



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

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**

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* 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

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 aplicado sobre operação B.	20
Figura 4 – Divisão Base da Taxonomia	25
Figura 5 – Visão Geral da Taxonomia.	25
Figura 6 – Throttling:Atuação.	32
Figura 7 – Etapas do Estudo Experimental.	39
Figura 8 – Dinâmica do fornecimento energético Dispositivo Provedor.	42
Figura 9 – Máquina de estados do Dispositivo.	43
Figura 10 – Componentes do dispositivo Provedor.	47
Figura 11 – Coleta e visualização da Execução do Experimento.	49
Figura 12 – Dashboard para visualização dos resultados.	50
Figura 13 – Valores energéticos ofertados, durante o experimento	53
Figura 14 – Quantidade de solicitações atendidas por dispositivo.	54
Figura 15 – Recorte do comportamento de uso dos recursos durante execução 3. . .	55
Figura 16 – Visão Geral da Taxonomia	63

Lista de tabelas

Tabela 1	–	Valores ofertados por ciclo	45
Tabela 2	–	Instancia taxonômica para os dispositivos.	51
Tabela 3	–	Expectativa de atendimento das solicitações (<i>sol</i>) por ciclo (<i>c</i>)	51
Tabela 4	–	Solicitações realizadas	54
Tabela 5	–	Quadro das solicitações realizadas aos dispositivos	55

Lista de Abreviaturas

SLA *Service Level Agreement*

IoT *Internet of Things*

RFID *Radio Frequency IDentification*

EN *Energy-Neutral Operation*

EDC *Energy-Driven Computing*

PNO *Power-Neutral Operation*

ICS *Intermittent Computing Systems*

EHS *Energy Harvesting System*

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	Computação Dirigida à Energia	16
2.2.1	Operações Neutra-Energética	16
2.2.2	Operação Neutra-Potencia	18
2.2.3	Operação Intermitente	18
2.3	<i>Throttling</i>: Padrão de Comportamento em Ambientes Distribuídos	19
2.3.1	Considerações	20
2.4	Taxonomia	21
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	26
4.3	Agentes IoT	26
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	31
4.6.2	Motivadores	36
Capítulo 5		37
5	GUIDELINES	38
Capítulo 6		38
6	ESTUDO EXPERIMENTAL	39
6.1	Metodologia	39
6.2	Idealização	41
6.3	Definição das Variáveis Independentes e Dispositivos.	44
6.3.1	Dispositivos	46
6.4	Instrumentalização.	48
6.5	Execução.	50
6.6	Avaliação dos Resultados	52
6.6.1	Descrição dos Dados Coletados	52
6.6.2	Interpretação dos Resultados	56
6.6.3	Limitações do Estudo	56
Capítulo 7		56
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
7.0.1	Implicações	57
7.0.2	Direções Futuras	57
REFERÊNCIAS		58
ANEXOS		61
ANEXO A – VISÃO GERAL DA TAXONOMIA PROPOSTA		62

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. A Seção 2.1, apresenta 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. Os fundamentos para o uso de um modelo taxonômico estão apresentados 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 apresentados no relatório *Ericsson Mobility Report* (ERICSSON, 2024) 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 número 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 atinge 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 Computação Dirigida à Energia

Um sistema dirigido à energia (*Energy-Driven Computing (EDC)*) 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 mecanismos distintos: Operação Neutra-Energética, Operação Neutra-Potencia e Operação Intermitente.

2.2.1 Operações Neutra-Energética

Uma operação neutra-energética (*Energy-Neutral Operation*) 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.

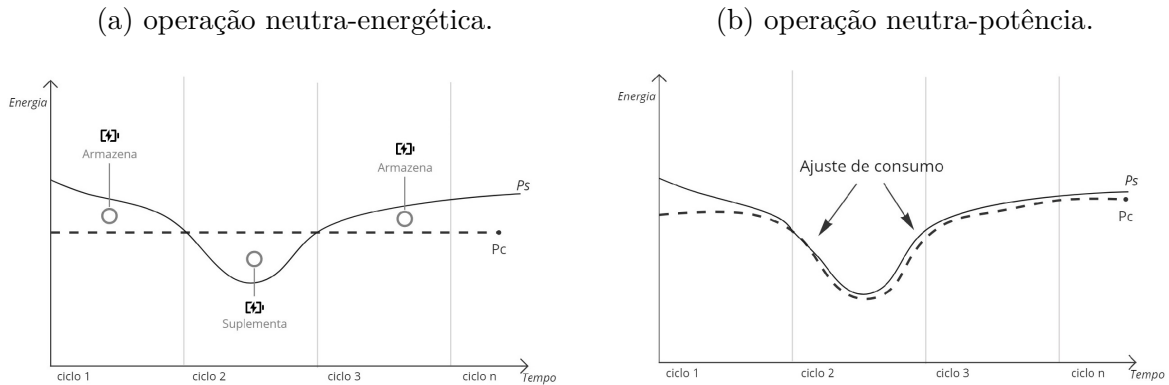


Fonte: adaptado de SUDEVALAYAM; KULKARNI (2011)

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



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 modo de operação neutra-potencia (*Power-Neutral Operation*).

2.2.2 Operação Neutra-Potencia

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 uma reserva energética intermediária, onde as condições energéticas são resumidas considerando a condição da reserva 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 considerar casos onde não é possível incluir um componente de armazenamento energético intermediário. Portanto, os sistemas nessas condições devem buscar ter suas operações neutra-potencia (*Power-Neutral Operation*), conforme ilustrado na Figura 2b.

A operação neutra-potencia 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, caso 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).

2.2.3 Operação Intermitente

Uma operação intermitente não deixa transparente aos dispositivos os efeitos da dinâmica nos processos de coleta de energia, permitindo que os sistemas lidem diretamente com esgotamento energéticos frequentes ou imprevisíveis. Ao arquivar seu estado não volátil através dos ciclos de fornecimento energético, os sistemas de computação intermitente (*Intermittent Computing Systems*) permitem que dispositivos avancem incrementalmente sempre que seus fatores energéticos esgotados sejam estabelecidos.

