--	----

Lista de Abreviaturas

API *Application Programming Interface*

BTI Bacharelado em Tecnologia da Informação

SLA *Service Level Agreement*

IoT *Internet of Things*

RFID *Radio Frequency IDentification*

EN *Energy-Neutral Operation*

PNO *Power-Neutral Operation*

EHS *Energy Harvesting System*

QoS *Quality of Service*

WSN *Wireless Sensor Networks*

Sumário

	Sumário	11
	Capítulo 1	13
1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Aqui vai uma seção da Introdução	13
1.2	Sobre o L^AT_EX	13
	Capítulo 2	13
2	CONCEITOS RELACIONADOS	14
2.1	Internet das Coisas	14
2.2	<i>Energy-Driven Computing</i>	16
2.2.1	<i>Operação Neutra-Energética</i>	16
2.2.2	<i>Operação Power-Neutral</i>	18
2.3	<i>Throttling</i>: Padrão de Comportamento em Ambientes Distribuídos	18
2.3.1	Considerações	19
2.4	Taxonomia	20
2.5	Considerações Finais	22
	Capítulo 3	22
3	REVISÃO DO ESTADO DA ARTE	23
	Capítulo 4	23
4	TAXONOMIA	24
4.1	Organização	24
4.2	Taxonomia Proposta	25
4.3	Agentes IoT	25
4.3.1	Node Provedor	26
4.3.2	Node Cliente	27
4.4	Operações	27
4.5	Recursos Energéticos	27
4.5.1	Capacidade de Coleta	28
4.5.2	Capacidade de Armazenamento	30
4.6	<i>Throttling</i>	31
4.6.1	Atuação: Limiar, Ciclo de Carga, Observáveis e Meios	32

4.6.1.1	Meios	34
4.6.2	Motivadores	36
Capítulo 5		37
5	GUIDELINES	38
Capítulo 6		38
6	ESTUDO EXPERIMENTAL	39
6.1	Metodologia	39
6.2	Idealização	40
6.3	Definição da variáveis independentes e Dispositivos.	43
6.3.1	Dispositivos	44
6.4	Instrumentalização.	46
6.5	Execução.	48
6.6	Avaliação.	48
Capítulo 7		48
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS		50
ANEXOS		53
ANEXO A – TITULO DESTE ANEXO		54

1 Introdução

Neste capítulo serão colocados textos de exemplo ou indicações para a *contrução* de uma Dissertação de mestrado em LaTeX. Uma parte será voltada à estrutura do documento e questões específicas relacionadas à ciência, e outra será dedicada a comandos simples e “tricks” usados na construção do meu documento original.

Todo este template é apenas uma modularização e tentativa de simplificação do modelo disponível em <https://github.com/abntex/abntex2/wiki/Download>. Caso eu esqueça ou algum detalhe passe em branco, a dissertação inteira está disponível em <https://v1.overleaf.com/read/gpkgdnttndgf>.

1.1 Aqui vai uma seção da Introdução

1.2 Sobre o \LaTeX

2 Conceitos Relacionados

Este capítulo aborda os conceitos e técnicas que proporcionam a compreensão dos capítulos a seguir. Na Seção 2.1, apresento a visão geral sobre Redes IoT e dispositivos que compõe o alvo das iniciativas propostas. A Seção 2.2 introduz o conceito da computação dirigida aos fatores energéticos, tema originador do trabalho. Por sua vez, na Seção 2.3 encontram-se os conceitos ligados ao padrão throttling, seus objetivos e aplicação. A intenção de uso de um modelo taxonômico esta fundamentada na Seção 2.4. Ao fim, na Seção 2.5 estão descritas as considerações ao capítulo.

2.1 Internet das Coisas

O termo IoT - Internet das Coisas (*Internet of Things*), foi proposto inicialmente por ASHTON (1999), e descreve a capacidade de objetos físicos estarem interconectados por meio da internet, viabilizando seus processos de coleta e compartilhamento de dados. Atualmente, a quantidade de dispositivos interconectados cresce diariamente em números impressionantes (LUND et al., 2014) uma breve observação da vida diária comprova que nunca tivemos tantos dispositivos inteligentes ao nosso redor, com diversas projeções sendo criadas a respeito da quantidade de elementos interconectados.

Possibilitando a comunicação entre dispositivos, redes inteligentes podem ser controladas remotamente e automatizadas para realizar tarefas específicas. Essas características favorecem uma variedade de aplicações, incluindo monitoramento, gerenciamento de recursos, saúde digital, cidades inteligentes, agricultura de precisão, e o desenvolvimento de novas aplicações (MIORANDI et al., 2012; ASGHARI; RAHMANI; JAVADI, 2019).

No entanto, com essa capacidade aprimorada, novos desafios são encontrados à medida que novas aplicações aproveitam suas potencialidades, resultando em soluções mais amplas e aprimoradas a passo que crescem em complexidade. Por exemplo, o aumento do numero de dispositivos interconectados exige uma abordagem mais sofisticada para gerenciamento e segurança em decorrência da massiva quantidade de dados gerados e compartilhados, em paralelo, a interoperabilidade dos sistemas atingem maior importância a medida que o ecossistema das Redes IoT se expande.

Na revisão proposta em (ASGHARI; RAHMANI; JAVADI, 2019), podemos caracterizar os elementos presentes na IoT, e, entre outros fatores, de acordo com as seguintes capacidades:

1. Capacidade de auto-adaptação: Dispositivos e sistemas IoT precisam ser capazes de

dinamicamente adaptar-se mudando seu contexto e tomando ações motivadas nas suas condições de operação e contexto de uso. Considerando um sistema de monitoramento de ambientes com câmeras, estas podem adaptar seu modo de operação (com e sem iluminação suficiente) baseando se está de dia ou noite (DOUMENIS; MASKLAVANOS; TSIAPALI, 2022).

2. Capacidade de auto-configuração: Dispositivos carregam a capacidade de auto configuração, permitindo que dispositivos atuem em conjunto para prover alguma funcionalidade. Estes podem configurar a si mesmo (associado a infraestrutura provida).
3. interoperabilidade entre protocolos: Dispositivos IoT podem suportar diversos protocolos de comunicação com outros elementos e infraestrutura.
4. Consciência de Contexto: Uma vez imerso no meio físico, dispositivos podem adquirir conhecimento a respeito das características que o cerca. As decisões tomadas posteriormente podem levar em consideração esses aspectos (YANG et al., 2014).

Neste quesito, os aspectos ligados aos fatores energéticos também se destacam, sobretudo quando estão relacionados aos desafios de manter dispositivos operando eficientemente e de maneira sustentável (ALBREEM et al., 2017). Questões ligadas a eficiência energética, autonomia e a busca de fontes alternativas de suprimento energético bem como a capacidade dos dispositivos em lidar com tais fatores são pontos fundamentais a se pensar.

Restrições energéticas permanecem como um dos principais temas, desafio que afeta a performance e disponibilidade de elementos nas redes IoT. Atualmente, as soluções mais promissoras para tal são os esforços na gerencia de energia (SINGH; KAUR; SINGH, 2020). Em alguns cenários, a solução mais adequada para estas questões passa pela ação de coletar energia do meio onde o dispositivo esta inserido. Segundo (KANSAL et al., 2007), um *Energy Harvesting System* (EHS) ou Sistema de Coleta Energética é o dado sistema complexo capaz de captar energia do ambiente que se encontram convertendo para seu uso.

Desde modo, dispositivos encontrados em tal cenário carregam em suas características fundamentais a necessidade de lidar com os aspectos energéticos, como proposto por KANSAL et al. (2007). Sobretudo com a capacidade de coleta energética, algumas estratégias podem ser tomadas com base nas características embarcadas nos dispositivos, pois em tal cenário precisam ser projetados com a capacidade de autoadaptação, permitindo ajustar-se dinamicamente em acordo com as condições encontradas, demandas operacionais e oferta energética. A consciência de contexto aqui permite a eles compreender e responder às mudanças no ambiente circundante, adaptando-se ou reconfigurando-se proativamente

para operar adequadamente frente as condições encontradas. Essas capacidades combinadas com seu sistema de coleta de energia habilita que dispositivos IoT possam gerenciar seus aspectos energéticos de maneira inteligente e responsiva, otimizando seu desempenho enquanto minimizam o consumo de energia buscando perpetuar-se disponível, desde que projetado para tal, contribuindo sobretudo para eficiência geral dos sistemas IoT.

2.2 *Energy-Driven Computing*

Um sistema dirigido à energia (*Energy-Driven*) é todo aquele que os fatores energéticos intrínsecos a ele são tratados como primários, desde concepção, gerenciamento e sua operação (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017). Computação dirigida a estes fatores, ditos energéticos, deve considerar fundamentalmente a disponibilidade energética pois precisam carregar a capacidade de adaptação as dinâmicas de captação de energia. Este paradigma tem como objetivo evidenciar as características energéticas, em potencial a respeito de dispositivos que por quaisquer motivos, não podem estar conectados diretamente em uma infraestrutura capaz de fornecer energia virtualmente ilimitada.

Para tal, caso necessário, dispositivos podem operar coletando recursos disponíveis no ambiente. Coleta de energia refere-se a capacidade de um dispositivo em capturar e converter recursos energéticos do meio e converte-los de modo a prolongar sua vida útil mitigando um cenário de escassez energética (SUDEVALAYAM; KULKARNI, 2011).

Ainda, no trabalho de SLIPER et al. (2020) é importante destacar como os mecanismos de coleta energética e sua dinâmica são dispostos. É proposto uma organização em três categorias distintas: Neutra-Energética *Energy-Neutral Operation* (EN), Neutra-Força ou Neutra em Consumo *Power-Neutral Operation* (PNO) e por fim, Operações Intermitentes.

2.2.1 Operação *Neutra-Energética*

Uma operação neutra-energética cobre as dinâmicas dos sistemas com coleta de energia do ambiente por meio de um *buffer*, uma bateria recarregável ou super capacitor capaz de armazenar parte da energia coletada (KANSAL et al., 2007). Este recurso se encontra disposto entre a entrada energética e sua demanda, atuando secundariamente quando a energia disponibilizada não seria suficiente para manter seus critérios de qualidade de serviço *QoS*.

Apesar de inicialmente ser previsto um cenário de uso onde apenas a fonte energética e o dispositivo estivessem presentes, é comum o fato dos mecanismos que buscam esse tipo de operação recorrer a presença deste componente intermediário capaz de armazenar energia e disponibiliza-la para uso. Sendo assim, na Figura 1 temos a visão geral em blocos de um subsistema responsável pelos recursos energéticos.

Figura 1 – Diagrama de blocos subsistema energético para operação neutro-energética.



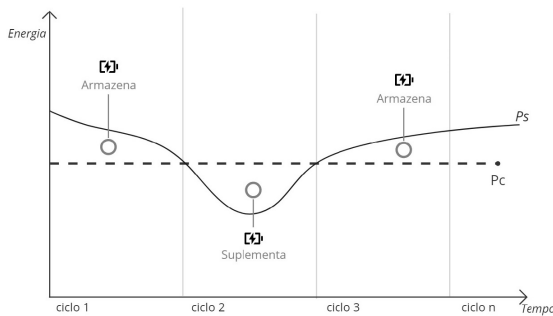
Fonte: adaptado de SUDEVALAYAM; KULKARNI (2011)

A visão do cenário acima proporciona ao node a capacidade de manter seus níveis de operação, abstraindo em algum nível as variações de energia coletada. Pois seja $P_s(t)$ a entrada energética em dado momento e $P_c(t)$ a energia consumida nos ciclos de carga, é possível encontrar a dinâmica apresentada na Figura 2a, em momento de abundancia energética o node pode armazenar a energia que supera a quantidade necessária para sua operação em decorrência de que em momentos de escassez, possa fazer uso dessa energia suplementando sua necessidade.

