



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 dispositivo 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 – Etapas do Estudo Experimental.	39
Figura 11 – Dinâmica do fornecimento energético Dispositivo Provedor.	41
Figura 12 – Máquina de estados do Dispositivo.	43
Figura 13 – Componentes do dispositivo Provedor.	46
Figura 14 – Coleta e visualização dos dados.	48
Figura 15 – Dashboard para visualização dos resultados.	48

Lista de tabelas

Tabela 1 – Valor disponibilizado por entrada	44
Tabela 2 – Característica das execuções	49
Tabela 3 – Dispositivos Simulados	50

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	Dispositivo Provedor	26
4.3.2	dispositivo 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	33
4.6.2	Motivadores	35
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	45
6.4	Instrumentalização.	47
6.5	Execução.	49
6.6	Avaliação.	50
Capítulo 7		50
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS		52
ANEXOS		55
ANEXO A – TITULO DESTE ANEXO		56

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)

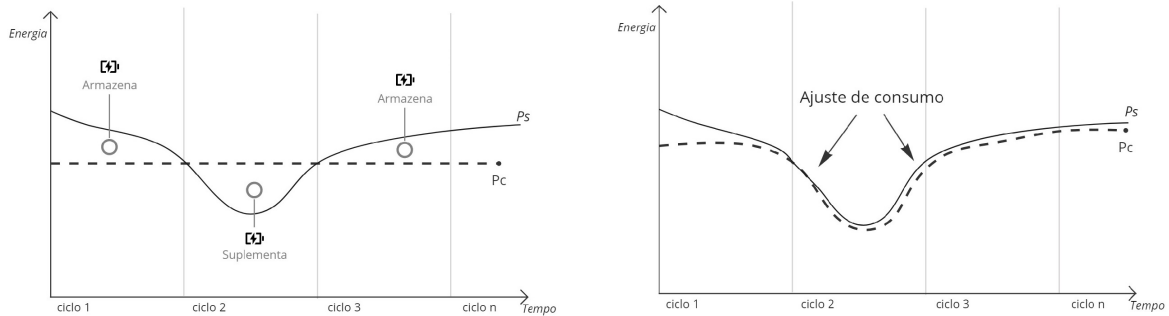
A visão do cenário acima proporciona ao dispositivo a capacidade de manter seus níveis de operação, abstraindo em algum nível as variações de energia coletada. Pois seja $P_s(t)$ a entrada energética em dado momento e $P_c(t)$ a energia consumida nos ciclos de carga, é possível encontrar a dinâmica apresentada na Figura 2a, em momento de abundancia energética o dispositivo 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 dispositivo 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

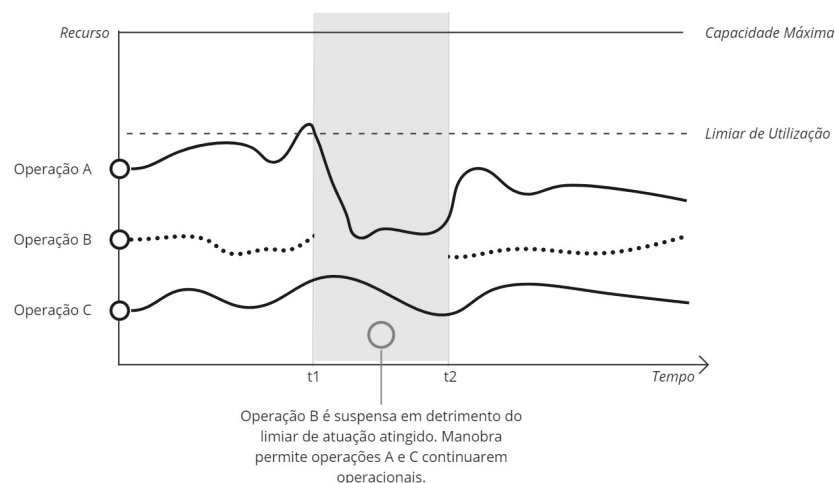
como escalabilidade, confiabilidade ou disponibilidade são notavelmente recorrentes e semelhantes.

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.

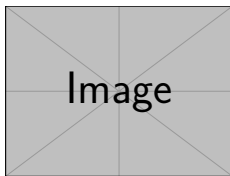


Figura 4 – Aqui vou colocar uma figura apresentando os dois grupos da taxonomia

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 dispositivos provedores, cabe a responsabilidade de compartilhar seus recursos com outros 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 medida pela quantidade de mensagens trocadas entre dispositivos 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 de um dispositivo 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 dispositivo: *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 de disponibilidade.

4.2 Taxonomia Proposta

A Figura?? ilustra a taxonomia proposta e os pontos abordados no processo de uso do padrão *throttling* como alternativa para garantir disponibilidade nos dispositivos presentes em um ambiente 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,

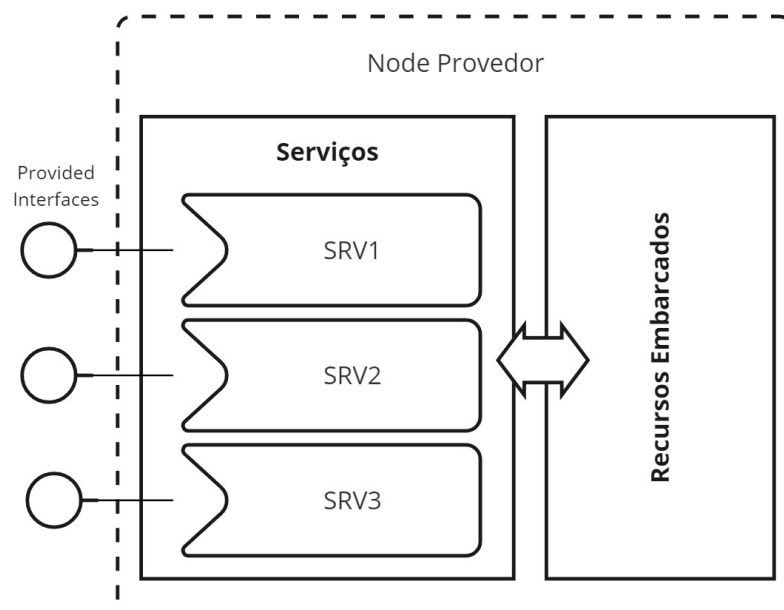
como funcionalidade, desempenho, confiabilidade e segurança (AVIZIENIS et al., 2004). No contexto da Internet das Coisas (IoT), é crucial considerar sua capacidade de se comunicar com outras entidades, atuando em conjunto através do compartilhamento de recursos, características embarcadas nos dispositivos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