Um dispositivo que opera intermitentemente possibilita uma vida útil teoricamente ilimitada com custo baixo e pouco impacto ambiental, especialmente em relação a adoção de *buffer* energéticos intermediários (SLIPER et al., 2020). Todavia, a qualidade de serviço (**QoS!**) muitas vezes é sacrificada pois, ICS não podem ser considerados, por definição,

continuamente operacionais.

2.3 *Throttling*: Padrão de Comportamento em Ambientes Distribuídos

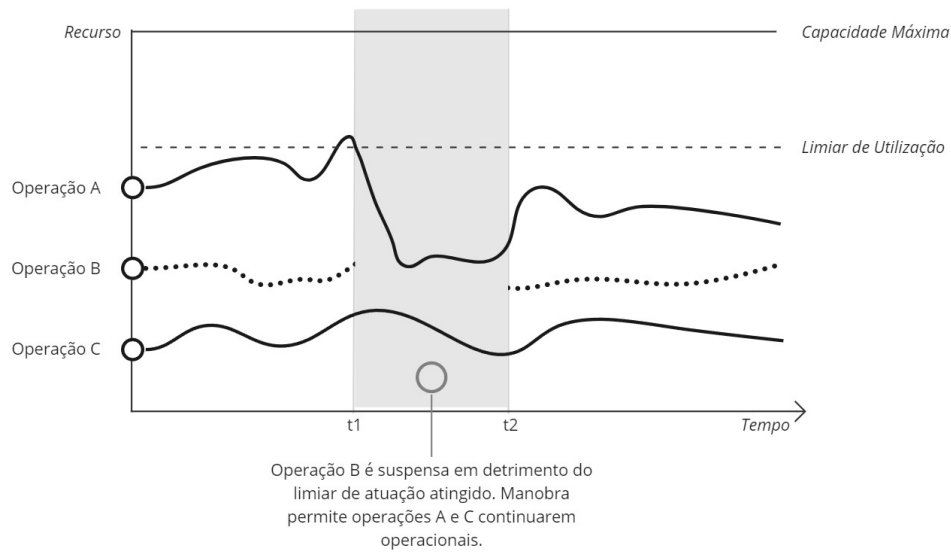
Como ponto de partida, é preciso destacar a importância da adoção dos ditos padrões de comportamento (*behavior patterns*), especialmente aplicados em sistemas distribuídos. Tais soluções carregam aspectos intrínsecos à experiência adquirida mediante a recorrência de soluções frente à heterogeneidade 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, bem como, os problemas encontrados sobretudo quanto aspectos não funcionais como escalabilidade, confiabilidade ou disponibilidade são notavelmente encontrados de forma semelhante e recorrente.

O propósito de adotar o padrão *Throttling* é fazer com que dado sistema alvo mantenha seus níveis de consumo abaixo de um determinado 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 aplicado sobre operação B.



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 implementados em conformidade, sua ação deve ser pertinente ao momento mas uma vez restabelecido ao seu estado regular de atuação, deverá permitir alívio nas restrições impostas às capacidades do dispositivo.

Adicionalmente, conforme atuação do *throttling* é interessante exercer algum padrão sobre os retornos da solicitações negadas motivadas pela ação do limitador, criando um cenário onde o agente que teve suas solicitações limitadas consiga decidir quanto a realizar novas solicitações ou aguardar momento oportuno.

Dispositivos capazes de adaptar-se mediante quaisquer fatores devem ter seu comportamento refletido de maneira contundente no mecanismo de limitação, preferencialmente em tempo de execução. Pois, um cenário intolerável, amparado por uma condição do dispositivo pode ser considerado erroneamente tolerado, caso atuação do *throttling* atrase tempo suficiente que não faça sentido sua atuação mediante mudança de caso.

2.4 Taxonomia

Uma 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), sendo elas:

- Hierárquica, aqui a taxonomia é estruturada como uma única classe superior (super-classe) 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 arvore 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 (facetas). 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 facetas para a taxonomia de modo que sejam independentes e sem aparente relacionamento significativo entre as facetas.

O trabalho (ŠMITE et al., 2014) indica três mecanismos como agentes validadores de uma taxonomia: da demonstração ortogonal de perpendicularidade e dimensões das classes demonstradas; da análise de desempenho (*Benchmarking*), em que a taxonomia pode ser comparada com outros esquemas de classificação similares; por fim, da 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 apresentado 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 2.4 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

Prosseguindo 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 especial aos dispositivos em computação dirigida à energia. Além disso, é preciso levar em consideração a orientação do trabalho junto aos critérios de confiabilidade, em especialmente ao concentrar sobre o atributo disponibilidade, elemento participante nos critérios de confiabilidade apresentados na taxonomia proposta por AVIZIENIS et al. (2004). Por definição temos que disponibilidade é um indicador da capacidade de um equipamento, sistema ou serviço estar em um estado que possa desempenhar certa função solicitada quando necessário (International Organization for Standardization (ISO), 2015).

4.1 Organização

As classes descritas foram categorizadas para acomodar os elementos envolvidos de acordo com os critérios que representam. À esquerda, apresenta-se as características dos dispositivos **IoT** encontrados em cenários de restrições energéticas. Primeiramente, as classes foram projetadas para organizar os elementos em destaque considerando as especificidades e limitações à operar em ambientes com recursos energéticos limitados. Estes critérios, auxiliam na compreensão mais precisa em relação as categorias e podem ser visualizados na divisão básica dos elementos presentes na taxonomia, Figura 16.