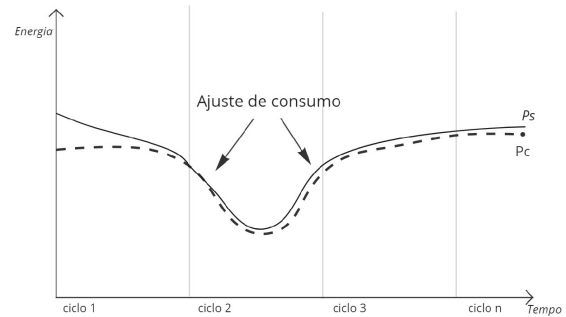
Operações neutro-energéticas carregam dois princípios que são apresentados no trabalho seminal (KANSAL et al., 2007): Manter-se operacional mesmo em cenários onde a quantidade de energia coletada fosse durante muito tempo, inferior ao necessário e como garantir que, encontrado em um ambiente de coleta seja possível obter performance esperada tolerando variações da energia coletada.

Figura 2 – Dinâmicas de operação com coleta de energia

(a) Operação com buffer intermediário.



(b) Operação Power-Neutral.



Fonte: elaborado pelo autor.

Sendo assim, uma operação neutro-energética implica em manter sua performance durante os ciclos de trabalho garantindo que o node não sofra por esgotamento energético. Busca-se perpetuar sua operação mediante uso da reserva energética ou adaptação motivada a expectativa de recurso futuro (SUDEVALAYAM; KULKARNI, 2011). Desta forma, o dispositivo favorecido pode prolongar sua operação mesmo em decorrência da indisponibilidade ou insuficiência de fonte energética.

É importante destacar que este modo de operação serviu como base para diversos avanços em computação dirigida a energia sobretudo em redes constituídas tipicamente com sensores embarcados, autônomos e distribuídos espacialmente, *Wireless Sensor Networks* (WSN). Além disso, os conceitos de operação-neutra e a teoria de coleta energética

foram fundamentais para o que posteriormente foi detalhado em referencia ao seminal (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017), introdutório ao modelo *Power-Neutral Operation* (PNO).

2.2.2 Operação *Power-Neutral*

A capacidade de um dispositivo em coletar energia do ambiente apresenta diversos desafios, especialmente em relação ao processo de coleta, transformação e uso, bem como à previsibilidade da oferta de energia. A abordagem ilustrada na Figura 1 é típica de um sistema que utiliza um buffer intermediário, com o objetivo de operar semelhante a um sistema tipicamente alimentado por baterias, onde as condições energéticas são resumidas apenas pela condição da reserva energética disponível. No entanto, em muitos casos, os componentes adicionais necessários para garantir essas características aumentam custos, volume e complexidade, podendo resultar em comportamento não confiável se mal projetados.

De acordo com MERRETT; AL-HASHIMI(2017), os esforços para projetar sistemas com capacidade de coleta de energia devem agora considerar casos onde não é possível incluir um componente de armazenamento energético intermediário. Portanto, os sistemas nessas condições devem buscar o modo intermitente ou mesmo *Power-Neutral*, conforme ilustrado na Figura 2b.

A Operação *Power-Neutral* envolve adaptar o consumo de energia do dispositivo para manter sua operação de acordo com os recursos disponíveis, minimizando ou até mesmo eliminando a necessidade de armazenamento intermediário de energia (SLIPER et al., 2020). No entanto, é importante observar que, se a energia coletada for inferior ao mínimo necessário, o dispositivo entrará em um estado de esgotamento, podendo hibernar caso caracterizado por uma abordagem intermitente (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017).

2.3 *Throttling*: Padrão de Comportamento em Ambientes Distribuídos

Como ponto de partida, é preciso destacar a importância da adoção dos ditos padrões *patterns*, especialmente aplicados em sistemas distribuídos. Tais soluções carregam aspectos intrínsecos à experiência adquirida mediante a recorrência de soluções frente à heterogeneidade de problemas que corrigem, formando o conjunto de atuação onde um ou mais padrões de solução emergem como resposta. Endossado pelo trabalho de BURNS (2018) e no cenário de computação distribuída, é observado que apesar da diversidade de possibilidades para um sistema qualquer, a maneira como é concebido, desenvolvido e por consequência os problemas encontrados sobretudo quanto aspectos não funcionais

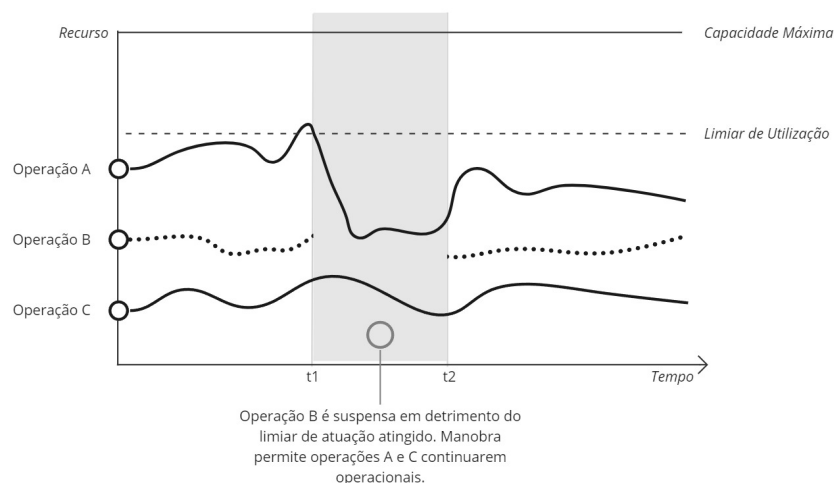
como escalabilidade, confiabilidade ou disponibilidade são notavelmente recorrentes e semelhantes.

O proposito de adotar o padrão Throttling é fazer com que dado sistema alvo mantenha seus níveis de consumo abaixo de um determinado termo, limiar. Assim, conservando seus recursos disponíveis que de outra forma seriam disponibilizados para solicitantes excessivamente demandantes. Além de proteger-se do comportamento inadequado dos agentes envolvidos, é preciso ter em mente que eventualmente um sistema pode encontrar-se tendo de lidar com picos de operações, cenário propício a falhas ou até mesmo interrupção integral do serviços.

Ambientes IoT representam um domínio onde esse padrão pode ser bastante necessário dado a dinâmica de dispositivos desconhecidos e novos sistemas que podem ser adicionados a um ambiente. Throttling pode ser implementado segundo algumas estratégias elencadas por MARTINEKUAN (2019):

- Rejeitando requisições de um agente excessivamente solicitante.
- Desabilitando ou degradando componentes ligados a operações menos essenciais.
- Estabelecendo níveis de prioridade para os agentes solicitantes, onde requisições de níveis menos prioritários podem ser suspensas ou limitadas em detrimento de outra com mais privilégio, durante algum tempo, conforme Figura 3.

Figura 3 – Throttling pode ser aplicado uma vez estabelecidos critérios de prioridade de operações



Fonte: adaptado de MARTINEKUAN (2019)

2.3.1 Considerações

Assim como outros padrões aplicados a sistemas distribuídos, existem uma série de considerações a serem tomadas mediante a decisão de implementar um mecanismo de

throttling, (MARTINEKUAN, 2019) aponta alguns tópicos que possibilitam a análise de conformidade face aos problemas e necessidades ao adotar o padrão.

Utilizar mecanismos de throttling passam por decisões arquiteturais de como o dispositivo vai se comportar. Por isso, deve-se levantar primariamente seu uso nos estágios iniciais de concepção do dispositivo ou sistema.

Um vez estabelecido, caso limiar de atuação seja atingido, os mecanismo de throttling deve ser acionado em conformidade, e uma vez restabelecido ao seu estado regular de atuação, permitir o retorno as capacidades do dispositivo.

É interessante padronizar os retornos dados as solicitações negadas ativamente pela ação do throttling, dando condições do agente solicitante em tomar a melhor decisão entre refazer a solicitação ou aguardar momento oportuno.

Dispositivos capazes de adaptar-se mediante quaisquer fatores devem ter seu comportamento refletido no mecanismo de throttling, preferencialmente em tempo de execução. Eventualmente um cenário onde amparado por uma condição do dispositivo seria tolerado pode não ser mais, o movimento inverso também é valido, condições não toleradas podem passar a ser, mediante evento motivador.

2.4 Taxonomia

Taxonomia refere-se a um sistema de classificação e organização. Seu modelo consiste em sistematicamente apresentar os elementos de um campo de estudo, categorizados e por conseguinte classificados de modo a apresentar os elementos dispostos em estrutura adequada.

O mapeamento sistemático apresentado por USMAN et al. (2017), trata dos métodos e da aplicação de taxonomias em campos da engenharia de software. O procedimento classificação define como as instâncias de um tema podem ser atribuídos a classes ou categorias. Para uma taxonomia, tais elementos podem estar relacionados e dependentes entre si. Por sua vez, é possível classificar de duas maneiras: Quantitativamente, onde os procedimentos de classificação são baseados em escalas numéricas ou Qualitativa onde uma escala nominal que expresse a categoria será utilizada. Sua estrutura, poderá ser dividida em quatro visões de descobrimento do conhecimento (KWASNIK, 1999).

Hierárquica, aqui a taxonomia é estruturada como uma única classe superior (superclasse) que abrange suas subclasses e sequencialmente as possíveis extensões destas, formando um encadeamento hierárquico entre os elementos desde o originário até os derradeiros derivados. Este modelo procura garantir a exclusão mutua entre os envolvidos além do aspecto de relacionamento hereditário, por isso não é recomendado em situações onde uma pesquisa precisa incluir múltiplos e diversos critérios de diferenciação. Por fim,

o autor considera que para esta representação é mandatório bom conhecimento sobre o assunto a ser classificado., pois suas classes e critérios de separação precisam ser conhecidos desde o início.

Árvore similar ao modelo hierárquico, todavia em uma estrutura árvore não existe um relacionamento do tipo herança. Aqui, o tipo de classificação que busca-se é a relação causa-efeito, processo-produto ou parte-todo. Pode-se usar a estrutura árvore para mostrar a decomposição de um tema em seus aspectos. Por exemplo, a representação em árvore parte-todo do relacionamento entre um país, seus estados e por fim, municípios. Estruturas árvores e hierárquicas compartilham das mesmas limitações.

Paradigma, conduz a taxonomia para a capacidade de um relacionamento bi-direcional entre as classes estas, por sua vez, podem ser descritas pela combinação de dois atributos. Uma proposta de visualização para taxonomias desse tipo é a capacidade de expressar-se com matrizes bi-dimensionais cujo seus vértices apresentam os atributos de interesse.

Facetada, esta estrutura taxonômica permite observar os assuntos classificados sob múltiplas perspectivas (facetadas). O indicador fundamental em utilizar uma análise facetada é a necessidade de visualizar mais de uma perspectiva de uma entidade complexa. Cada faceta é independente e pode ter suas próprias classes, permitindo a evolução de cada uma dentro da sua perspectiva. Análise facetada é adequada para campos de conhecimento relativamente novos em constante evolução, dado que não é necessário ter o completo conhecimento do objeto de estudo. Em todo caso, pode ser desafiador encontrar o conjunto inicial de facetadas para a taxonomia de modo que sejam independentes e sem aparente relacionamento significativo entre as facetadas.