4.3.1 Dispositivo Provedor

Em qualquer instância onde um dispositivo oferece um estado ou responde a uma solicitação de recurso, ele assume o papel de provedor. Geralmente, um dispositivo 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 clientes.

Um Serviço, representa ao dispositivo provedor a forma como este lida com seus recursos embarcados. Os serviços motivam a dinâmica de mudanças de estado internos e por sua vez impactam diretamente na dinâmica de operação do dispositivo. Por exemplo, tomemos um sistema de iluminação pública que solicita ações a seus dispositivos encontrados dispostos em um ambiente motivados por algum evento. Assim, este sistema atua de tal forma que solicita ao dispositivo para que acione um recurso em razão de tal evento no mesmo ambiente onde o agente com capacidade de iluminação está inserido. Tal ação é ofertada pelo dispositivo via serviço que por sua vez impactará em algum desgaste dos componentes envolvidos e a utilização de seus recursos energéticos necessários.

Figura 6 – Representação dispositivo Provedor.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.2 dispositivo Cliente

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

4.4 Operações

Operações consiste no fluxo de mensagens comunicáveis trocadas entre dispositivos clientes e provedores. Uma operação é realizada de duas formas: quando um cliente através de mensagens solicita estado de um provedor. De outra maneira, um provedor ativamente pode disponibilizar um estado, dito externo para que um cliente possa utiliza-lo.

Mensagem é uma unidade atômica de informação que independente do seu formato é utilizado para as mais diversas ações de acordo com o que se destina a colaboração entre dispositivos, 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 dispositivo cliente solicita mensagens distintas à um ou vários dispositivos 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 *IoT*s. Para tal, precisa-se considerar o modo de operação dos dispositivos, seus estados e recursos pois 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 dispositivo 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 esta taxonomia,

características como capacidade de processamento, armazenamento ou transmissão de dados 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, por sua vez refere-se a dois grupos: da capacidade de coleta do dispositivo e a da capacidade de armazenamento e disponibilização dessa energia previamente coletada. Arquitetura de sistemas dirigidos a energia com capacidade de coleta são projetados para usar recursos energéticos de maneira eficiente como descrito em (PRAUZEK et al., 2018) sua aplicação é especialmente útil em cenários onde a energia para alimentar os dispositivos é escassa. Um recurso energético é uma fonte natural ou artificial de energia que apropriadamente pode ser convertida em energia utilizável suplementando as necessidades para realizar operações.

No cenário proposto, observar esses recursos energéticos assume um papel importante pois é essencial para garantir o funcionamento contínuo e autônomo dos dispositivos envolvidos, cabendo ao agente embarcado suas ações de coleta, transformação, armazenamento e utilização o recurso energético, projetado de maneira a capacitar o dispositivo a operar enquanto busca um cenário de neutralidade energética.

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 dispositivo, 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 está 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 dispositivo continuamente. Conforme (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017), um dispositivo não precisaria de um *buffer* energético, desde que seu funcionamento fosse orientado às características *Power-Neutral*. Assim, a energia coletada deve satisfazer os valores de operação plena ou pelo menos o mínimo necessário para o funcionamento depreciado. Assim, caso a energia coletada não seja suficiente, o dispositivo prontamente adaptará o fornecimento dos seus recursos buscando enquadrar-se

a disponibilidade energética corrente para, posteriormente, caso o nível de fornecimento energético se restabeleça, tenha sua operação normalizada. Em alguns casos, quando prontamente é detectado níveis energéticos abaixo do necessário até para o funcionamento circunstanciado do dispositivo, é possível com alguma antecipação do cenário realizar rotina que vise preservar seu estado mediante criação de *checkpoints*, assim restabelecida as condições energéticas, retornar para um estado desejado, característica de um sistema intermitente apresentado por SLIPER et al. (2020).

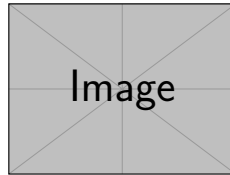


Figura 7 – Aqui vou colocar uma figura power-neutral

- Coleta, Armazena e Usa (*Harvest-Store Use*): Dispositivos inseridos em um dado ambiente coletam energia do meio para seu uso. Todavia, precisam lidar com o dinamismo da natureza energética coletada, embarca-se a capacidade de armazenar energia coletada em um *buffer* e assim, disponibilizar esta entrada para uso nos ciclos do dispositivo. Este modelo tem objetivo reduzir problemas derivados da variação do montante energético coletado pelo EHS, seja pela momentaneamente pela escassez de energia disponível ou depreciação do modelo de coleta.