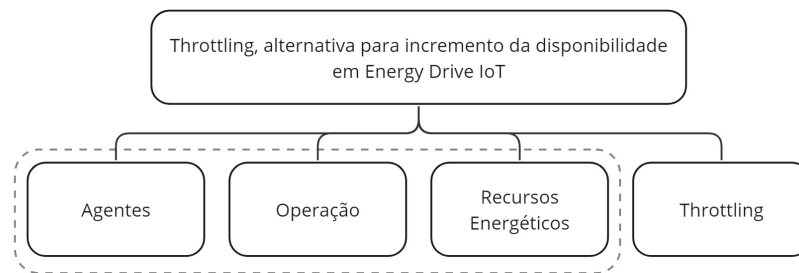
Enquanto ao fator que caracteriza um agente, o destacado trabalho de AVIZIENIS et al. (2004) aplica a dinâmica de definição por papéis, proporciona clara divisão entre agentes em referencia ao que desempenha em relação ao ambiente inserido. Sendo assim, são propostos dois grupos: clientes, que atua ativamente realizando solicitações ou de forma passiva solicitando recursos ou quando notificado; e um segundo grupo, provedores, para estes cabe a responsabilidade de compartilhar seus recursos com outros consumidores através de uma interface conhecida de acordo com o protocolo pré-estabelecido entre as partes.

Toda interação segue um padrão denominado operação, esta é realizada de acordo com o qual se destina, como visto no trabalho de (KHAIRNAR; MEHTA, 2015) operações podem ser medidas pela quantidade de mensagens trocadas entre dispositivos contribuindo para um determinado fim. Sendo assim, os elementos classificadores foram: *Agentes*, *Recursos* e *Operações*.

Percebeu-se a necessidade de classificar as características energéticas dos elementos participantes, ao passo que agentes fazem uso de um fator energético para realizar suas

capacidades, colocando esses recursos energéticos como classe fundamental de análise, impulsionada pelos fatores gerais dos elementos ligados à **IoT**, especialmente aderente aos conceitos de sistemas com capacidade de coleta energética (*Energy Harvesting Systems*) relacionados com computação dirigida à energia.

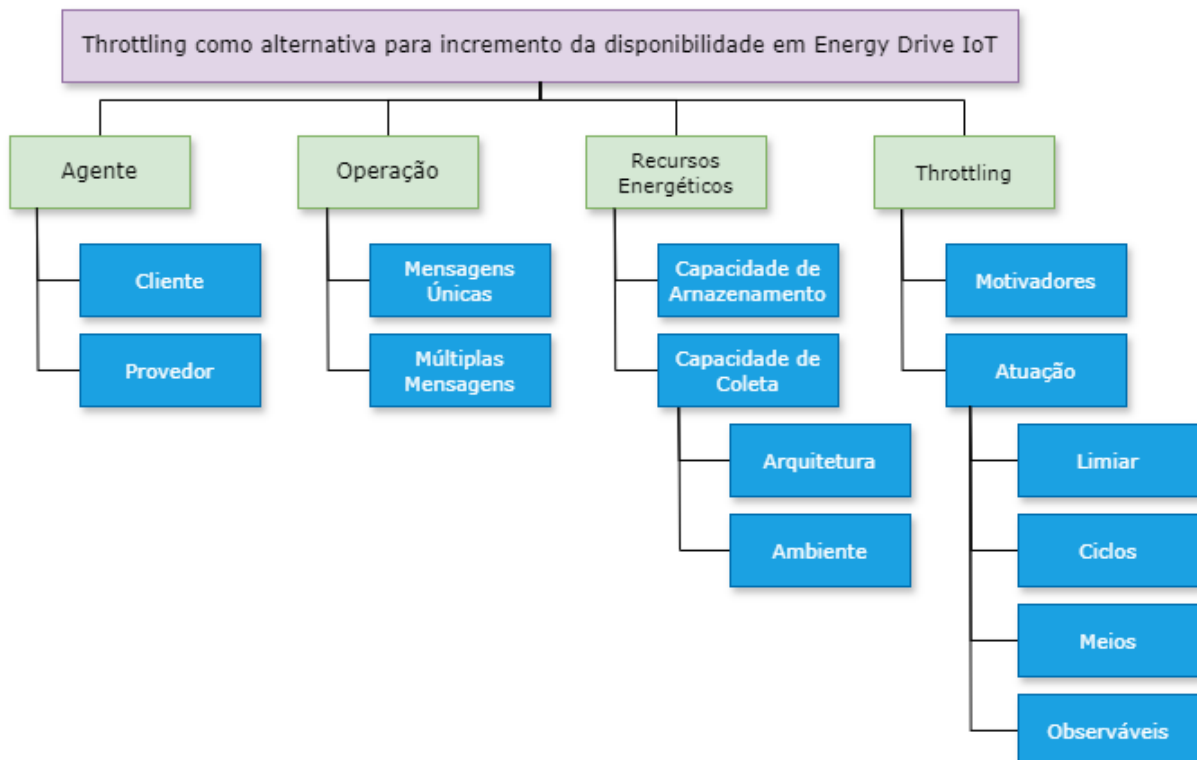
Figura 4 – Divisão Base da Taxonomia



Fonte: elaborado pelo autor.

Ademais, acomoda-se os elementos envolvidos no processo de gestão do comportamento de um dispositivo através do padrão *Throttling*. Nesta classe, dois ramos principais são derivados, Atuação e Motivadores respectivamente. Sobre a classe Atuação, agrupa-se os elementos envolvidos no processo de ajuste de comportamento do: Limiar (*Thresholding*), Ciclos, Meios e Observáveis. Finalmente, a classe Motivação é sugerida de maneira à assegurar as intenções enquanto busca incremento de disponibilidade.

Figura 5 – Visão Geral da Taxonomia.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Taxonomia Proposta

A Figura 5 ilustra a taxonomia visualmente com os pontos abordados no processo de escolha do padrão *throttling* como alternativa para garantir disponibilidade nos agentes IoT presentes em um ambiente. O objetivo principal é dispor os elementos ligados ao tema de maneira visual e contemplar a organização dos tópicos envolvidos. Com isso, compreende os objetivos almejados ao criar a taxonomia:

1. Auxiliar a compreensão dos conceitos relacionados aos agentes IoT em computação dirigida à energia e os tópicos inerentes à possibilidade de uso do padrão *throttling* como elemento colaborador à disponibilidade desses agentes. Acomodadas em função de cada contexto e necessidade;
2. Oferecer suporte às definições de uso do padrão *Throttling* ligados ao contexto IoT dirigida a energia.
3. Facilitar a descoberta das relações entre os elementos do campo de análise.