Em (ŠMITE et al., 2014), o autor indica três mecanismos como validadores de uma taxonomia: a demonstração ortogonal de perpendicularidade e dimensões das classes é demonstrada; análise de desempenho (*Benchmarking*), em que a taxonomia pode ser comparada com outros esquemas de classificação similares; e, por fim, a demonstração de utilidade, validada por estudo de caso ou experimentação.

O entendimento sobre qual visão utilizada para construção de uma taxonomia é crucial, pois impacta diretamente na sobre a maneira como representar classes e interações. Quanto à aplicação prática para Engenharia de Software, ao adotar o uso de uma taxonomia proporciona os agentes facilitadores para atividades de classificar e organizar o conhecimento de uma determinada área (USMAN et al., 2017), auxiliando no desdobramento do objeto de estudo, elucidação e identificação de oportunidades e trabalhos futuros.

2.5 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados os conceitos relacionados que indicam o apoio teórico necessário para a construção do trabalho. Assim, a Seção 2.1 apresenta uma introdução à IoT em destaque para relação com a problemática das restrições energéticas e os mecanismos de coleta energética. A seguir, na Seção 2.2 são descritos os principais modos de operação para computação dirigida a energia *Energy-Drive Computing*. Posteriormente, Seção 2.3 trás o agente motivador para uso de padrões utilizados em sistemas distribuídos, em específico Throttling, como um artefato adequado para controle de comportamento dos dispositivos mediante mudança de contexto. Por último, a Seção ?? destacou os propósitos de uma taxonomia e explicou como essa abordagem pode ser útil para organizar um conhecimento e identificar áreas de pesquisa importantes.

3 Revisão do Estado da Arte

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

4 Taxonomia

Seguindo a análise dos trabalhos mencionados no Capítulo 3, verifica-se a necessidade de classificar dos conceitos mais recorrentes atrelados ao uso do padrão *throttling* em redes IoT com dirigidas energética. Além disso, é preciso levar em consideração a orientação do trabalho junto aos critérios de disponibilidade definidos por (AVIZIENIS et al., 2004), base para categorização dos elementos propostos nesta taxonomia.

4.1 Organização

Inicialmente, as classes foram distribuídos acomodando os elementos envolvidos de acordo com os critérios que os definem, a seguir, conforme apresenta a Figura 4.

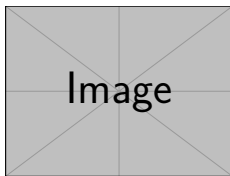


Figura 4 – Aqui vou colocar uma figura apresentando os dois grupos da taxonomia

Nas ramificações à esquerda, encontram-se categorias que representam as características principais relacionadas aos elementos presentes em ambientes *Internet of Things* (IoT) com restrições significativas de energia. Em (KANSAL et al., 2007) percebeu-se a necessidade de classificar estes elementos como pertencentes a uma relação de compartilhamento dos recursos disponíveis, sensores, atuadores e até mesmo os energéticos. Para isto, na taxonomia de (AVIZIENIS et al., 2004) há uma divisão clara entre os agentes envolvidos e sua natureza em dois agrupamentos principais: um grupo denominado usuários ou clientes, que atua ativamente ou de forma passiva solicitando recursos ou quando notificado, consumindo os estados ofertados do segundo grupo, os provedores. Aos nodes provedores, cabe a responsabilidade de compartilhar seus recursos com os nodes consumidores através de uma interface conhecida de acordo com o protocolo de comunicação pré-estabelecido entre as partes.

Toda interação deve seguir um padrão de operação, esta é realizada de acordo com o qual se destina, como visto no trabalho de (KHAIRNAR; MEHTA, 2015) é apresentado uma operação como a medida pelas quais mensagens são trocadas entre nodes para um determinado fim. Sendo assim, os elementos classificadores encontrados são: *Agentes*, *Recursos* e *Operações*.

Ademais, à direita, acomoda-se os elementos envolvidos no processo de adequação do comportamento da de um node através da adoção do padrão *Throttling*. Nesta, dois

ramos principais são apresentados, *Atuação* e *Implementação* respectivamente. Sobre *Atuação*, agrupa-se os elementos envolvidos no processo de controle do consumo dos recursos do node: *Limiar - Thresholding*, *Ciclos de Carga* e *Meios* estado diretamente relacionados à ação de limitar a taxa de resposta dos serviços, (KHAIRNAR; MEHTA, 2015), (KHAN et al., 2015) e (SUDEVALAYAM; KULKARNI, 2011) abordam questões que podem particularmente serem observadas para os elementos orientados energeticamente. A *Implementação* é sugerida de maneira à assegurar que os critérios *Observáveis* e seus *Motivadores* sejam agentes orientadores no processo de restrição às operações e incremento da disponibilidade do node.

4.2 Taxonomia Proposta

A Figura apresenta em resumo a taxonomia proposta e os pontos abordados no processo de uso do padrão *throttling* como alternativa para garantir disponibilidade nos nodes presentes em uma rede **IoT** dirigida a energia. O objetivo principal é dispor os elementos ligados ao tema de maneira visual e contemplar a organização dos tópicos envolvidos. Com isso, obter:

1. Visão sobre os elementos envolvidos em uma rede **IoT** dirigida a energia e apresentar o *Throttling* como mecanismo regulador do comportamento observando suas características energéticas;
2. Organizar as classes de conhecimento relacionadas acomodando-as de acordo com o contexto de inserção;
3. Suporte às definições de uso do padrão *Throttling* ligados ao contexto de redes **IoT** dirigida a energia.



Figura 5 – Aqui vou colocar uma figura da taxonomia proposta

A taxonomia detalhada apresenta suas classes nos termos em que foram encontrados na literatura dentro contexto de estudo, conforme Figura 5.

4.3 Agentes **IoT**

Cada agente é essencialmente uma entidade que tem a capacidade intrínseca de interagir com outros agentes digitais ou físicos. Eles possuem propriedades fundamentais,

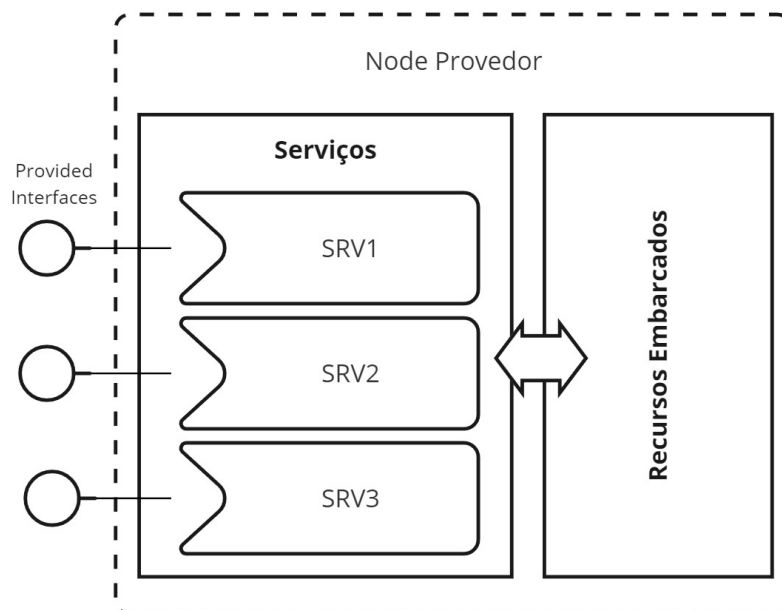
como funcionalidade, desempenho, confiabilidade e segurança (AVIZIENIS et al., 2004). No contexto da Internet das Coisas (IoT), é crucial considerar sua capacidade de se comunicar com outras entidades, atuando em conjunto através do compartilhamento de recursos, características embarcadas nos dispositivos (ASGHARI; RAHMANI; JAVADI, 2019).

4.3.1 Node Provedor

Em qualquer instância em que um node computacional oferece um estado ou responde a uma solicitação de recurso, ele assume o papel de provedor. Geralmente, um node desse tipo pode oferecer uma ou mais funcionalidades por meio de serviços, cada uma sendo atendida pelo uso de seus recursos enquanto avança em seus estados internos em busca de fornecer uma resposta à interação. O resultado disto será percebido como estado externo, acessível por meio de uma interface provida na forma de eventos ou como resposta às solicitações motivadores por meio de nodes clientes.

Um Serviço, representa ao node provedor a maneira como o mesmo lida com seus recursos embarcados. Estes serviços motivam a dinâmica de mudanças de estado internos. Por exemplo, tomemos um sistema de iluminação publica que solicita a seus dispositivos alimentados por baterias e dispostos em um ambiente, para que acionem um recurso do tipo lampada em razão da detecção de movimento no mesmo ambiente onde o node provedor está inserido. Tal ação é ofertada via serviço que por sua vez impactará em algum desgaste da lambada bem como a depreciação de seus recursos energéticos.

Figura 6 – Representação de Node Provedor.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.2 Node Cliente

Um node cliente é responsável por receber o estado externo de nodes provedores por meio de uma interface disponibilizada. Ele pode consumir recursos de um ou mais provedores, dependendo da operação em execução. O node cliente comunica-se com os provedores necessários para realizar suas operações, de acordo com suas particularidades. Tal dinâmica representada na Figura

4.4 Operações

Operações consiste no fluxo de mensagens comunicáveis entre nodes clientes e provedores. Uma operação é realizada quando um cliente através de mensagens solicita estado de um provedor, de outra maneira, também é possível um provedor ativamente disponibilizar um estado, dito externo para que um possível cliente possa utilizá-lo.

Mensagem é a unidade atômica de informação que independente do seu formato é utilizada para as mais diversas ações de acordo com o que se destina a rede colaborativa, uma mensagem pode carregar ações como inicialização, controle, monitoramento, coleta, processamento ou armazenamento de dados. A depender da funcionalidade, um cliente quando ativo, deve enviar mensagens de solicitação aos provedores os quais reativamente respondem via interface preestabelecida, caso a operação aconteça através de eventos, o provedor deve autonomamente disponibilizará suas informações para todos que tenham interesse.

Para cobrir uma operação, múltiplas mensagens podem ser solicitadas na forma de composição de serviço (AOUDIA et al., 2019), nesse cenário um node cliente solicita mensagens distintas à um ou vários nodes provedores para compor este serviço. Em todo caso, como encontrado na revisão (KAHLOUL; BENHARZALLAH; AOUDIA, 2019) a abordagem das operações encontrada nos serviços puramente virtuais não acomodam por completo a natureza operacional dos agentes IoTs. Para tal, precisa-se considerar o estado dos nodes e seus recursos pois estes se encontram diretamente em um meio físico e precisam lidar com as particularidades inerentes a um ambiente dinâmico e seus desafios.