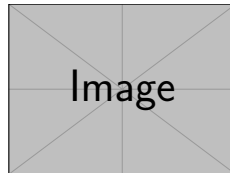


Figura 8 – Aqui vou colocar uma figura energy-neutral

A depender da especificidade dos ambientes onde os dispositivos se encontram, técnicas podem ser utilizadas para a extração de energia disponível, a conversão de fontes renováveis 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, capacidade do dispositivo e a natureza da fonte energética que objetiva-se coletar. Em geral, a divisão das características dos ambientes já descrito em (SHAIKH; ZEADALLY, 2016) é referencia utilizada para categoriza-las de acordo com seus ambientes, assim a analisar as características das fontes energéticas, temos:

- 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 das 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 dispositivos com restrições energéticas e capacidade de coleta, pois claramente caso o recurso energético deste seja esgotado o mesmo não será capaz de cumprir seu papel, sob a condição do restabelecimento deste recurso 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 na forma de conceber este *buffer* denominado *Storage*. É possível distinguir dois padrões de armazenamento para as capacidade energética presente em um dispositivo que busca observar a relação entre a saída energética e o gasto energético do dispositivo. Segundo o modelo, a habilidade para coletar e a necessidade de disponibilidade devem ser definidas

em um acordo de serviço [SLA](#). Portanto, um dispositivo deve ter sua capacidade de armazenamento definida em:

- dispositivo provedor sem *Storage*: Aqui não existe a necessidade estrita da gestão de recursos elétricos pois caso não exista energia suficiente o dispositivo poderá adaptar-se na tentativa de alinhar a necessidade energética ao fornecido no momento, em outros casos, sua operação se assemelhará a operação transientes já caracterizado por SLIPER et al. (2020), preparados para interromper suas atividades e, ao restabelecer sua entrada energética disponível, retornar a partir de um ponto previamente estabelecido (*checkpoint*).
- dispositivo provedor com *Storage*: Neste caso, um dispositivo 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 assim, ser disponibilizada em ciclos. Aqui os dispositivos operam em um regime de Coleta, Armazenamento e Uso.

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 dispositivo 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 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 dispositivo. Definir limiares de operação realísticos que atendam as necessidades de um dispositivo 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 as atividades realizadas nos ciclos enquanto se objetiva conservar-se.

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 clientes podem fazer requisições ao dispositivo provedor. Do ponto de vista da disponibilização dos recursos, durante um ciclo de carga, um dispositivo 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 cliente com menor prioridade, caso necessário.

Uma vez definido um limiar de atuação, sua ação pode ser constante durante todo funcionamento do dispositivo, assim o mesmo valor limiar é aplicado independente de outros fatores, outra possibilidade é definir vários limiares que agem adaptativamente de acordo com os modos de operação mapeados, tão logo determinado cenário seja alcançado, o dispositivo 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 das operações esperadas para o dispositivo. Em síntese:

- Limiar constante: Seu valor é fixado e estabelecido enquanto o dispositivo 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 momento em que atividades são realizadas.

Por exemplo, considere um dispositivo 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, irá ativamente rejeitar ou atrasar o atendimento das solicitações de serviço até que o valor de requisições retorne ao nível aceitado.

Esta abordagem, é bastante útil caso se conheça bem as capacidades do dispositivo 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 dispositivo provedor, não é garantido 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 dispositivo é ajustado dinamicamente, por isso pode assumir um comportamento mais adequado ao observar suas condições de funcionamento através do monitoramento ou análise dos seus recursos. Permitindo atender as solicitações dos clientes, com performance adequada aos termos de operação que se encontre. Por exemplo, dado um sistema de segurança que geralmente possui dispositivos 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 demandante devidamente conhecido. Seja uma mudança observada em seus termos de funcionamento, o dispositivo poderá ter faixas de limiares distintas adequando-se ao estado encontrado, por exemplo, operações diurnas ou noturnas, conservando-se e garantido seu funcionamento dentro do acordo de serviço estabelecido.

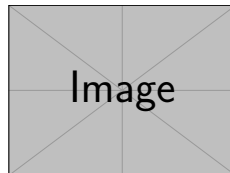


Figura 9 – Aqui vou colocar uma figura A e B com as diferentes atuações do limiar.

Graças a isso, o dispositivo com limiares de atuação adaptáveis será capaz de adequar seu modo de operação em diferentes zonas de uso, depreciando seus serviços como mudança de comportamento, seja para interromper ou reduzir sua taxa da transmissão, aumentando seu tempo de inatividade e assim mitigar riscos funcionais enquanto se encontra em um modo mais ou menos parcialmente restrito. Uma vez que os recursos energéticos observáveis se restabeleçam, pode-se assumir um comportamento de uso que acentua o uso dos recursos disponíveis, incentivado pelo novo valor estipulado para o limiar de consumo. Esta capacidade de adaptação, permite que dispositivos mantenham algum equilíbrio entre conservação de recursos e performance, sustentado pela adaptação promovida pelos modos de operação definidos, garantindo suas funcionalidades em termos das condições operacionais.

Qualquer aspecto que impacte ou influencie na capacidade do dispositivo 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 dispositivo para mante-lo adequado mediante evitar seu esgotamento energético. Para tal, se apresentam como os garantidores das condições energéticas do dispositivo: 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 dispositivo pode ser ajustado de acordo com as circunstâncias. Diferentes meios são usados no processo de construção do mecanismo *throttling* a depender das características de atuação do dispositivo executará e a intenção particular ao limitar suas operações. Assim, os meios de atuação decorrem sobre:

- Meio 1: Atuação sobre dispositivos clientes;
- Meio 2: Atuação sobre atividades do dispositivos provedor;
- Meio 3: Atuação sobre degradação intencional de componentes envolvidos.

O Meio 1 utiliza os mecanismos de throttling ao considerar a necessidade de observar as capacidades dos clientes em relação de sua taxa de vazão ou a criticidade de suas operações. Sobre a taxa de vazão, espera que o limitador aplicado atue sobre a taxa de recebimento das mensagens em acordo com a capacidade e suas restrições para lidar com tais eventos. Sendo assim, o dispositivo cliente poderá limitar sua vazão para envio de novas solicitações ou a sua disponibilidade para recebimento de novas informações de acordo com o modo de operação encontrado em decorrência das capacidades observadas que classificam o modo.