4.3 Agentes IoT

Cada agente é essencialmente uma entidade que tem a capacidade intrínseca de interagir com outros agentes sejam digitais ou agentes físicos, chamados dispositivos. Eles possuem propriedades fundamentais, como funcionalidade, desempenho e segurança (AVIZIENIS et al., 2004). No contexto da Internet das Coisas, é crucial considerar a capacidade de se comunicar com outras entidades, atuando em conjunto mediante compartilhamento de recursos, características intrínsecas nos dispositivos IoT (ASGHARI; RAHMANI; JAVADI, 2019).

4.3.1 Dispositivo Provedor

Em qualquer instância onde um dispositivo oferece estados ou atende solicitações de recurso, assume o papel de provedor. Para isso, o dispositivo oferece uma ou mais funcionalidades denominadas operações, sendo cada uma, realizada através do uso de seus recursos a medida que avança em seus estados internos buscando fornecer resposta as solicitações. O resultado disto será percebido como estado externo, acessível por meio de sua interface em resposta às solicitações ou provida na forma de eventos acessíveis aos clientes.

A medida que solicitações se apresentam ao dispositivo provedor, tais eventos interagem na forma como este lida com seus recursos. Através disso, motivam a dinâmica de mudanças de estado internos e por sua vez impactam diretamente na dinâmica dos custos operacionais do dispositivo. Por exemplo, tomemos um sistema de iluminação

urbana que pode, por meio de solicitações, interagir com dispositivos encontrados em um ambiente. Assim, este sistema atua solicitando aos dispositivos a mudança de estado para que acione um recurso em razão de um evento qualquer. Tal ação impactará no uso dos componentes necessários em decorrência do atendimento das solicitações e assim, impactando na forma como o provedor utiliza seus recursos.

4.3.2 Dispositivo Cliente

Um dispositivo cliente é um agente físico que realiza o papel responsável por receber o estado externo de dispositivos provedores por meio de uma interface de interação disponibilizada. Ele pode consumir recursos provenientes de um ou mais provedores, dependendo da operação que precisa realizar. De forma ativa, cabe ao cliente, através de solicitações, comunicar-se com os provedores necessários para atender suas operações. Todavia, caso reativo, um cliente pode permanecer inativo enquanto aguarda evento necessário para, mediante estímulo, ativar-se motivado a realizar alguma operação.

4.4 Operações

Operações consiste no fluxo de mensagens comunicáveis trocadas entre dispositivos clientes e provedores. Igualmente à dinâmica encontrada em dispositivos clientes, uma operação poderá ser realizada enquanto: um cliente através de mensagens solicita estado de um provedor; ou quando um provedor ativamente disponibiliza um estado.

Mensagem é uma unidade atômica de informação utilizada para as mais diversas ações de acordo com o objetivo da colaboração entre dispositivos, uma mensagem pode carregar ações como inicialização, controle, monitoramento, coleta, processamento ou armazenamento de dados. Os dispositivos envolvidos devem ser capazes de interpreta-las mutualmente.

Para uma operação, múltiplas mensagens também podem ser solicitadas, na forma de composição de serviço AOUDIA et al.(2019), nesse cenário um dispositivo cliente executa solicitações distintas à um ou vários dispositivos provedores para compor sua operação.

4.5 Recursos Energéticos

Um recurso descreve um componente ou capacidade utilizada de tal forma que possibilita dispositivos à realizar suas operações. Isto inclui seus componentes físicos ou virtuais que uma vez embarcados ao dispositivo contribuem cooperando para os mais diversos fins, coleta, monitoramento, automação industrial, assistência a medicina entre

outros. Recursos sinalizam as capacidades dos dispositivos IoT, assim configuração dos recursos embarcados dispositivo esta fortemente ligado à atividade que se destina.

Para a taxonomia, características como capacidade de processamento, armazenamento de dados ou suas particularidades quanto sensores e componentes embarcados são omitidos pois expressam diretamente a diversidade de possibilidades ligadas o universo de atuação do dispositivo. Entretanto, os aspectos energéticos estão recorrentemente presentes a medida que se reduz o universo de análise para a computação dirigida à energia e portanto justificam seu detalhamento. Logo, recursos energéticos, por sua vez refere-se aos grupos: da capacidade de coleta do dispositivo; da capacidade de armazenamento dessa energia previamente coletada.

A arquitetura dos dispositivos dirigidos a energia com capacidade de coleta são projetados para usar seus recursos energéticos de maneira eficiente (PRAUZEK et al., 2018), sua aplicação é especialmente útil em cenários onde a energia para alimentar os dispositivos é escassa ou o fornecimento energético é inviável. Um recurso energético propriamente é uma fonte natural ou artificial de energia que pode ser convertida em forma utilizável destinada à cobrir as demandas energéticas para que o dispositivo permaneça operacional.

No cenário proposto, observar as classes recursos energéticos assume um papel importante pois é essencial para garantir o funcionamento contínuo e autônomo dos dispositivos envolvidos, cabendo ao agente as ações de coleta, e armazenamento para posterior utilização do recurso energético, projetando de maneira a capacitar o dispositivo a operar enquanto busca um cenário minimamente sustentável e caso impossibilitado, conseguir arquivar seus estados de maneira a recupera-se em momento oportuno, restabelecidas as restrições impostas.

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 integralmente ou parcialmente às suas necessidades energéticas.