4.5 Recursos Energéticos

Um Recurso descreve um componente ou capacidade que um dado node possui para realizar suas operações. Isto inclui seus componentes físicos ou virtuais que uma vez embarcados ao dispositivo contribuem em cooperação para os mais diversos fins, coleta, monitoramento, automação industrial, assistência a medicina entre outros. Um Recurso infere sobre as capacidades dos elementos dispostos na rede, a configuração do dispositivo esta fortemente ligado à atividade fim que se destina. Para este trabalho,

os recursos como processamento, armazenamento ou capacidade de transmissão estão omitidos pois expressam diretamente o universo de possibilidades onde um agente IoT se encontra. Entretanto, em uma rede IoTs dirigida à energia, aspectos energéticos devem ser detalhados

Recursos energéticos refere-se a dois grupos: da capacidade de coleta do node e a capacidade de armazenamento e disponibilização da energia previamente coletada. Arquitetura de sistemas dirigidos a energia com capacidade de coleta são projetados para usar estes recursos de maneira eficiente como descrito em (PRAUZEK et al., 2018) sua aplicação é especialmente útil em cenários onde a energia para alimentar os componentes eletrônicos é escassa. Um recurso energético é propriamente uma fonte natural ou artificial de energia que de maneira apropriada pode ser convertida em energia utilizável para garantir a realização das operações.

No cenário proposto, assume um papel importante pois é essencial para garantir o funcionamento contínuo e autônomo dos nodes envolvidos, cabendo ao agente suas ações de coleta, transformar, armazenamento e utilização o recurso energético, projetado de maneira a aproximar-se do estado onde as operações tendem a uma neutralidade energética *Energy-Neutral Operations* (ENs), conceito apresentado por (KANSAL et al., 2007) e posteriormente em (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017) com a abordagem da neutralidade de força-energética, em acordo com suas respectivas capacidades.

4.5.1 Capacidade de Coleta

De acordo com o trabalho de (SUDEVALAYAM; KULKARNI, 2011), a capacidade de coleta refere-se à habilidade do elemento em extrair e transformar um recurso energético disponível no ambiente. Seu objetivo é manter ou estender o tempo de funcionamento do node, atendendo totalmente ou parcialmente às suas necessidades energéticas.

Sistemas de coleta energética possuem três conceitos fundamentais: Carga, a Arquitetura de Coleta e entrada energética. A Carga é destinada a atividade que esta consumindo energia, este é oriundo de um componente demandante de energia para operar, sejam sensores, transmissores ou atuadores, apresentados como uma composição de recursos. A Arquitetura de Coleta indica quais mecanismos, deve descrever seus componentes, meios de conversão e unidades de armazenamento. Atualmente é possível destacar três modelos básicos de arquitetura:

- Coleta e Usa (*Harvest-Use*): Neste modelo, toda energia coletada é oferecida diretamente ao node continuamente. Conforme (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017), um node não precisaria de um *buffer* energético, ou apenas o mínimo possível para mantê-lo operacional, desde que seu funcionamento for orientado as características da neutralidade força-energética. Assim, a energia coletada deve satisfazer os valores de

operação plena ou pelo menos o mínimo necessário para o funcionamento depreciado. Por isso, caso a energia coletada não seja suficiente, o node prontamente adaptará o fornecimento dos seus recursos buscando enquadrar-se a disponibilidade energética corrente para, posteriormente, caso o nível de fornecimento energético alcance os níveis desejados, tenha sua operação restabelecida. Em alguns casos, quando prontamente é detectado níveis energéticos abaixo do necessário até para o funcionamento adaptado no node, o mesmo, poderá executar alguma rotinas de *checkpoint* para caso tenha sua operação integralmente interrompida, possa mediante ter sua necessidade energética suprida em momento futuro, retornar para um estado desejado, como sistemas intermitentes já mencionados em (SLIPER et al., 2020).

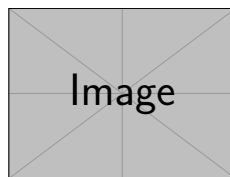


Figura 7 – Aqui vou colocar uma figura power-neutral

- Coleta, Armazena e Usa (*Harvest-Store Use*): Dispositivos inseridos em um dado ambiente coletam energia do meio para seu uso. Todavia, estes nodes precisam lidar com o dinamismo da natureza energética coletada. Para tal, embarca-se ao node a capacidade de armazenar a energia coletada em um *buffer* para posteriormente disponibilizar esta entrada para uso nos ciclos de carga do node. Este modelo visa contornar os dados problemas com variações em performance encontradas pelo EHS seja pela depreciação do modelo de coleta ou até mesmo devido à escassez de energia disponível para coleta no meio em dado momento.

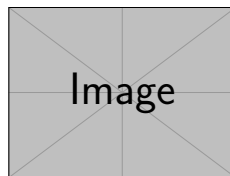


Figura 8 – Aqui vou colocar uma figura energy-neutral

Sobre os ambientes onde nos nodes operam, diversas técnicas podem ser utilizadas para a extração de energia disponível, a conversão de energia renovável solar e eólica, a captura da força *piezo-elétrica*, termodinâmica, entre outros. A adequação da estratégia de coleta e seus detalhes devem ser projetados de acordo com o meio onde node se encontra e a natureza da fonte energética que visa-se coletar. Em geral, a divisão das características dos ambientes já descrito em (SHAIKH; ZEADALLY, 2016) pode ser utilizada para categoriza-las de acordo com seus ambientes, sendo assim se encontram em:

- Não controladas mas previsíveis: A produção energética não pode ser controlada nos momentos desejados, mas o comportamento pode ser modelado para prever a disponibilidade num dado momento com alguma margem de acerto. Por exemplo, no trabalho de (LEE; PARK, 2018) fontes energéticas baseadas em energia solar, que tem sua origem não controladas, todavia existem modelos capazes de prever disponibilidade energética para colheita de acordo com sua sazonalidade durante ciclos diurnos.
- Não controladas e não previsíveis: A fonte energética não pode ser controlada para gerar energia quando desejado e não é fácil prever usando um modelo quando será possível. A extração energética originada pela vibração de ambientes internos é um exemplo de tal fonte energética como descrito em (WEI; JING, 2017), todavia definir padrões de sazonalidade das vibrações pode tornar o processo de coleta impraticável;
- Completamente controlada: Neste contexto, a energia é gerada apenas quando necessário, como visto em alguns sistemas *piezoelétrico* onde através da interação humana para geram energia quando necessário.
- Parcialmente controlada: O processo de geração energética é sensível à ação de terceiros porém a quantidade exata de energia gerada não pode ser prevista com exatidão. Fontes baseadas em Radio Frequência converte a transmissão de ondas de radio em energia utilizável, por exemplo, (SHAIKH; ZEADALLY, 2016) decorre como tags *Radio Frequency IDentification* (RFID) conseguem ser visualizadas por um leitor. Todavia, a quantidade de energia coletada sofre impactos diretos das características de propagação no meio disposto, barreira, distancia até a fonte e capacidade da antena de transmissão.

4.5.2 Capacidade de Armazenamento

A capacidade de armazenamento trata de propriedades como conversão, força e taxa de carregamento e descarga em relação a fonte energética em uso com o objetivo de utilizar essa energia em momento apropriado.

É bem conhecido que o fator energético é um desafio para redes com restrições energéticas e capacidade de coleta, pois claramente caso a energia de um node seja esgotada o mesmo não será capaz de cumprir seu papel a menos que o fornecimento energético seja restabelecido ou algum mecanismo de armazenamento possa cobrir parcial ou totalmente a diferença energética necessária para a operação.

Baterias, super capacitores ou modelos híbridos estão presentes no contexto de dispositivos com fortes restrições energéticas e capacidade de coleta, para estes a atuação busca estar de acordo com as condições físicas e necessidade de conservação da energia. É possível distinguir três padrões de armazenamento para as capacidade energética presente

em um dispositivo que busca o estado de operação neutra onde se observa a relação entre a saída energética e o gasto energético do node dado o momento. Segundo o modelo de uso proposto, a habilidade para coleta e a necessidade de disponibilidade definida no [SLA](#), os nodes provedores encontram sua capacidade de armazenamento em um dos casos:

- Node provedor sem reserva energética: Aqui não existe a necessidade estrita da gestão de recursos elétricos pois caso não exista energia suficiente o node irá adaptar-se na tentativa de alinhar a necessidade energética ao fornecido momentaneamente, em outros casos, sua operação se comportará como um sistema transiente, preparados para interromper suas atividades e, ao reestabelecer sua entrada energética disponível, retornar a partir de um ponto previamente estabelecido. Neste caso, é considerável existir uma pequena reserva, suficiente para conseguir armazenar um estado adequado ou ação semelhante.
- Node provedor com reserva energética: Neste caso, um node carrega em si a capacidade de armazenar energia coletada em um *buffer*. A gestão energética deve ocorrer para que a energia coletada seja previamente armazenada para ai sim, ser disponibilizado em ciclos de carga. Aqui os nodes operam em um regime de Coleta, Armazenamento e Uso, já descrito anteriormente.

4.6 *Throttling*

Aplicar o padrão *Throttling* consiste basicamente em restringir o uso de recursos de acordo com limiares de utilização estabelecidos. Seu objetivo é proteger um dispositivo do estado de sobrecarga, evitando que consumidores excessivamente solicitantes coloquem um node provedor em um estado de sobrecarga, evitando possíveis falhas e a exaustão prematura de recursos (MARTINEKUAN, 2019). Com isso, a estratégia permite que provedores consigam operar dentro de termos definidos por um acordo de funcionamento conhecido como *Service Level Agreement* ([SLA](#)), protegendo este provedor de assumir um estado de sobrecarga onde precise atender mais solicitações do que o adequado para sua capacidade.

Na taxonomia, o uso do *Throttling* é candidato à colaborar nas atividades que buscam aumentar disponibilidade do node provedor, conservando recursos energéticos e suas observações a respeito de características ou limitações do próprio dispositivo. Para tal, é preciso que limiares sejam estritamente adequados ao que se aplica, capacidade de transmissão, recursos disponíveis ou esperados pelo node. Definir limiares de operação realísticos para o node provedor é um desafio relevante para sistemas com estratégia de coleta de energia (KHAIRNAR; MEHTA, 2015), (LIU et al., 2016) e (ZHANG et al., 2018), entregando capacidade de decisão sobre ciclos de carga enquanto se objetiva maximizar o tempo de vida do próprio node.

4.6.1 Atuação: Limiar, Ciclo de Carga, Observáveis e Meios

Em sistemas IoT orientados aos fatores energéticos, a atuação do padrão é dada ao monitorar a taxa de solicitações no decorrer de um espaço de tempo, nesse intervalo, denominado Ciclo de Carga. Durante um ciclo nodes clientes podem fazer requisições ao provedor. Do ponto de vista da disponibilização dos recursos, durante um ciclo de carga, um node pode assumir abordagem de equidade entre os solicitantes ou algum critério de prioridade e privilégio, onde um solicitante qualquer teria suas requisições atendidas mediante negação do serviço para outro node cliente com menor prioridade, caso necessário.

Uma vez definido um limiar de atuação, sua ação pode ser inteiramente linear ou constante, onde durante todo funcionamento do node o mesmo valor limiar é aplicado, independente de outros fatores, outra possibilidade é definir vários limiares que agem adaptativamente de acordo com os diversos estados mapeados, tão logo determinado cenário seja alcançado, o node pode ajustar seu limiar de atuação para conservar seus recursos visando manter-se funcional. O comportamento do limiar de atuação passa pela análise cuidadosa da natureza do node provedor e operações esperadas. Em síntese:

- Limiar constante: Seu valor é fixado e estabelecido enquanto o node é projetado. Este limiar pode ser determinado considerando fatores como testes de desempenho, características do ambiente onde será inserido e requisitos operacionais. Todavia, uma vez definido, o limiar permanecerá constante ao longo de todo o tempo das atividades do node.