Entende-se por criticidade de um cliente, o atributo que indica fundamentalmente a importância das operações realizadas por este dispositivo em detrimento as consequências da não realização de uma operação dita crítica. Assim, é previsto dois cenários: um primeiro onde todas as operações tem igual importância para este dispositivo, e um segundo, onde existam operações classificadas mais importantes ou críticas que outras. Sendo assim, de acordo com o segundo cenário, justifica-se que tais operações possam encontrar um cenário com limiar de *throttling* aliviado e por isso, cabe observar e definir tais valores para que dado aconteça operações privilegiadas, exista também a justificativa de maior tolerância quanto ao uso de recursos para o cumprimento destas.

Certamente, para que seja possível um maior gasto de recursos pelas operações críticas, cabe também ao projeto definir regras de compensação onde caso necessário, o dispositivo poderá reduzir seu limiar para outras demandas, motivados a preservar parte do seus recursos que em outro momento seria utilizado por estas demandas menos privilegiadas.

Meio 2 compreende o controle de atuação no dispositivo provedor. De acordo com o seu estado durante um ciclo os mecanismos de throttling poderão atuar em conformidade aos recursos encontrados. 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 de um dispositivo provedor, é definida pela sua capacidade em atender demandas dos diversos solicitantes durante um espaço de tempo, seja por limitação de transmissão ou por sua capacidade computacional em realizar tais operações ou mesmo seu modo de operação definidos em relação aos recursos energéticos. Sendo assim, o mecanismo de throttling poderá se valer dos limiares estipulados através da análise dos recursos para operação e, a partir daí, dado o cenário encontrado, limitar o

atendimento as solicitações de solicitantes considerados excessivamente demandantes ou menos privilegiados.

Quanto a observação das operações realizadas pelo dispositivo provedor, estas tem seu grau de criticidade atrelado a importância de tal operação na conjuntura ao que se destina o dispositivo. É importante destacar que a definição de limiares sempre busca garantir que o dispositivo não consuma seus recursos de maneira desnecessária, aqui considerado um gasto excessivo. O Limiar de atuação deveria ser revisto idealmente a todo momento que o panorama encontrado pelo dispositivo mude, seja pelo fim de um ciclo de atividades ou a medida que solicitantes sejam atendidos. Com isso, dado limiar deverá atuar protegendo o dispositivo provedor no decorrer de sua mudança de estado ao passo que realiza as operações.

O limiar de atendimento de operações poderá suportar um sistema hierárquico, similar ao já definido sobre a criticidade das operações dos dispositivos clientes. Neste caso, é de conhecimento do dispositivo provedor quais solicitantes privilegiados terão suas operações realizadas mesmo em um cenário mais restrito, outro ponto é que dado a criticidade da operação pode-se fazer distinções, tolerando mais operações de um tipo considerado privilegiado.

Pode-se ainda, anexar ao conjunto relacionado aos fatores utilizados para definição do limiar das operações, os aspectos ligados a degradação ativa nos componentes envolvidos nas operações ofertadas ou apenas de uso interno do dispositivo. Ao limitar alguma operação, apresenta-se a oportunidade para que o *throttling* no dispositivo também possa restringir o uso de recurso energético de algum componente inativo, neste caso, cercear parcial ou totalmente a utilização energética dos componentes envolvidos com tais operações limitadas.

Compreende os mecanismos dispostos no Meio 3, 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 durante ciclos, especialmente quando não existe uma previsibilidade de uma nova oferta energética. Por exemplo, os aparelhos móveis possuem a capacidade para que, dado limiar de sua reserva energética (*Storage*) seja atingido, limita-se ativamente os componentes menos críticos, por exemplo câmeras de alta definição 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 dispositivo. Este,

também deve considerar a atuação do mesmo enquanto dispositivo IoT.

A entrada energética em 4.5.1, indica a capacidade do dispositivo em captar recursos energéticos através de um mecanismo de coleta, uma vez que um dispositivo receba esta entrada, dará início um novo ciclo que por sua vez durará até a próxima oferta energética. Sobre a capacidade de armazenar energia, como decorrido em 4.5.2 indica sua reserva energética (*Storage*) onde, em momento adequado, poderá fazer uso para manter-se operacional.

A capacidade do dispositivo em entender a dinâmica dos fatores que interagem com os valores coletados na forma de entrada energética através do seu *Power Supply* e reserva (*Storage*) é fundamental para garantir maior disponibilidade. Estes fatores compreende os observáveis, grupo motivador do ajuste de comportamento dos mecanismos providos pela atuação do *throttling*.

Desta forma, a mudança de comportamento do dispositivo motiva-se em: tão logo os fatores de tomada de decisão forem alcançados, adequar-se para que estes fatores agora considerados divergentes, sejam superados motivados pela mudança de modo de operação buscando retornar ao cenário que representa as capacidades de atendimento do dispositivo. Por isso, o agente limitador deve agir de maneira suficientemente rápida para que a mudança de estados seja alcançada o mais brevemente possível, referente à capacidade do dispositivo em dispender recursos para realizar operações.

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 dispositivos em limitar seu comportamento passa pela análise do estado dos recursos observáveis e a intenção que se deseja alcançar em acordo com agente limitante.

Assim, caso um limiar de atuação seja atingido a alteração de comportamento precisa ocorrer de modo adequado, mitigando, com isso, perdas desnecessárias ou não previstas, causadas por ajuste inapropriados de comportamento. Considerando que o ajuste demorado potencialmente coloca o dispositivo em não ter um modo de operação adequando às suas condições reais.