Sistemas de coleta energética possuem três conceitos fundamentais: Carga, a Arquitetura de Coleta e entrada energética. A Carga é destinada a atividade que esta consumindo energia, este é oriundo de um componente demandante de energia no dispositivo necessário para realizar uma operação, sejam sensores, transmissores ou atuadores. A Arquitetura de Coleta descreve quais mecanismos envolvidos, seus componentes, meios para conversão e unidades para armazenamento. Os modelos arquiteturais são fundamentados em três propostas principais:

- Coleta e Usa (*Harvest-Use*): Neste modelo, toda energia coletada é oferecida diretamente ao dispositivo. Conforme MERRETT; AL-HASHIMI(2017), um dispositivo com capacidade de coleta energética pode ser concebido de tal forma que não necessite de um *buffer* energético para suplementar operações, desde que seu funcionamento fosse orientado conforme operação neutra-potencia (*Power-Neutral Operation*). Assim, a energia coletada deve satisfazer os valores de operação plena ou pelo menos o mínimo necessário para funcionamento depreciado.

Outra possibilidade é concebida em modo de operação intermitente (*Intermittent Computing Systems*), onde o dispositivo deve armazenar incrementalmente seu ultimo estado (*checkpoint*) para que dada paralisação no fornecimento energético e posterior restabelecimento, o mesmo consiga retornar ao estado prévio antes da iminente interrupção.

- Coleta, Armazena e Usa (*Harvest-Store Use*): Dispositivos inseridos em um dado ambiente coletam energia do meio para seu uso e, como resposta ao 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 de reduzir problemas derivados da variação do montante energético ofertado pelo sistema de coleta, seja pela momentaneamente pela escassez de energia disponível ou depreciação na performance do modelo de coleta.

A adequação da estratégia de coleta e seus detalhes devem ser projetados de acordo com o ambiente e a natureza da fonte energética que objetiva-se coletar. Em geral, a divisão das características dos ambientes descritos em (SHAIKH; ZEADALLY, 2016) é referencia utilizada para categoriza-las de acordo com os ambientes, assim a analisar as características dos tipos de fontes energéticas. Para isso, temos:

- Não controladas mas previsíveis: A produção energética não pode ser controlada, mas seu comportamento pode ser modelado com o objetivo de prever sua disponibilidade em dado momento com alguma margem de acerto. Por exemplo, o trabalho (LEE; PARK, 2018) aborda a gestão da gestão de recursos energéticos em dispositivos alimentados via energia solar através de análise da previsibilidade de oferta (*energy forecasting*).
- Não controladas e não previsíveis: A fonte energética não pode ser controlada para gerar energia quando desejado e não é fácil alcançar previsibilidade para quando a oferta energética ocorrerá. A extração energética originada pela vibração de ambientes internos é um exemplo das características dessas fontes descrito em (WEI; JING, 2017) uma vez que 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 que extraem energia *piezoelétrico* através da interação humana para suprir necessidade energia quando oportuno.
- 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, na dinâmica realizada em tags *Radio Frequency IDentification* (RFID) que conseguem ser visualizadas por um leitor mediante a oferta energética provida pela antena e capturada pelo dispositivo. Todavia, a quantidade de energia coletada sofre impactos diretos das características de propagação no meio disposto, barreiras, distancia até a fonte originária, capacidade de transmissão.

4.5.2 Capacidade de Armazenamento

A capacidade de armazenamento trata das propriedades como conversão, taxa de carregamento e descarga além de eventuais perdas em relação a fonte energética 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, 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 capaz de atender parcial ou totalmente a diferença energética necessária para as operações. Baterias, super capacitores ou modelos híbridos atuam como *buffer* e podem estar presentes no contexto de dispositivos com capacidade de coletar recursos energéticos do ambiente.

Assim a capacidade de atuação do dispositivo buscará primariamente estar de acordo com as condições e necessidade de conservação da energia a medida que faz uso de recursos armazenados em um componente *Storage*. Um acordo de nível de serviço (*Service Level Agreement*) estabelecido é fundamental para decidir e optar sobre a presença e as características desse *Storage*. Portanto, quanto a capacidade de armazenamento energético um dispositivo deve encontrar-se como:

- Dispositivo sem *Storage*: Aqui não existe a necessidade estrita da gestão de recursos elétricos armazenados pois caso não exista energia suficiente o dispositivo poderá adaptar-se continuamente na tentativa de manter sua necessidade energética em acordo ao fornecido no momento, ou encerrar suas operações por interrupção por valor coletado insuficiente. Neste caso é fundamental que o dispositivo esteja ciente das características energéticas do ambiente onde está inserido.

- Dispositivo 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 e assim, disponibilizada a medida que os ciclos de funcionamento decorrem. Aqui os dispositivos operam em um regime de Coleta, Armazenamento e Uso e não necessariamente adotam um comportamento em decorrência do comportamento exclusivo dos valores coletados. Ao equipar dispositivos com *Storage* pontos como custo, volume, capacidade desse componente e as questões ambientais em decorrência disso devem ser ponderados conforme mencionado por MERRETT; AL-HASHIMI(2017).