Por exemplo, considere um node com uma dada capacidade de processar mensagens, este pode estabelecer um limiar constante para o máximo de requisições processáveis simultaneamente. Sendo assim, em toda operação, caso esse limiar de requisições seja atingido, o node irá ativamente optar por rejeitar ou atrasar o atendimento até que o valor de requisições retorne ao nível aceitado.

Esta abordagem, é bastante útil caso se conheça bem as capacidades do node e não se espera uma grande variação nas condições de operação ao longo do tempo. Embora oferte equidade do ponto de vista dos solicitantes (que tem suas requisições atendidas segundo os mesmos critérios independente do estado do node provedor), não se garante que uso dos recursos será adequado caso ocorra mudanças repentinas ou flutuações significativas nos termos de funcionamento deste provedor.

- Limiar adaptável: Nesta abordagem, o comportamento do node é ajustado dinamicamente, por isso um node pode assumir um comportamento mais adequado ao observar suas condições de funcionamento através do monitoramento ou auto-análise dos recursos do node, permitindo atender as solicitações dos nodes clientes, com performance adequada aos termos de operação que se encontre. Por exemplo, dado um sistema de segurança que geralmente possui nodes equipados com câmeras. Este

provedor, deve enviar imagens capturadas por seus sensores para algum solicitante, seja uma central que passivamente recebe as gravações ou outra forma de node demandante. Dado uma mudança observada em seus termos de funcionamento, o node poderá ter faixas de limiares distintas adequando-se ao estado encontrado, conservando-se e garantido seu funcionamento dentro do SLA estabelecido.

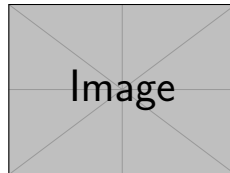


Figura 9 – Aqui vou colocar uma figura A e B com as diferentes atuações do limiar.

Graças a isso, o node com limiar adaptável será capaz de operar em diferentes faixas de operações, depreciando seus serviços com a mudança de comportamento, seja para interromper ou reduzir sua taxa da transmissão e assim permanecer operando mitigando riscos funcionais enquanto se encontre neste estado. Uma vez que os recursos observáveis se restabeleçam, o node pode assumir comportamento de uso acentuado dos recursos disponíveis permitido pelo novo valor estipulado para o limiar de consumo adequado. Esta capacidade de adaptação, permite que nodes provedores mantenham algum equilíbrio entre conservação de recursos e performance, garantindo suas funcionalidades nos termos das condições operacionais.

Ciclo de Carga, refere-se as atividades suportadas que consomem algum recurso energético do node dentro de um intervalo de tempo. Dado uma sistema com coleta de energia, um ciclo de carga durará pelo menos até que a próxima entrada energética coletada esteja disponível. Uma carga é qualquer atividade que requer o consumo energético, seja sensoriamento, atuação, transmissão de dados entre outros. O mecanismo de *throttling* irá atuar regulando o uso de recursos durante um ciclo, caso necessário, depreciando ativamente as operações de acordo com o projetado, visando adequar estas atividades de carga e o consumo energético ao cenário encontrado pelo provedor até que a próxima entrada energética esteja disponível e possa ser novamente adaptado em concordância com o novo cenário a que se encontra.



Figura 10 – Aqui vou colocar uma figura sobre entrada energética e ciclo de carga.

Qualquer aspecto que impacte ou influencie na capacidade do node em manter-se disponível deve ser considerado em sua atuação. Estes, ditos elementos observáveis,

compreendem os componentes aos quais cabem a análise de estado, pois justificam a ação do mecanismo *throttling*, que deverá indicar o comportamento do node para mantê-lo adequado mediante evitar seu esgotamento energético. Para tal, se apresentam como os garantidores das condições energéticas do node: sua condição de entrada através de uma fonte energética; a capacidade de armazenamento dessa energia coletada em eventual *buffer*.

4.6.1.1 Meios

O comportamento de um node pode ser ajustado de acordo com as circunstâncias. Diferentes meios são usados no processo de aplicação de um mecanismo *throttling* a depender da função do node na rede e a intenção particular ao limitar operações. Assim, os meios de atuação decorrem sobre:

(*Meio*₁) Atuação sobre nodes clientes;

(*Meio*₂) Atuação sobre atividades do node provedor;

(*Meio*₃) Atuação sobre degradação intencional de componentes envolvidos.

O (*Meio*₁) usa de mecanismos de *throttling* ao considerar a necessidade de observar as capacidades dos nodes clientes em relação de sua taxa de vazão ou a criticidade de suas operações. Sobre a taxa de vazão, estipula-se um *throttling* aplicado a quando o node cliente buscar limitar sua taxa de recebimento de mensagens de acordo com sua capacidade de lidar com tais eventos. Sendo assim, para conseguir operar nos termos em que se encontrar, o node cliente poderá limitar sua vazão para envio ou recebimento de dados de acordo com as suas capacidades, este limite tem por objetivo recuperar ou preservar seus recursos em acordo com o estabelecido limiar de atuação.

Entende-se por criticidade de uma operação, o atributo que indica quão essencial é esta para o node. Sendo assim, sobre atuação do *throttling* nos nodes clientes, cabe dois cenários: um primeiro onde todas as operações tem igual importância para o node/rede, e um segundo, onde existam operações classificadas mais importantes que outras. Sendo assim, de acordo com o segundo cenário, justifica que tais operações possam encontrar alívio nos limites de *throttling* e por isso, cabe observar e definir tais valores para que dado operações privilegiadas, exista também maior tolerância quanto ao uso de recursos para as tais.

Certamente, para que seja possível um maior gasto de recursos pelas operações críticas, cabe também ao projeto definir regras de compensação onde o node poderá reduzir seu limiar para demandas menos críticas, caso necessário.

(*Meio*₂) compreende o controle de atuação no node provedor. De acordo com o seu estado durante um ciclo de carga os mecanismos de *throttling* poderão atuar em

conformidade aos recursos encontrados neste node. Para tal, as estratégias de aplicação e definição de limiares passam pela observação da capacidade de vazão das múltiplas solicitações proveniente dos clientes, bem como da criticidade das operações realizadas.

A taxa de vazão do um node provedor, é definida pela sua capacidade em atender demandas dos diversos nodes solicitantes durante um espaço de tempo seja por limitação da rede ou por sua capacidade computacional em realizar tais operações. Sendo assim, o mecanismo de throttling poderá se valer dos limiares estipulados através da análise dos recursos disponibilizados para operação dentro da janela de tempo, a partir daí, dado o cenário encontrado, limitar o atendimento as solicitações de nodes considerados excessivamente demandantes ou menos privilegiados.

Quanto a observação nas operações realizadas pelo node provedor, estas tem seu grau de criticidade atrelado a importância de tal operação na conjuntura ao qual se destina o node bem como quão fundamental pode ser. É importante destacar que a definição de limiares sempre busca garantir que o node não consuma seus recursos excessivamente, limiar este que deve ser revisto sempre que o panorama encontrado pelo node mude, seja pelo fim da janela de trabalho (carga) ou a medida que as atividades demandantes sejam atendidas. Com isso, dado limiar deverá atuar protegendo o node provedor no decorrer de suas trocas de estado a passo que realiza as operações.

O limiar de atendimento de operações poderá suportar um sistema hierárquico, neste caso nodes solicitantes mais privilegiados terão suas operações realizadas mesmo em um cenário de escassez, outro ponto é que dado a criticidade da operação pode-se fazer distinção, tolerando mais operações de um tipo considerado critico ao detrimento da realização de operações menos importantes.

Pode-se ainda atrelar ao conjunto de relacionado aos fatores utilizados para definição do limiar das operações, os aspectos ligados a degradação ativa nos componentes envolvidos nas operações ofertadas aos nodes clientes ou apenas de uso interno do node. Operações limitadas fornece ao node a capacidade de limitar também o uso de recurso energético de algum componente, no caso, dos componentes envolvidos com tais operações que se encontram em execução limitada.

Compreende os mecanismos dispostos no (*Meio₃*), a capacidade do nó em reduzir o consumo energético de algum componente embarcado mediante o cenário de escassez energética. Esta já é uma manobra conhecida; diversos dispositivos submetem-se a esta, objetivando a conservação de seus recursos energéticos em ciclos de carga, como, por exemplo, os aparelhos móveis, estes possuem a capacidade para que, dado limiar de sua reserva energética seja atingido, limita-se ativamente componentes menos críticos, como por exemplo câmeras ou alto-falantes, assim, o recurso energético usado por tais pode ser conservado e disponibilizado para componentes dito essenciais até que o cenário de escassez se resolva.

4.6.2 Motivadores

Além das operações realizadas, a implementação do padrão throttling passa por avaliar os agentes que impactam diretamente o comportamento do node. Este, também deve considerar a atuação do mesmo enquanto dispositivo na rede IoT.

A entrada energética em 4.5.1, indica a capacidade do node em captar recursos energéticos, uma vez que um dispositivo receba esta entrada, estará apto para os ciclos de carga vindouros que por sua vez durará até a próxima oferta energética. Sobre a capacidade de armazenar energia, como decorrido em 4.5.2 indicam sua reserva secundária, onde em momento adequado o node poderá fazer uso para manter-se operacional.

A capacidade do node em ajustar suas operações em acordo tanto com sua entrada energética e reserva, garantirá maior disponibilidade do agente. É importante destacar também, a atuação dos mecanismos de ajuste do comportamento, estes devem proceder de maneira suficientemente eficiente para que dado estado adequado seja alcançado o mais breve possível, refletindo o estado dos recursos observados. Assim, caso um limiar de atuação seja atingido a alteração de comportamento do node ocorra de modo adequado, mitigando, com isso, perdas desnecessárias ou não previstas, causadas por ajuste inapropriados de comportamento.

Desta forma, a mudança de comportamento do node motiva-se em: tão logo os fatores de tomada de decisão forem alcançados, adequar-se para que estes fatores divergentes, aqueles encontrados em execução, sejam contornados buscando retornar ao estado desejado.

No trabalho (ZHANG et al., 2018), equipamentos capazes de observar seus recursos energéticos, atuam modificando seu comportamento para preservar energia motivados com a expectativa de uma entrada energética prevista. Sendo assim, para este caso, a motivação de aplicação do agente limitante é preservar alguma condição energética, prolongando a disponibilidade dos componentes ditos críticos. Portanto, a motivação dos nodes em limitar seu comportamento passa pela análise do estado dos recursos observáveis e a intenção que se deseja alcançar em acordo com agente limitante.

Na taxonomia, define-se motivador como sendo o propósito declarado para atuação de um agente limitante em concordância com a causa motivadora. É de interesse dos aspectos relativos a restrição energética do node, que a atuação do throttling procure alcançar um dos dois objetivos, sendo estes os motivadores:

1. Preservar recursos energéticos. Evitar gasto excessivo ou inadequado é primeiro motivador de um agente limitante embarcado em dispositivos com restrições energéticas, pretende-se com isso manter o node em um estado adequado em relação das capacidades energéticas dispendendo recursos de maneira inferior ou próximos

a zona neutro-energética onde a energia coletada é suficiente para todas operações realizadas na duração do ciclos de carga.

2. Restabelecimento da condição energética. Quanto a recuperar seus recursos energéticos, entende-se que o node poderá através da análise de seus observáveis, adotar comportamento limitado motivado pela expectativa de restabelecer seus recursos energéticos a valores esperados. Neste caso, pretende-se com isso manter-se em modo de operação que favoreça dispendar menos energia durante os próximos ciclos de carga até que seus recursos observáveis retornem em acordo com o esperado ou seu cenário de uso seja alterado. Uma vez alcançado um estado desejado, o node poderá reavaliar seu comportamento e ajustar-se para o modo de operação considerado adequado.