Para justificar a atuação dos mecanismos de limitação, é preciso definir quais os motivadores, Sendo estes o propósito declarado para restringir operações em concordância com a causa motivadora. Assim, é de interesse dos aspectos relativos a considerações das capacidades energéticas do dispositivo, 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 moti-

vador de um agente limitante embarcado em dispositivos com restrições energéticas, pretende-se com isso manter o dispositivo 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 dispositivo 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 dispositivo 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

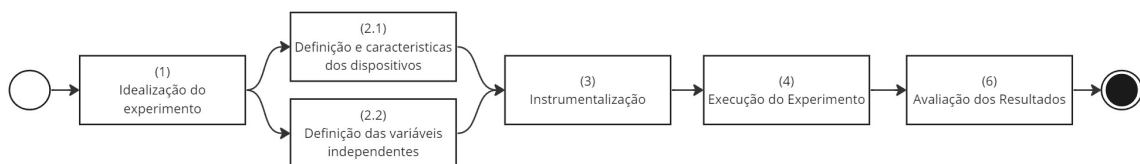
Este capítulo consiste em apresentar o estudo, envolve a concepção de contexto do experimento, das configurações e características dos elementos envolvidos, a seleção das variáveis influenciadoras, o controle e a instrumentação do experimento, sua execução, a captura de dados durante experimentação, 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 10 – 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 10 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 dispositivos 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 solicitações. 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

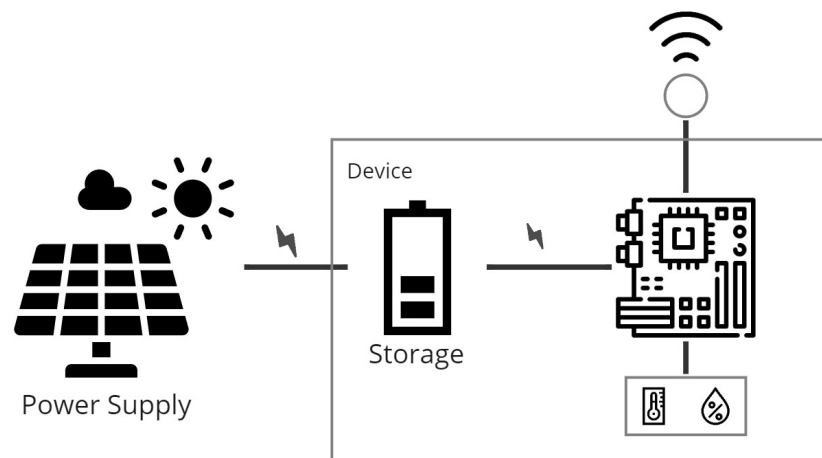
¹ O Docker é uma plataforma de virtualização que simplifica o desenvolvimento, envio e execução de aplicativos em contêineres. Disponível em <<https://www.docker.com/>>.

dos resultados e avaliação de conformidade com a taxonomia proposta.

O cenário foi idealizado para simular a atuação de dispositivos em dado um ambiente externo. Nele, provedores devem atender as solicitações de operações à medida que são providos energeticamente. Decorrente desta dinâmica, cabe ao provedor, com base nas condições energéticas, decidir se é capaz ou não de realizar a operação solicitada. Para atingir esse objetivo, o mecanismo de *throttling* deverá atuar observando os recursos energéticos disponíveis.

Ainda nesta etapa, foi necessário considerar uma configuração de componentes adequadas que pudessem representar minimamente um dispositivo com capacidade de coleta energética. Com esse objetivo, concebeu os aspectos de armazenamento (*Storage*) e sua entrada energética simulando um valor coletado através de um *Power Supply*. Assim, a dinâmica energética segue-se ao passo que um valor energético é apresentado em ciclos ao *Storage*, que armazena e fornece os valores armazenados uso dos demais componentes presentes. A Figura 11 ilustra, a dinâmica energética de funcionamento do dispositivo.

Figura 11 – Dinâmica do fornecimento energético Dispositivo Provedor.



Fonte: elaborado pelo autor.

Em consequência, acontecendo disponibilidade energética, cabe ao dispositivo armazená-la a medida que os valores vão sendo apresentados. Paralelamente, os valores energéticos são disponibilizados na forma de recurso que deverá ser dispendido a medida que realiza as operações solicitadas.

Finalmente, o dispositivo deverá em todo seu funcionamento atuar dinamicamente em conformidade com os modo de operação projetados que representem 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 recursos

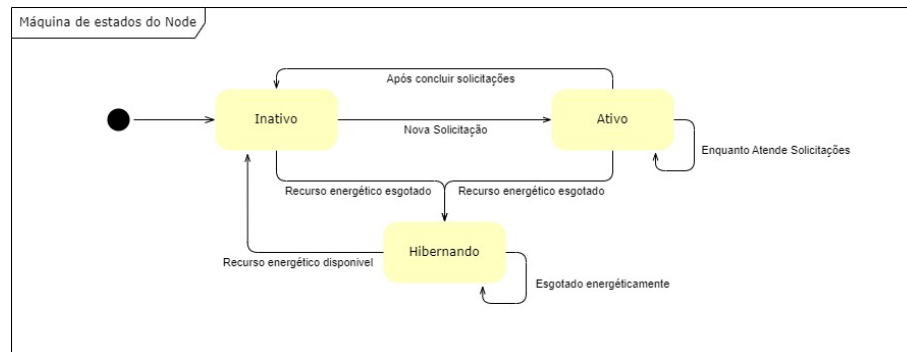
energéticos amplamente disponíveis, permitindo o funcionamento completo e otimizado de todas as suas funcionalidades. Aqui, atenderá quaisquer solicitação enviada, sem atuação do mecanismo limitante, aproveitando ao máximo a disponibilidade de energia;

2. Modo Atenção: Uma vez atingido este patamar, o dispositivo ainda apresenta condição energética razoável, porém moderadamente restringirá algumas operações atendidas com a motivação de preservar parte dos recursos até que um novo cenário energético seja apresentado;
3. Modo Alerta: É alcançado quando o dispositivo está operando com recursos energéticos extremamente limitados. Algumas operações ainda podem ser realizadas (conforme privilégios das operações ou solicitantes). Este modo motiva-se na intenção de prolongar a funcionalidade básica do dispositivo a todo custo enquanto tenta evitar a entrada no Modo Hibernação.
4. Modo Hibernação: Este modo é ativado quando não possui mais recursos energéticos disponíveis para realizar operações. O dispositivo entrará em um estado de hibernação ou equivalente até que recursos energéticos sejam recuperados. Nenhuma ação de limitação acontecerá durante esse modo, caso hiberne, o dispositivo encontra-se esgotado energeticamente.