4.6 *Throttling*

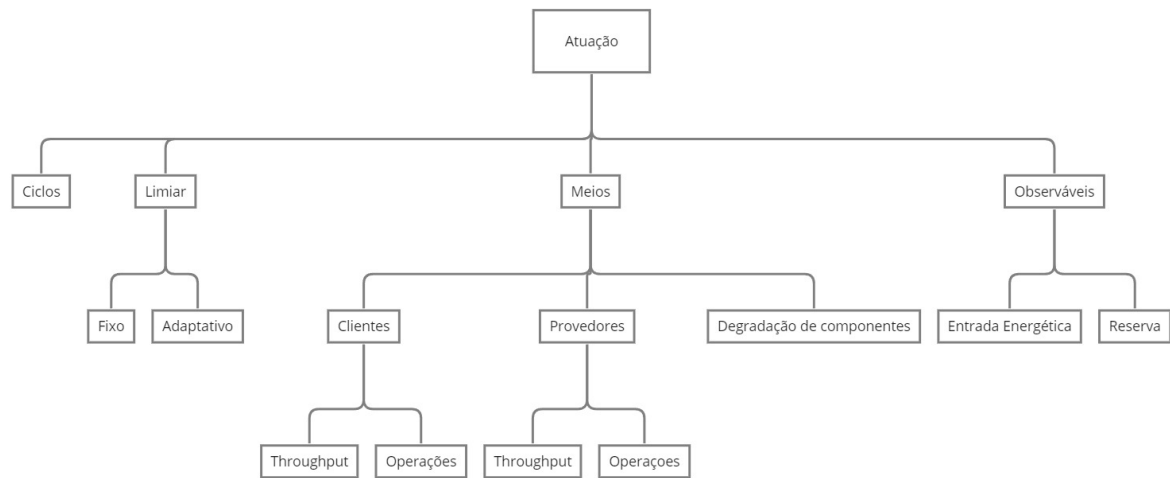
Aplicar o padrão *Throttling* consiste basicamente em restringir o uso de recursos em acordo com limites de utilização estabelecidos. Seu objetivo é proteger um dispositivo contra um estado de sobrecarga, evitando que consumidores excessivamente solicitantes coloquem um dispositivo provedor em um estado de crítico, evitando possíveis falhas e a exaustão prematura de recursos (MARTINEKUAN, 2019). Com isso, a solução concentra-se em permitir que provedores consigam operar dentro de termos definidos por um acordo de funcionamento conhecido e detalhado em [SLA](#), protegendo este dispositivo descontroladamente encontrar-se em situação onde precise atender mais solicitações do que o adequado para sua capacidade.

Na taxonomia, o *Throttling* é candidato à colaborar nas atividades que buscam aumentar disponibilidade dos dispositivos, conservando recursos energéticos em observações das características ou limitações do próprio dispositivo. Para tal, é preciso que limites sejam estritamente adequados ao que se aplica, sua capacidade de transmissão, recursos disponíveis e esperados pelo dispositivo. Definir limites de operação realísticos que atendam as necessidades de um dispositivo provedor é um desafio para sistemas com estratégia de coleta de energia (KHAIRNAR; MEHTA, 2015), (LIU et al., 2016) e (ZHANG et al., 2018), entregando a capacidade de decisão sobre as atividades realizadas nos ciclos enquanto objetiva sua conservação.

4.6.1 Atuação

Em dispositivos [IoT](#) orientados aos fatores energéticos, a atuação do padrão é dada ao monitorar a taxa de solicitações durante um espaço de tempo, esta janela temporal denomina-se Ciclo e esta dispositivo com categoria mais à esquerda no recorte disponível na Figura 6. Durante um ciclo, clientes e provedores atuam realizando solicitações ou disponibilizando seus estados. Do ponto de vista da disponibilização dos recursos, durante um ciclo de carga, um dispositivo provedor configurado para tal, pode assumir abordagem

Figura 6 – Throttling:Atuação.



Fonte: elaborado pelo autor.

de equidade entre os solicitantes ou algum critério de prioridade e privilégio. Em virtude disso, caso necessário um solicitante qualquer teria suas requisições atendidas enquanto acontece a negação do serviço para outro cliente com menor prioridade.

Throttling utiliza mecanismos limitadores baseado em limiares, através da restrição no atendimento de solicitações. Uma vez definido limiar de atuação, a ação do limitador pode ser constante durante todo funcionamento do dispositivo, assim o mesmo valor limiar é aplicado independente de outros fatores durante todo o tempo, outra possibilidade é definir vários limiares que agem de maneira adaptativa 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 e possui influencia sobre como o dispositivo irá se comportar. Quanto aos limiares, são classificados como:

- 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.

O dispositivo com limiar(es) de atuação, indica para o mecanismo *throttling* em qual momento irá ser acionado, sendo capaz de adequar o modo de operação do dispositivo, depreciando seus serviços como mudança de comportamento, seja para interromper operações conforme Figura 3 ou reduzir sua taxa da transmissão. Com isso, aumentando seu tempo de inatividade e assim mitigando riscos enquanto se encontra em um modo restrito.

Uma vez que os recursos energéticos observáveis se restabeleçam, pode-se assumir um comportamento de uso acentuado mediante solicitações e a capacidade do dispositivo utilizar mais recursos disponíveis, incentivado pelo novo valor estipulado para o limiar de consumo. Esta capacidade de adaptação, permite que dispositivos mantenham algum equilíbrio enquanto conservam recursos e buscam performance, sustentado pela adaptação promovida pelos modos de operação definidos, garantindo assim suas disponibilidade nos 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 mantê-lo adequado buscando evitar seu esgotamento energético. Para tal, se apresentam como os garantidores das condições energéticas do dispositivo: sua condição de entrada através da

coleta de fonte energética e a capacidade de armazenamento dessa energia coletada em eventual *buffer*.

O comportamento de um dispositivo pode ser ajustado de acordo com suas circunstâncias. Diferentes meios são usados no processo de construção do mecanismo *throttling* participante na adequação do comportamento à depender das características de atuação e a intenção ao limitar operações. Em detrimento disso, cabe observar papel à desempenhar pelo dispositivo pois, cada um deles apresentam em suas particularidades indicações sobre como agente limitador deverá atuar. Sendo assim, compõe os meios utilizados pelo agente limitador:

- Meio 1: Da limitação sobre dispositivos clientes;
- Meio 2: Da limitação sobre atividades do dispositivos provedor;
- Meio 3: Aspectos da degradação intencional de componentes demandantes.

Configura-se o Meio 1 a utilização dos mecanismos de *throttling* operam em referencia da capacidade dos clientes em relação de sua taxa de vazão (*throughput*) ou sobre a criticidade de suas operações. Sobre a taxa de vazão, é esperado que o limitador aplicado atue sobre a taxa de recebimento das mensagens em acordo com a capacidade do cliente para lidar com tais eventos. Sendo assim, o dispositivo cliente poderá limitar o 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 o colocam em tal modo.