5 Guidelines

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

6 Estudo Experimental

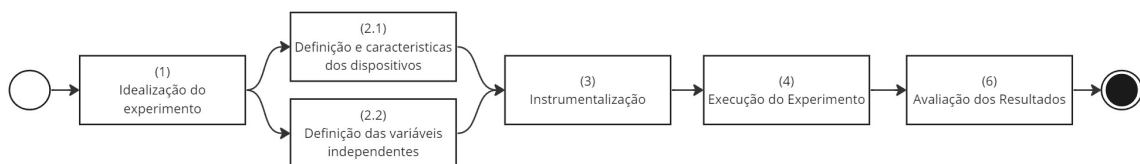
Este capítulo consiste em apresentar o estudo, envolve a concepção de contexto do experimento, das configurações e características dos elementos envolvidos, a seleção das variáveis influenciadoras, o controle e a instrumentação do experimento, sua execução, a captura de dados durante experimentação, e por fim, a análise e conclusões obtidas a partir desses resultados.

O objetivo do experimento é analisar a viabilidade do uso de mecanismos de *throttling* como candidato para aumentar a disponibilidade dos elementos presentes em *IoT* através do ajuste de comportamento por ação de limiares de atuação que consideram seus aspectos energéticos para assim, prolongar a autonomia energética dos dispositivos. A abordagem é aderente e cobre os elementos presentes na taxonomia proposta no Capítulo 4 permitindo comparação e análise entre dispositivos que diferem sobre o fato de terem sua operação ajustada mediante *throttling* ou não.

6.1 Metodologia

O experimento pretende comparar os efeitos do mecanismo de *throttling* em dispositivos com capacidade de coleta de energia, com foco em examinar a disponibilidade de cada um relacionada aos aspectos energéticos em condições de capacidade e atuação semelhantes.

Figura 11 – Etapas do Estudo Experimental.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para tal, buscou-se observar a influência do fator limitante na alteração do comportamento dos participantes em relação aos valores de energia coletada e reserva energética. Além disso, compreender sua eficiência na tomada de decisão em atender ou não às solicitações, em virtude da autoanálise de suas capacidades à medida que a variação de energia disponível ocorre. Este estudo visa analisar o uso de *throttling* como possível solução para estender a disponibilidade de dispositivos com capacidade de coleta energética.

A Figura 11 apresenta o fluxo de execução e ordem para as etapas realizadas. Na Seção 6.2, foi concebido quais os termos de projeto para viabilizar a análise e comparação de nodes com padrão *throttling* aplicado as características energéticas, Etapa 1 - Idealização. Partindo daí, foi projetado ambiente para abstrair os elementos envolvidos, visando garantir equidade de condições e ações de maneira simultânea para todos os dispositivos durante a simulação. Para alcançar isolamento e consistência, optou-se pelo uso da plataforma Docker¹ como agente facilitador, que atende às restrições necessárias de encapsulamento para que cada aplicação e suas dependências estejam contidas.

A abordagem utilizando *containers* permitiu que os sistemas fossem estimulados simultaneamente, mantendo controle sobre recursos e garantindo os termos da operação: recursos energéticos e taxa de requisições solicitadas. Sendo assim, a composição do experimento considera que: I - Dispositivos simulados com capacidade de coleta e armazenamento de energia estão inseridos em um dado ambiente semelhante ao uso real; II - Os dispositivos sempre recebem, ao mesmo tempo, um valor como coleta de energia; III - Os dispositivos participantes possuem a mesma capacidade para armazenar energia coletada; IV - Os dispositivos são submetidos simultaneamente aos mesmos ciclos de carga, compostos por uma quantidade fixa de solicitações.

Na Etapa 3 - Instrumentalização, capacita o experimento para capturar e apresentar os resultados durante sua execução e posterior resumo dos dados obtidos, os detalhes estão descritos na Seção 6.4. A Seção 6.5 descreve os processos realizados na Etapa 4 - execução do experimento. Assim neste ponto, todas as etapas planejadas anteriormente já estão implementadas. Em decorrência disso, habilita-se o experimento a realizar os procedimentos conforme o protocolo estabelecido, e aplicação dos estímulos já definidos (carga de solicitações e disponibilização de recursos energéticos).

Ao final, a Etapa 5 - Avaliação dos Resultados trata dos dados coletados para análise, consistindo o grupo das variáveis dependentes: I - Medição dos valores energéticos em relação ao tempo; II - Quantidade de solicitações atendidas ou negadas; III - Valores mínimos de reserva energética atingidos. Tais resultados serão apresentados posteriormente na Seção 6.6 mediante comparação entre os dispositivos participantes e na avaliação dos resultados obtidos durante a experimentação.

6.2 Idealização

Uma vez definido os objetivos do experimento, a Etapa de idealização é o ponto onde foi construído as bases de execução do estudo. Assim, foram realizadas a estruturação dos parâmetros e definição do cenário para realizar os testes, além da capacidade de coleta

¹ O Docker é uma plataforma de virtualização que simplifica o desenvolvimento, envio e execução de aplicativos em contêineres. Disponível em <<https://www.docker.com/>>.

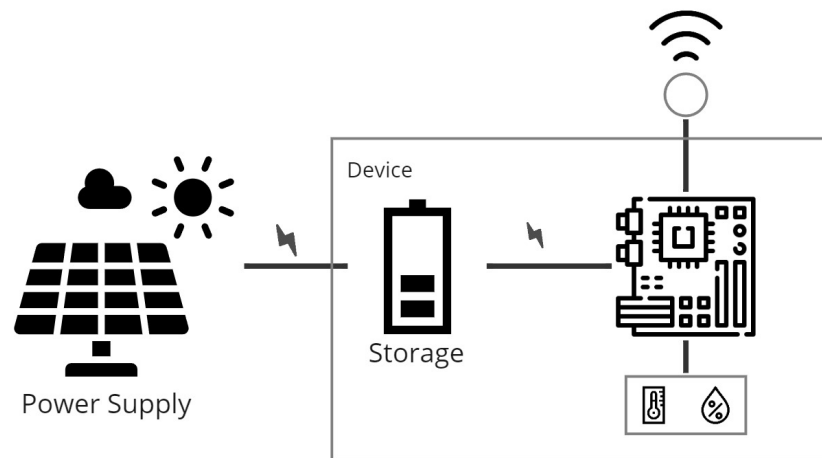
dos resultados e avaliação de conformidade com a taxonomia proposta.

O cenário foi idealizado para simular a atuação dos nodes em dado um ambiente externo. Nele, nodes provedores realizam aferições à medida que são estimulados através de solicitações enviadas.

Decorrente desta dinâmica, cabe ao node provedor examinar, com base nas condições energéticas, se é capaz ou não de realizar o comando solicitado. Para tal, o mecanismo de *throttling* deverá atuar observando os recursos energéticos do node provedor, para que ao atingir um determinado limiar, bloquear o atendimento à solicitação realizada.

Ainda nesta etapa, foi necessário considerar as entradas energéticas que seria disponibilizadas ao node provedor, pois devem ser inerentes ao ambiente idealizado onde este node poderia estar inserido. Além disso, concebeu os aspectos de armazenamento dessa entrada energética, dispositivo o qual deverá receber o recurso coletado e disponibiliza-la para uso do node provedor. A Figura 12 ilustra, em resumo, a dinâmica de funcionamento do node.

Figura 12 – Dinâmica do Node Provedor.



Fonte: elaborado pelo autor.

Portanto, acontecendo disponibilidade energética, cabe ao dispositivo armazená-la durante um ciclo a medida que os valores vão sendo apresentados ao node. Uma vez cumprido esta etapa, os valores são disponibilizados na forma de recurso que deverá ser dispendido a medida que realiza as atividades solicitadas.

Por fim, o node deverá em todo seu ciclo de vida atuar dinamicamente em conformidade com os modo de operação que represente os valores de recursos energéticos que possui. No experimento estão cobertos quatro modos de atuação a depender das capacidades energéticas:

1. Modo Abundante: O Modo Abundante representa o dispositivo que possui recur-

recursos energéticos amplamente disponíveis, permitindo o funcionamento completo e otimizado de todas as suas funcionalidades. Aqui, o node atenderá quaisquer solicitação enviada, sem atuação do mecanismo limitante, aproveitando ao máximo a disponibilidade de energia;

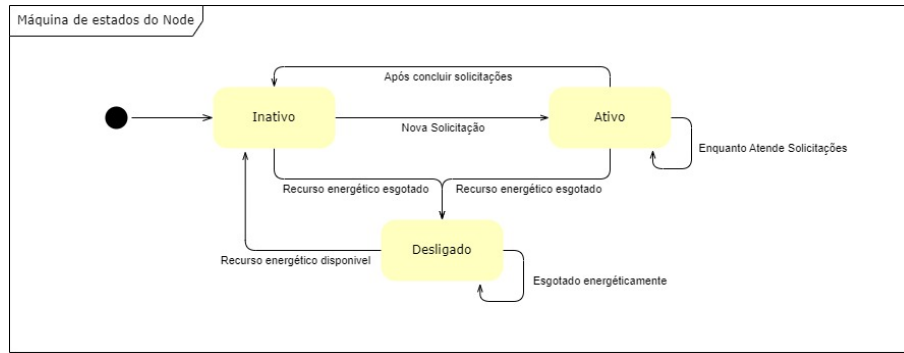
2. Modo Atenção: Uma vez atingido este patamar, o node recusar-se a atender algumas solicitações com a motivação de preservar parte dos recursos até que um novo cenário energético seja apresentado;
3. Modo Alerta: O Modo Crítico é alcançado quando o dispositivo está operando com recursos energéticos extremamente limitados, mas ainda tem capacidade para atender algumas solicitações (conforme privilégios ou criticidade das operações). Este modo foi projetado para prolongar a funcionalidade básica do dispositivo enquanto tenta evitar a entrada no Modo Hibernação.
4. Modo Hibernação: Este modo é ativado quando o dispositivo não possui mais recursos energéticos suficientes para continuar atendendo qualquer solicitação. O dispositivo entra em um estado de hibernação ou equivalente até que recursos energéticos sejam recuperados. Portanto, caso consuma toda sua reserva, o dispositivo estará esgotado energeticamente.

Um modo de operação representa como o mecanismo de *throttling* agirá em detrimento do valor disposto em sua reserva energética, assim contribui para reduzir o uso de recursos, amortizando ou interrompendo o uso energético nos serviços ofertados no node a medida que limita à capacidade de atendimento as solicitações. Naturalmente, estes modos de operação podem sofrer variação, cabe a análise de especificidade e natureza que se destina cada implementação, para isto, a análise desses fatores repousa classe Meios, encontrada na Subseção 4.6.1.1. Com isso, os modos de operação guiam a mudança de estados do dispositivo, uma vez que justificados por tal modo, reduz a quantidade de solicitações atendidas, proporcionando maiores momentos em um perfil de inatividade ou equivalente que indique um uso reduzido de recursos. De maneira geral, a dinâmica dos estados do node pode ser visualizada na Figura 13. Por fim, os estados possíveis para o dispositivo são descritos como:

- Estado Inativo: Aqui o node estará consumindo a menor quantidade de recurso energético possível. Um node inativo se encontra ocioso, sem realizar nenhuma tarefa enquanto aguarda novas solicitações ou caso necessário, aguarde nova entrada energética disponível.
- Estado Ativo: Um node é considerado ativo enquanto executa solicitações. Nesse estado o node utilizará os recursos energéticos necessários para realização das atividades mediante o consumo de seus recursos energéticos.