Um modo de operação representa como o mecanismo de *throttling* agirá em detrimento do valor disposto em sua reserva energética, assim pode contribuir reduzindo a utilização dos recursos, amortizando ou interrompendo o uso energético nos serviços ofertados no dispositivo a medida que limita à capacidade de atendimento as solicitações.

Naturalmente, os modos de operação podem sofrer variação, cabe a análise das especificidades e natureza que se destina cada implementação, para assim, dado o exame desses fatores que repousa na classe Meios da taxonomia Subseção 4.6.1.1, definir apropriadamente quais modos serão necessários para o dispositivo. Estes modos guiam a capacidade de mudança dos estados do dispositivo. Uma vez que, são justificados por tal modo a reduzir a quantidade de solicitações atendidas, proporcionando momentos em um estado de inatividade forçada contribuindo a utilização reduzida de recursos. De maneira geral, a dinâmica dos estados do dispositivo pode ser visualizada na Figura 12.

Figura 12 – Máquina de estados do Dispositivo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Por fim, os estados possíveis para o dispositivo são descritos como:

- Estado Inativo: Aqui o dispositivo estará consumindo a menor quantidade de recurso energético possível. Enquanto inativo, encontra-se ocioso sem realizar nenhuma tarefa à medida que aguarda novas solicitações ou seja o caso necessário, aguarde nova entrada energética disponível, para atender solicitações anteriormente recusadas.
- Estado Ativo: Um dispositivo é considerado ativo enquanto atende solicitações. Nesse estado o dispositivo utilizará os recursos energéticos necessários para realização das atividades mediante o consumo desses recursos.
- Estado Hibernando: No experimento, o estado hibernando é a indicação que o dispositivo não tem mais capacidade de assumir qualquer outro estado enquanto não receber recursos energéticos, seja por modo contundente de preservação ou em decorrência do esgotamento de suas reservas. Portanto, neste estado, um dispositivo não realizará qualquer atividade.

A relação entre modos de operação e estados deixa implícita presença do mecanismo limitante e atuação implementada em cada modo, contribuindo para que o dispositivo permaneça em um estado de inatividade à depender das condições estabelecidas em que se encontra com a motivação de preservar ou restabelecer sua condição energética. Sendo assim, uma vez em determinado modo, o dispositivo terá uma quantidade potencial de atendimento das operações, estas, colocam o dispositivo em um estado ativo. Caso atinja valor limitador do modo, novas operações passam a ser negadas, e por sua vez, o dispositivo entrará em inatividade, reduzindo seu gasto energético.

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 dispositivo, 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 originários são expressos em Wh , todavia para abstração criada a unidade de medida é utilizada apenas para manter a grandeza de comparação entre os ditos valores 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 c_i (para $i = 0, 1, 2, \dots, 23$) representa

o aspecto da incidência solar em dado instante i em relação ao total esperado para uma jornada J (na totalidade dos 24 ciclos). Para atribuição dos pesos dispostos, foi utilizada a referencia disponibilizada em TUTIEMPO (2023) para o dia 12 de dezembro de 2023. Aqui destaca-se 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 objetivo do experimento, a medida que aparentemente aproxima-se de termos que caracterizam fonte energética solar.

Sendo assim, obteve-se a valoração das quantidades ofertadas como entrada energética, em referencia as jornadas aplicados aos fatores de incidência encontrados em cada ciclo. Finalmente, os ciclos c_0, c_1, \dots, c_4 e $c_{18}, c_{19}, \dots, c_{23}$ possuem peso atribuído nulo, representam ciclos onde não existe energia coletável significativa, em conformidade com a referencia solar e suas características utilizadas, motivo para estarem suprimidas na Tabela 1.

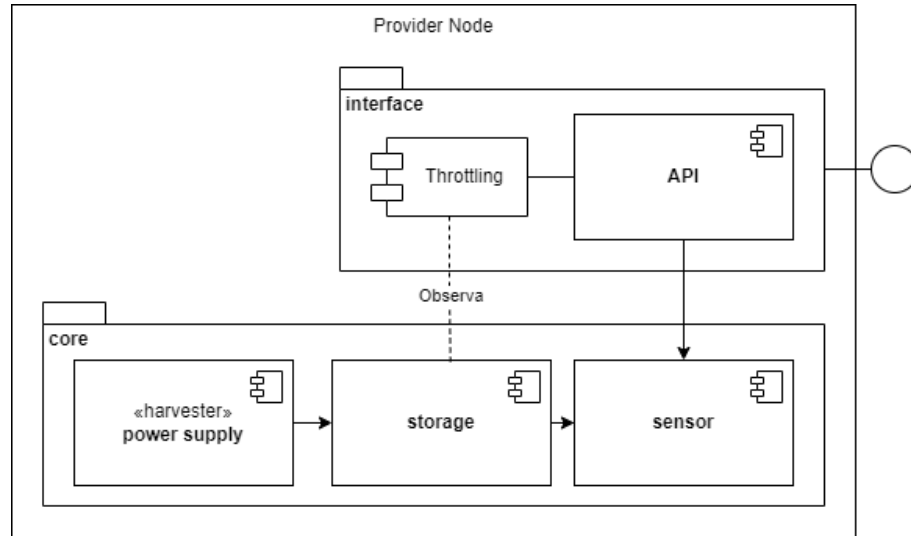
Os valores de cada ciclo são ofertados como estímulo ao dispositivo provedor no decorrer do experimento, e ao fim do ciclo c_{23} de uma dada jornada J_i , inicia-se jornada J_{i+1} seguinte até que todos os ciclos presentes nas em 12 sejam ofertadas. Esta abordagem garante que todos os cenários previstos para o experimento são cobertos em sua execução e possibilita a geração e análise dos resultados obtidos.