Entende-se por criticidade para um cliente, o atributo que indica a importância das operações realizadas por este dispositivo em detrimento das consequências obtidas pela não realização de uma operação dita crítica no cenário de atuação do dispositivo. Assim, é previsto dois cenários: um primeiro onde todas as operações tem igual importância, e um segundo, onde existam operações classificadas como críticas. Assim, de acordo com o segundo cenário, justifica-se que tais operações possam encontrar um modo com limiar de *throttling* aliviado e por isso, cabe observar e definir tais valores para que caso ocorram 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 à fase concepção do dispositivo definir suas regras de compensação onde caso necessário, o dispositivo pode limitar outras operações, 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 dos clientes, bem como da criticidade das operações realizadas.

A taxa de vazão do um dispositivo provedor, é definida pela sua capacidade em atender demandas dos diversos solicitantes durante um ciclo, seja por limitação de transmissão (*throughput*), por sua capacidade computacional em realizar tais operações ou mesmo seu modo de operação definidos em relação aos observáveis. Sendo assim, o mecanismo de throttling presente no provedor poderá se valer dos limiares estipulados através da análise dos recursos para operação e, em similaridade aos dispositivos clientes. A partir daí, caso o cenário encontrado seja apropriado, limitar o atendimento as solicitações de solicitantes considerados excessivamente demandantes ou não privilegiados.

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 solicitações são privilegiadas pois suas operações devem ser realizadas mesmo em um cenário mais restrito.

Quanto a observação das operações realizadas pelo dispositivo provedor, estas tem seu grau de criticidade atrelada 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 desnecessariamente, considerado um gasto excessivo. O Limiar de atuação deve ser revisto idealmente para atuar 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.

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 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, encerra-se parcial ou totalmente a utilização energética dos componentes envolvidos com tais operações limitadas.

Compreendendo os mecanismos dispostos no Meio 3, encontra-se a capacidade do nó em reduzir o consumo energético de algum componente embarcado mediante o cenário de escassez energética. Esta é uma manobra conhecida, diversos dispositivos submetem-se a esta manobra 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 adotam tal comportamento para que, quando um determinado valor energético em *Storage* seja atingido, limitar ativamente os componentes

menos críticos, por exemplo câmeras de alta definição ou alto-falantes, assim, o recurso energético usado por tais componentes podem ser conservados e disponibilizados para manter outros componentes dito essenciais até que o cenário de escassez se resolva.

A entrada energética descrita na Subseção 4.5.1, indica a capacidade do dispositivo em captar recursos energéticos através de mecanismo de coleta, uma vez que um dispositivo receba esta entrada, dará início um ciclo que por sua vez durará até a próxima oferta energética. Sobre a capacidade de armazenar energia, como decorrido na Subseção 4.5.2 é o indicativo do potencial que sua sua reserva energética (*Storage*) pode chegar, para que em momento adequado, os valores armazenados sejam disponibilizados para suprir a demanda energética 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*) são fundamentais para garantir maior disponibilidade. Estes fatores compreende os observáveis, grupo motivador do ajuste de comportamento dos mecanismos providos pela atuação do *throttling*.

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.

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 enquanto permanecem na expectativa de uma entrada energética prevista. Sendo assim, 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. Por sua vez em, (GONG et al., 2022) aborda a capacidade de decidir se os dispositivos devem hibernar, realizar operações ou transmitir seus resultados. Estas operações são realizadas motivadas pela análise dos recursos energéticos de maneira que dado um cenário o dispositivo permaneça

inativo por mais tempo, ou realize mais medições.

No contexto de computação dirigida à energia, em quaisquer cenário que o dispositivo se encontrar, 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 são seus motivadores, estes carregam o propósito declarado para restringir operações em concordância com a causa motivadora. Assim, é de interesse da observação das capacidades energéticas, ajustar o comportamento do dispositivo motivado do que pretende-se obter através disso, os motivadores para uso de *throttling* sob essas circunstancias são:

1. Preservar recursos energéticos. Evitar gasto excessivo ou inadequado é primeiro motivador de um agente limitante embarcado em dispositivos com restrições energéticas, pretende-se com isso manter o dispositivo operando adequadamente em relação das capacidades energéticas e com isso dispendendo recursos de maneira sustentada ao passo que a energia coletada durante os ciclos anteriores seja suficiente para todas operações realizadas, enquanto preserva seus recursos presentes.
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 patamar acima do encontrado em *storage*. Neste caso, pretende-se manter-se em modo de operação que favoreça dispende menos recurso possível durante os próximos ciclos até que seus recursos observáveis retornem aos valores desejados. 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

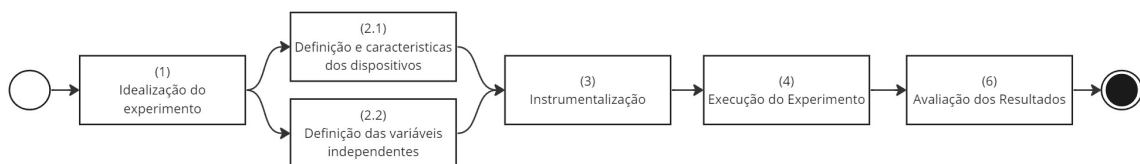
Este capítulo consiste em apresentar o estudo, envolve a concepção de contexto do experimento, das configurações e características dos elementos envolvidos, a seleção das variáveis influenciadoras, o controle e a instrumentação do experimento, sua execução, a captura de dados durante experimentação, 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 7 – 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 7 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, apresentar e disponibilizar 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 executar seus procedimentos conforme um protocolo estabelecido, aplicando os estímulos já definidos (carga de solicitações e disponibilização de recursos energéticos) e coletando os resultados obtidos.