- Estado Desligado: No experimento, o estado desligado é a indicação que o node não tem mais capacidade de assumir qualquer outro estado enquanto não receber recursos energéticos particularmente em decorrência do esgotamento de suas reservas. Portanto, neste estado, um node não realizará qualquer atividade.

Figura 13 – Máquina de estados do Node.



Fonte: elaborado pelo autor.

6.3 Definição da variáveis independentes e Dispositivos.

A teoria de coleta de energia baseia-se na utilização de fontes energéticas disponíveis no ambiente para suprir, parcial ou totalmente, a demanda de um dispositivo inserido neste ambiente. Para o experimento, não há, a princípio, a intenção de analisar as particularidades para cada fonte energética, sua natureza e características de uso ou eficiência.

Com isso, foi necessário para examinação e avaliação da aderência ao mecanismo de *throttling* proposto abstração de fonte energética, uma vez que os recursos energéticos não seriam provenientes da dinâmica das condições de uma fonte qualquer. Quanto as possíveis novas implementações, ainda sim, caberá os ajustes necessários para atuação do *throttling*, a depender da especificidade das condições submetidas ao node, assim como apresentado em 4 na classe Observáveis, esses aspectos são descritos como as questões relativas à entrada energética.

Todavia, para a execução do experimento é necessário a compreensão sobre a disponibilidade e termos quantitativos de uma fonte de energia que represente valores de entrada para a coleta energética e assim utilizar esses dados como entrada para uma variável independente numérica. Sob tais restrições, os valores utilizados são semelhantes ao comportamento observado por um fonte de energia solar, para isto, seus valores foram concebidos com o auxílio dos dados disponibilizados no Atlas Brasileiro de Energia Solar (MARTINS et al., 2017). Particularmente, a definição dos valores de energia disponível orienta-se pelos parâmetros disponibilizados e apresentados para cidade de Natal/RN, nos termos da média diária de irradiação solar no decorrer dos meses, o que rotulou-se uma Jornada J_i (para $i = 1, 2, \dots, 12$). Os valores são expressos em Wh , já abstraído a

conversão para os termos de consumo conforme Tabela 1 onde cada valor representa o montante energético disponibilizado em uma respectiva jornada.

Tabela 1 – Valor disponibilizado por entrada

Jornada Wh		Disponibilizado no Ciclo (c)												
		c05	c06	c07	c08	c09	c10	c11	c12	c13	c14	c15	c16	c17
		(0.007)	(0.02)	(0.053)	(0.087)	(0.105)	(0.127)	(0.136)	(0.125)	(0.12)	(0.101)	(0.074)	(0.04)	(0.005)
J01	5674	39.72	113.48	300.72	493.64	595.77	720.6	771.66	709.25	680.88	573.07	419.88	226.96	28.37
J02	6017	42.12	120.34	318.9	523.48	631.78	764.16	818.31	752.12	722.04	607.72	445.26	240.68	30.09
J03	6032	42.22	120.64	319.7	524.78	633.36	766.06	820.35	754.0	723.84	609.23	446.37	241.28	30.16
J04	6082	42.57	121.64	322.35	529.13	638.61	772.41	827.15	760.25	729.84	614.28	450.07	243.28	30.41
J05	5561	38.93	111.22	294.73	483.81	583.9	706.25	756.3	695.12	667.32	561.66	411.51	222.44	27.8
J06	5075	35.52	101.5	268.97	441.52	532.88	644.52	690.2	634.38	609.0	512.58	375.55	203.0	25.38
J07	4658	32.61	93.16	246.87	405.25	489.09	591.57	633.49	582.25	558.96	470.46	344.69	186.32	23.29
J08	4773	33.41	95.46	252.97	415.25	501.16	606.17	649.13	596.62	572.76	482.07	353.2	190.92	23.87
J09	5571	39.0	111.42	295.26	484.68	584.95	707.52	757.66	696.38	668.52	562.67	412.25	222.84	27.86
J10	5971	41.8	119.42	316.46	519.48	626.95	758.32	812.06	746.38	716.52	603.07	441.85	238.84	29.86
J11	6112	42.78	122.24	323.94	531.74	641.76	776.22	831.23	764.0	733.44	617.31	452.29	244.48	30.56
J12	6269	43.88	125.38	332.26	545.4	658.25	796.16	852.58	783.62	752.28	633.17	463.91	250.76	31.35

Fonte: adaptado de MARTINS et al., (2017)

O fator de distribuição atribuído a cada ciclo representa o fator da incidência solar em um dado instante em relação ao total disponível em uma jornada num intervalo de 24 ciclos. Para atribuição dos pesos dispostos em cada ciclo, foi utilizada a referencia disponibilizada em TUTIEMPO (2023) para o dia 12 de dezembro de 2023. Aqui cabe destacar que a limitação de adotar a distribuição solar para um dia específico é justificada pela intenção de apenas conceber os valores capazes de cobrir o propósito do experimento, a medida que paralelamente aproxima-se dos termos característicos de uma fonte energética solar. Assim, obteve-se a definição dos valores ofertados, com a determinação valores atribuídos em referencia as jornadas aplicados aos fatores de incidência encontrados em cada intervalo (ciclo). Particularmente, os ciclos c_0, c_1, \dots, c_4 e $c_{18}, c_{19}, \dots, c_{23}$ possuem peso atribuído zero, pois representam ciclos onde não existe energia coletável significante, em conformidade com a referencia solar e suas características utilizada.

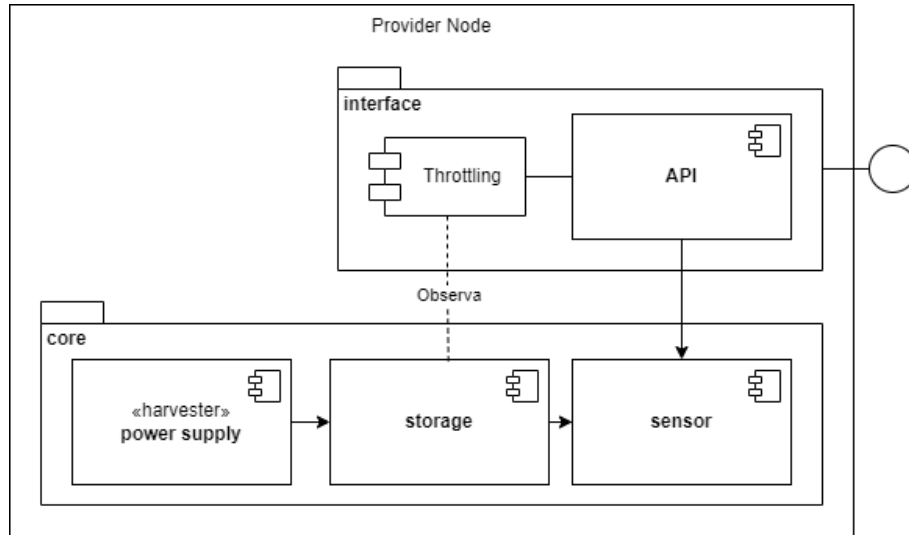
Os valores de cada ciclo são ofertados como estímulo ao node provedor no decorrer do experimento, e ao fim do ciclo 23 de uma dada jornada, inicia-se a jornada seguinte até que todos os 24 ciclos das 12 jornadas sejam ofertadas. Esta abordagem garante que todos os cenários previstos para o experimento foram cobertos em sua execução e seus resultados analisados na Seção 6.6.

6.3.1 Dispositivos

Foi construído um modelo capaz de representar um dispositivo sensor embarcado com os mecanismos do *throttling*, este node é uma abstração que deverá receber estímulos

como entradas energéticas em um cenário simulado, a medida que utiliza esses recursos para atender solicitações contínuas em uma interface de acesso provisionada. A visão geral do node provedor e componentes pode ser visto na Figura 14. Além disso, o código fonte do mesmo está disponível no repositório Git² para análise e colaboração.

Figura 14 – Componentes do Node Provedor.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os elementos idealizados que constituem o node provedor são referentes aos seguintes componentes:

Power Supply, é responsável por fornecer a energia necessária para o funcionamento do dispositivo, simulando a coleta de energia de acordo com os ciclos descritos na Tabela 1. O componente atuará em paralelo a outras atividades realizadas. Caso o armazenamento do dispositivo esteja completamente cheio, ainda assim os valores de entrada serão entregues, representando desperdício energético. O esgotamento energético do dispositivo não representa a incapacidade de receber novas entradas energéticas e com isso, assumir novos estados de operação.

Storage, responsável por armazenar os valores energéticos oferecidos mediante sua capacidade e a partir disso, oferecer a energia coletada, sendo um componente suplementar com o objetivo de manter disponibilidade energética do dispositivo sob certas circunstâncias. A capacidade definida para o *Storage* do node provedor pode ser ajustada e deve representar a aderência da configuração proposta para um *buffer* energético no cenário de uso.

Sensor, cabe a este componente simular as atividades executadas pelo dispositivo. Dentre as características presentes em Sensor, esta a indicação do gasto energético momentâneo mediante o estado que se encontra em referencia aos possíveis estados já apresentados na Figura 13. Assim, é possível configurar um node para embarcar um ou mais sensores,

² Código-Fonte do Node Provedor em <https://github.com/eusoupaulolopes/mst_experiments>.

mediante implementação da especificação de seus custos energéticos operacionais em cada estado possível. Assim, o dispositivo é capaz de simular um ou mais sensores diversos, temperatura, umidade, pressão, luminosidade, presença, entre outros, caso necessário.

Interface é o ponto de entrada para recebimento das solicitações de sensoriamento, componente de interação com o dispositivo. O mecanismo de *throttling* atuará acoplado a interface provida, controlando a vazão de atendimento a medida que permite ou bloqueia as requisições recebidas em garantia de manter o modo de operação em sincronismo ao estado das suas capacidades energéticas. Assim, uma vez atingido um limiar observado, instantaneamente o dispositivo poderá negar novas requisições ainda na interface, impedindo assim a propagação da mensagem que estimularia o seu grupo de sensores para atender a demanda solicitada, e através disso amortizando o gasto energético total do node.

6.4 Instrumentalização.

Para garantir a precisão e a confiabilidade dos dados coletados no experimento, alguns instrumentos de medição foram utilizados escolhido com base em sua adequação às necessidades específicas do experimento.