6.3.1 Dispositivos

Foi construído um modelo capaz de representar um dispositivo sensor embarcado com os mecanismos do *throttling*, este dispositivo 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 dispositivo provedor e componentes pode ser visto na Figura 13. Além disso, o código fonte do mesmo está disponível no repositório Git² para análise e colaboração.

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

Figura 13 – Componentes do dispositivo Provedor.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os elementos idealizados que constituem o dispositivo 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 dispositivo 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 12. Assim, é possível configurar um dispositivo para embarcar um ou mais sensores, 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 sensoramento, 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 solicitações 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 solicitações 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 dispositivo.

6.4 Instrumentalização.

Os processos executados para instrumentação foram fundamentais para garantir a precisão e confiabilidade dos dados gerados durante a execução do experimento. Para isso, foram utilizadas algumas soluções e o processo de decisão e escolha entre as ferramentas se deu com base na adequação à necessidade específica do experimento realizado. Além de cobrir os aspectos de coleta dos dados de forma objetiva, também foi essencial para os critérios de visualização e análise dos resultados.

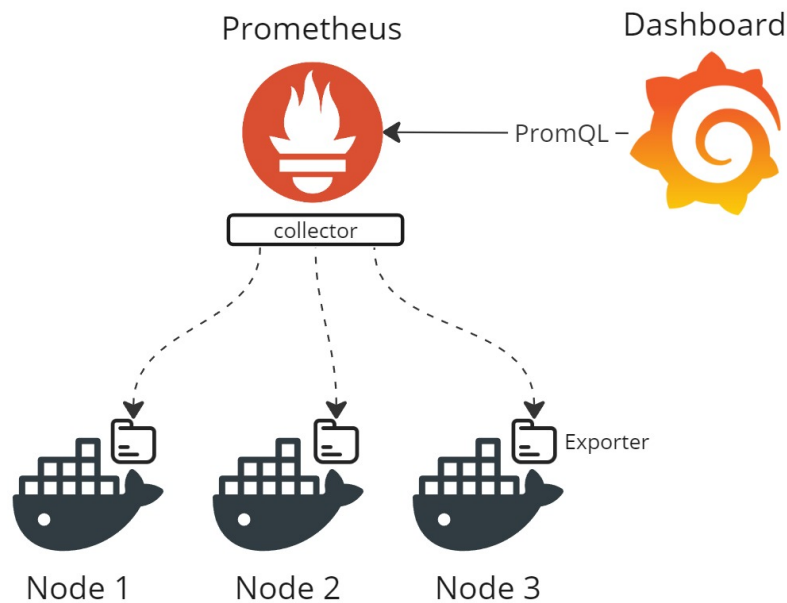
O processo de coleta dos dados deve acontecer em intervalos regulares de 10 segundos definidos no plano experimental, assim, todos os dados gerados são coletados simultaneamente em todos dispositivos. Cabe também a necessidade de armazenamento dos dados capturados para análise, que pode acontecer sincronizadamente durante execução ou em momento posterior. Para isso, justifica-se a preferencia de uso por uma ferramenta de uso livre, que fosse capaz de agregar em sua estrutura operacional aspectos para coleta de dados, armazenamento e consultas. A solução Prometheus³, foi capaz de atender os pontos elencados, além de ser aderente a estrutura criada para execução do experimento.

Para tanto, de maneira transparente é embarcado no dispositivo um cliente Prometheus chamado *Exporter*, este é responsável por expor os dados observáveis e de interesse no dispositivo. Periodicamente, a cada 10 segundos, um agente externo Prometheus *Collector* irá realizar chamadas com o objetivo de capturar os dados expostos pelo *Exporter*. Assim, durante atividade de coleta, cabe ao agente coletor as ações de solicitar os dados providos no cliente para conversão e armazenamento destes na forma de séries temporal.

Todos os dados recuperados pelo coletor são disponibilizados e mantidos em uma estrutura temporal no serviço Prometheus. Graças a essa estrutura, qualquer visualizador capaz de realizar consultas em um formato PromQL - *Prometheus Query Language* estará habilitado para acessar os dados coletados. A Figura 14 ilustra a dinâmica entre dispositivos e seus *Exporters* embarcados e o agente externo coletor, e, por sua, vez a disponibilidade dos dados em uma *dashboard*.

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

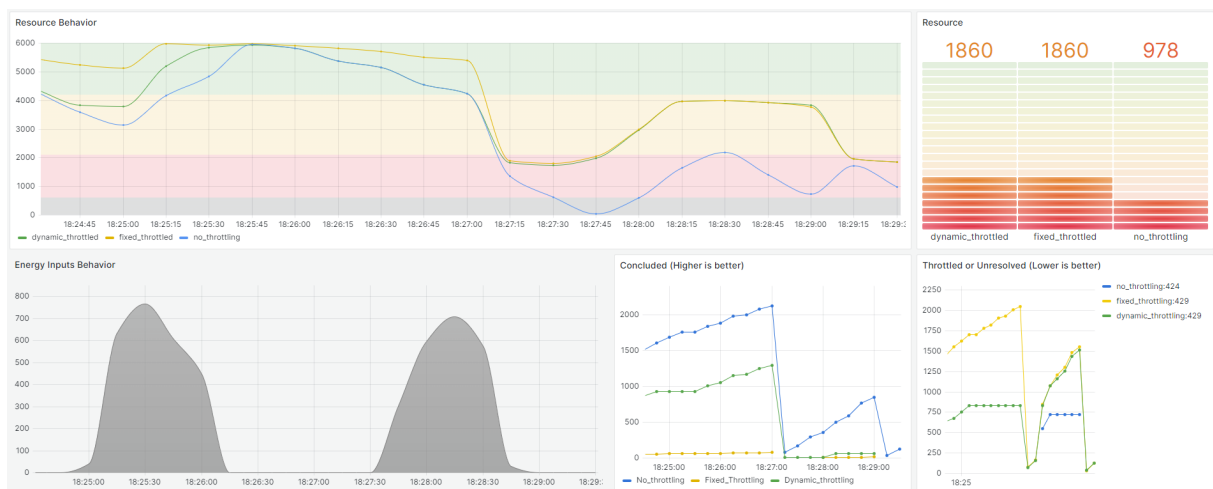
Figura 14 – Coleta e visualização dos dados.