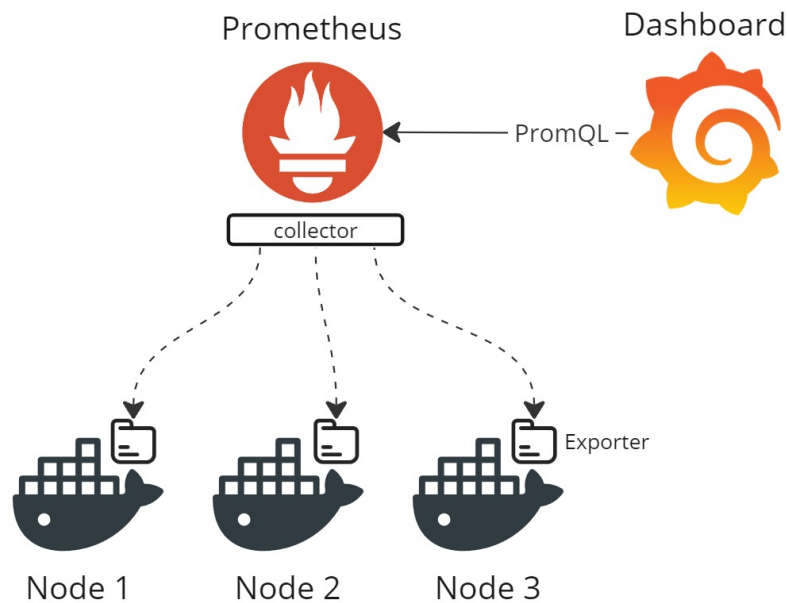
A coleta de dados foi realizada em intervalos regulares de 10 segundos definidos no plano experimental. Dada também a necessidade de armazenamento dos dados capturados, optou-se pelo sistema de coleta e monitoramento encontrado na solução Prometheus³, capaz de entregar os dados de maneira estruturada em um formato que facilita acompanhar a execução do experimento através dos logs gerados bem como análise futura do resultados.

Para tanto, de maneira transparente é embarcado no dispositivo um cliente Prometheus *Exporter* com a capacidade de expor os dados observáveis e de interesse periodicamente a um agente externo chamado *Collector*. Durante atividade de coleta, cabe ao agente coletor as ações de solicitar os dados providos no cliente e também armazenar os dados na forma de séries temporais em um modelo que permite consultas em um formato específico chamado PromQL - *Prometheus Query Language* e com isso possibilitando a visualização dos dados em gráficos customizáveis ou a criação de alertas, caso necessário.

Todos os dados recuperados pelo coletor são disponibilizados e mantidos no Prometheus. A Figura 15 ilustra a dinâmica entre node e agente externo coletor e por sua vez a disponibilidade dos dados para uma *dashboard*.

³ Disponível em <<https://prometheus.io/>>.

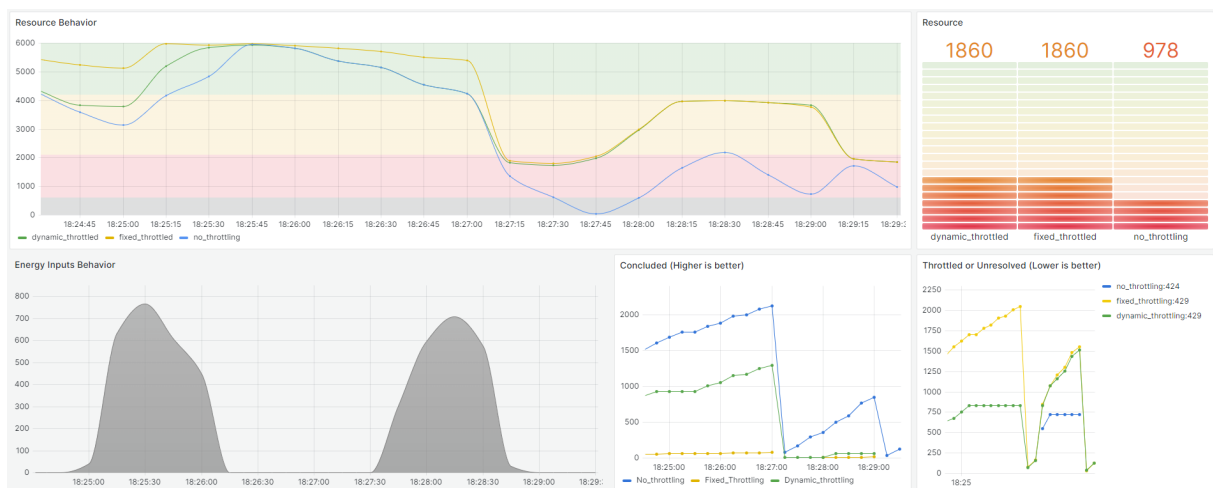
Figura 15 – Componentes do Node Provedor.



Fonte: elaborado pelo autor.

A concepção do quadro - *dashboard* para visualização dos dados é destinado para realizar consultas sobre os valores coletados ou acompanhar o comportamento dos nodes provedores ainda em tempo de execução do experimento, a Figura 16 apresenta o aspecto da interface de acesso.

Figura 16 – Dashboard para visualização dos resultados.



Fonte: elaborado pelo autor.

Vale destacar que o processo de instrumentalização não exerce influencia sobre a capacidade energética do node. Seu uso e custos são transparentes para a implementação em si, funcionando como um agente independente que não interfere nas dinâmicas energéticas colocadas em análise.

6.5 Execução.

6.6 Avaliação.

7 Considerações Finais

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Referências

ALBREEM, M. A. M. et al. Green internet of things (IoT): An overview. In: *2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*. Putrajaya: IEEE, 2017. p. 1–6. ISBN 978-1-5386-3960-3. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8312021/>. Citado na página 15.

AOUDIA, I. et al. Service composition approaches for internet of things: a review. *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, v. 22, 01 2019. Citado na página 27.

ASGHARI, P.; RAHMANI, A. M.; JAVADI, H. H. S. Internet of Things applications: A systematic review. *Computer Networks*, v. 148, p. 241–261, jan. 2019. ISSN 13891286. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389128618305127>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 26.

ASHTON, K. That internet of things. *RFID journal*, v. 22, n. 1, p. 1–7, 1999. Citado na página 14.

AVIZIENIS, A. et al. Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, v. 1, n. 1, p. 11–33, jan. 2004. ISSN 1545-5971. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1335465/>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

BURNS, B. *Designing Distributed Systems: Patterns and paradigms for scalable, reliable services*. [S.l.: s.n.], 2018. 165 p. Citado na página 18.

DOUMENIS, G.; MASKLAVANOS, I.; TSIAPALI, K. Lightweight operation scheduling for self-powered IoT devices. In: *7th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference, SEEDA-CECNSM 2022*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85142218344&doi=10.1109%2fSEEDA-CECNSM57760.2022.9932933&partnerID=40&md5=74c0e93ff29c0f4d89f82400bd95b23b>. Citado na página 15.

KAHLOUL, L.; BENHARZALLAH, S.; AOUDIA, I. Service composition approaches for Internet of Things: a review. *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, v. 23, n. 1, p. 1, 2019. ISSN 1754-3916, 1754-3924. Disponível em: <http://www.inderscience.com/link.php?id=10017271>. Citado na página 27.

KANSAL, A. et al. Power management in energy harvesting sensor networks. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, v. 6, n. 4, p. 32, set. 2007. ISSN 1539-9087, 1558-3465. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1274858.1274870>. Citado 5 vezes nas páginas 15, 16, 17, 24 e 28.

KHAIRNAR, P.; MEHTA, N. Discrete-rate adaptation and selection in energy harvesting wireless systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, v. 14, n. 1, p. 219–229, 2015. Publisher: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84921364757&doi=10>.

1109%2fTWC.2014.2337296&partnerID=40&md5=05e2f699bfe37e504c08495825bbe46f>. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 31.

KHAN, J. et al. Energy management in Wireless Sensor Networks: A survey. *Computers and Electrical Engineering*, v. 41, n. C, p. 159–176, 2015. Publisher: Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84927798837&doi=10.1016%2fj.compeleceng.2014.06.009&partnerID=40&md5=86f9fbcdebfd5c25ff80fd1630199d5a>>. Citado na página 25.

KWASNIK, B. The Role of Classification in Knowledge Representation and Discovery'. 1999. Citado na página 20.

LEE, Y.; PARK, M. Energy management for solar-powered IoT devices with performance adjustment. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, p. 22–30, 2018. ISSN 23154462, 23733594. Disponível em: <<http://www.ijsgce.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=77&id=406>>. Citado na página 30.

LIU, W. et al. Energy Harvesting Wireless Sensor Networks: Delay Analysis Considering Energy Costs of Sensing and Transmission. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, p. 1–1, 2016. ISSN 1536-1276. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7435327/>>. Citado na página 31.

LUND, D. et al. Worldwide and regional internet of things (iot) 2014–2020 forecast: A virtuous circle of proven value and demand. *International Data Corporation (IDC), Tech. Rep*, v. 1, n. 1, p. 9, 2014. Citado na página 14.

MARTINEKUAN. *Throttling pattern - Azure Architecture Center*. 2019. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/throttling>>. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 31.

MARTINS, F. R. et al. Atlas brasileiro de energia solar 2. Inpe, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 44.

MERRETT, G. V.; AL-HASHIMI, B. M. Energy-driven computing: Rethinking the design of energy harvesting systems. In: *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), 2017*. Lausanne, Switzerland: IEEE, 2017. p. 960–965. ISBN 978-3-9815370-8-6. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7927130/>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 18 e 28.

MIORANDI, D. et al. Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad hoc networks*, Elsevier, v. 10, n. 7, p. 1497–1516, 2012. Citado na página 14.

PRAUZEK, M. et al. Energy Harvesting Sources, Storage Devices and System Topologies for Environmental Wireless Sensor Networks: A Review. *Sensors*, v. 18, n. 8, p. 2446, jul. 2018. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2446>>. Citado na página 28.

SHAIKH, F. K.; ZEADALLY, S. Energy harvesting in wireless sensor networks: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 55, p. 1041–1054, mar. 2016. ISSN 13640321. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115012629>>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.

SINGH, J.; KAUR, R.; SINGH, D. A survey and taxonomy on energy management schemes in wireless sensor networks. *Journal of Systems Architecture*, v. 111, p. 101782, dez. 2020. ISSN 13837621. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S138376212030076X>>. Citado na página 15.

SLIPER, S. T. et al. Energy-driven computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 378, n. 2164, p. 20190158, fev. 2020. ISSN 1364-503X, 1471-2962. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2019.0158>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 18 e 29.

SUDEVALAYAM, S.; KULKARNI, P. Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 13, n. 3, p. 443–461, 2011. ISSN 1553-877X. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5522465/>>. Citado 4 vezes nas páginas 16, 17, 25 e 28.

TUTTIEMPO. *Tempo em Natal - RN*. 2023. Acesso em: 12 dez. 2023. Disponível em: <<https://pt.tuttempo.net/natal.html>>. Citado na página 44.

USMAN, M. et al. Taxonomies in software engineering: A Systematic mapping study and a revised taxonomy development method. *Information and Software Technology*, v. 85, p. 43–59, maio 2017. ISSN 09505849. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950584917300472>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

WEI, C.; JING, X. A comprehensive review on vibration energy harvesting: Modelling and realization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, p. 1–18, jul. 2017. ISSN 13640321. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117300837>>. Citado na página 30.

YANG, G. et al. A health-iot platform based on the integration of intelligent packaging, unobtrusive bio-sensor, and intelligent medicine box. *IEEE transactions on industrial informatics*, IEEE, v. 10, n. 4, p. 2180–2191, 2014. Citado na página 15.

ZHANG, Y. et al. Toward a Perpetual IoT System: Wireless Power Management Policy With Threshold Structure. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 5, n. 6, p. 5254–5270, dez. 2018. ISSN 2327-4662, 2372-2541. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8493154/>>. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 36.

ŠMITE, D. et al. An empirically based terminology and taxonomy for global software engineering. *Empirical Software Engineering*, v. 19, n. 1, p. 105–153, fev. 2014. ISSN 1382-3256, 1573-7616. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10664-012-9217-9>>. Citado na página 21.

Anexos

ANEXO A – Título deste anexo