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a necessidade de visualização dos dados de execução, foi criada uma *dashboard* para apresentar os resultados obtidos de forma gráfica. Logo, com o auxílio da ferramenta Grafana, uma plataforma de análise e visualização de dados que permite monitorar e visualizar dados através de quadros - *dashboards* personalizáveis, foi criada a interface de análise do experimento. a Figura 15 apresenta o aspecto de interface criado.

Figura 15 – Dashboard para visualização dos resultados.



Fonte: elaborado pelo autor.

É pertinente ressaltar que os processos realizados para instrumentalização, em especial o *Exporter*, não deve exercer influência sobre a gasto energético simulado do

dispositivo durante execução do experimento. Seu uso e custos são transparentes para a implementação, funcionando como um agente independente que não interfere nas dinâmicas energéticas colocadas em análise.

6.5 Execução.

As execuções foram conduzidas para garantir a confiabilidade e relevância do experimento e resultados obtidos. O estudo experimental foi realizado em etapas conforme descritos em referencia a Figura 10, As variáveis independentes utilizadas foram controladas para minimizar possíveis vies e garantir a consistência e replicabilidade do experimento. Durante a execução, os processos de instrumentalização atuaram em conformidade para que enquanto os dados necessários eram coletados, nenhuma variável externa pudesse influenciar nos resultados.

No inicio de uma execução, o valor atribuído como reserva energética disponível no *Storage* é equivalente a sua capacidade máxima de armazenamento, a partir disso, os valores de entradas energéticas disponibilizadas pelo *Power Supply* seguem a referencia apresentada na Tabela 1, submetidos a medida que se inicia um novo ciclo c_0, c_1, \dots, c_{23} relativos cada jornada J_1, J_2, \dots, J_{12} . Dado controle do experimento, a execução atende as características gerais com certa previsibilidade e após 3 execuções, foram identificados os valores conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Característica das execuções

	Duração	Solicitações		
		Exec1	Exec2	Exec3
1 ciclo	6	30		
24 ciclos	144	717		
1 Jornada	144	717		
12 Jornadas	1728	8604	8605	8605

Fonte: elaborado pelo autor.

Portanto, ao iniciar um ciclo c_n , o valor de entrada energética referente é entregue e, por sua vez, armazenado em componente adequado, passados 6 segundos previstos, um novo ciclo c_{n+1} inicia-se encerrando o anterior mediante uma nova entrada energética disponibilizada. Este processo, de ativar todos os ciclos de todas as jornadas acontece em em 1728 segundos totais, tempo necessário para que o experimento apresente a atuação completa da dinâmica de estados e modos de operação possíveis.

Apoiado nisso, as solicitações requeridas são disparadas contra os dispositivos durante os ciclos c . Assim, ininterruptamente, todas solicitações devem ser atendidas caso dispositivo esteja em modo semelhante ao abundante. Para isto, três simulações foram utilizadas, a referencia das características são encontradas na Tabela 3 e indicam

a composição dos dispositivos simulados respeito as classes taxonomicas de Atuação do mecanismo *throttling*.

Tabela 3 – Dispositivos Simulados

Dispositivo	Nome	<i>Throttling</i>	Atuação			
			Limiar	Ciclos	Meios	Observáveis
disp ₁	no-throttling	Não	-	288	-	-
disp ₂	fixed-throttling	Sim	Fixo	288	Vazão	-
disp ₃	dynamic-throttling	Sim	Adaptativo	288	Vazão	Reserva

Fonte: elaborado pelo autor.

Para o dispositivo disp₁, concebe-se a natureza de dispositivos sem nenhum mecanismo de limitação das operações, seu objetivo é servir como base de comparação para o consumo energético a medida que deverá atender todas as demandas solicitadas a si.

Por sua vez, disp₂ e disp₃ foram implementados com a capacidade de limitar suas operações. Entretanto a atuação do mecanismo *throttling* é distinta entre eles, para o disp₂ é realizada restrição mediante limiar fixado em razão de uma vazão de atendimento estipulada previamente sem a necessidade de adequação ao cenário energético. Já para o disp₃ o limiar irá atuar adaptativamente regulando a taxa de vazão de atendimento observando as condições de sua Reserva energética.

Finalmente, a execução do experimento durará os 288 ciclos, necessários para cobrir completamente as 12 jornadas de operações idealizadas. Ao fim, conforme estipulado, devem ser disparados em média 8604 solicitações na razão de 30 por ciclo (uma requisição a cada 0.2 segundos).

O gasto energético é obtido a partir da dinâmica ativo-inativo e a escolha por permanecer em um determinado estado conforme Figura 12, sendo assim, ao logo de um ciclo, o dispositivo que permanecer ativo durante todo o período despenderá sua reserva energética de maneira mais acentuada em relação a outro dispositivo que optou permanecer parcialmente inativo. Toda requisição realizada enquanto um dispositivo esteja em estado Hibernando, ou seja, sem reserva energética suficiente, será considerada não atendida em razão da indisponibilidade do dispositivo.

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.

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 4 vezes nas páginas 15, 16, 17 e 24.
- 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 na página 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 4 vezes nas páginas 16, 18, 29 e 31.

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.

TUTIEMPO. *Tempo em Natal - RN*. 2023. Acesso em: 12 dez. 2023. Disponível em: <<https://pt.tutiempo.net/natal.html>>. Citado na página 45.

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, 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