Ao final, a Seção 6.6, apresenta a avaliação dos resultados, que consiste na descrição e análise dos dados obtidos durante a execução. Os dados analisados são compostos pelo grupo de variáveis independentes que representam: Dos valores energéticos disponibilizados; da quantidade de solicitações realizadas. A análise se fundamenta em observar como o mecanismo *throttling* implementado no dispositivo se colocará como agente atenuante do gasto energético utilizado a medida seus limiares de atuação são atingidos de acordo com o modo de operação previsto para determinados fatores observáveis presentes.

Ao fim da execução do experimento, as variáveis dependentes são obtidas para avaliação: a performance em relação a Quantidade total de solicitações atendidas ao fim da execução do experimento ea quantidade de solicitações impedidas mediante indisponibilidade de recursos em *storage*. Ao aprofundar a análise, é preciso ainda, contrapor

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/>>.

os dados temporais de oferta energética em relação a quantidade presente no dispositivo, o que justificará a atuação de limitadores e sua capacidade em manter um dispositivo operacional do ponto de vista energético.

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 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.

Descreve-se C_a como o valor energético consumido pelo dispositivo quando estado ativo, C_i , o consumo enquanto estado inativo e C_h representa dispositivos sem capacidade energética, com custo zero e portanto hibernando. Estima-se que, a duração de um ciclo $T(c)$ é obtida pela soma dos tempos onde o dispositivo esta ativo t_a , que permanece inativo t_i e por fim o tempo que hiberna t_h , possibilitando expressar o tempo total do ciclo em razão de $T(c_n) = t_a + t_i + t_h$.

O consumo total C_{total} , durante um ciclo é calculado com base em:

$$C_{total} = C_a \cdot t_a + C_i \cdot t_i + C_h \cdot t_h \quad (\text{Sendo } C_h = 0)$$

$$C_{total} = C_a \cdot t_a + C_i \cdot t_i$$

Considerando um dispositivo que permaneça ativo durante todo o ciclo $t_a = T$, $t_i = 0$, $t_h = 0$:

$$C_{total} = C_a \cdot T$$

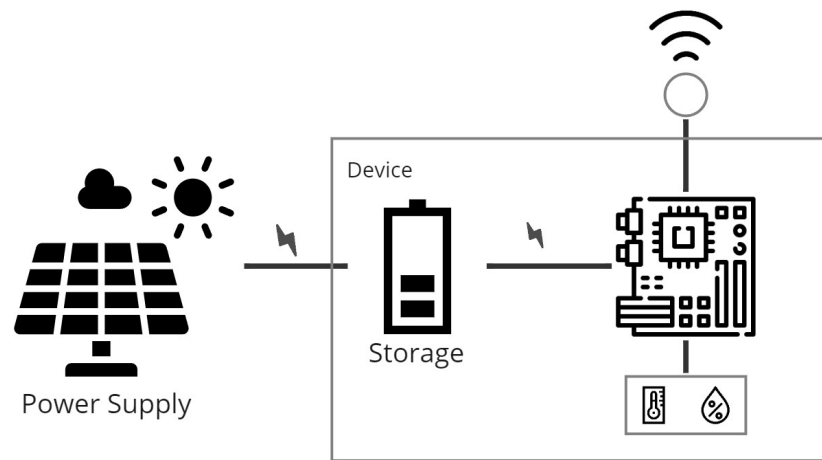
De outra forma, caso permaneça hibernando durante todo o ciclo $t_h = T$, teremos seu consumo total:

$$C_{total} = C_t \cdot T = 0$$

Assim, um dispositivo com ação do mecanismo *throttling* deverá ter seu comportamento adequado ao modo de atuação projetado, através da recusa de solicitações, favorecendo manter-se em inatividade, cooperando para que reduza seu consumo durante um ciclo, assim conduz o dispositivo ao cenário onde $t_a < T$ enquanto busca manter $t_h \approx 0$.

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 8 ilustra, a dinâmica energética de funcionamento do dispositivo.

Figura 8 – 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

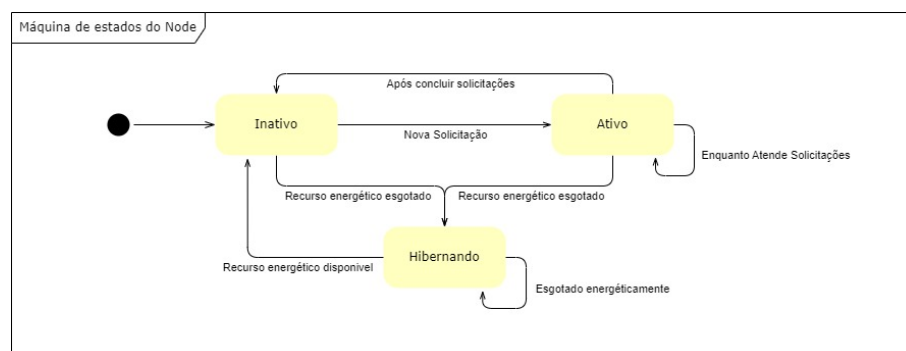
atendidas com a motivação de preservar parte dos recursos até que um novo cenário energético seja apresentado;

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 ??, 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 9.

Figura 9 – 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 das 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.

Todavia, para a execução do experimento é necessário a compreensão sobre a disponibilidade em termos quantitativos de uma fonte energética que represente seus valores de oferta e assim ser capaz de utilizar esses valores como entrada na forma de variável independente numérica. Sob tais restrições, os dados utilizados se assemelham ao comportamento observado por um fonte de energia solar, para isto, foram concebidos a partir da adaptação dos dados disponibilizados no Atlas Brasileiro de Energia Solar (MARTINS et al., 2017). Particularmente, a definição dos valores orienta-se pela referencia apresentada para cidade de Natal/RN no decorrer dos meses, como média diária de irradiação solar, cada quantidade apresentada compreende uma Jornada J_i (para $i = 1, 2, \dots, 12$). Os valores originários foram expressos na unidade Wh/m^2 , todavia, para

abstração criada a unidade de medida é desprezada e tratada apenas para representar o quantitativo de recurso para um ciclo, mantendo assim a grandeza de comparação entre os ditos valores de oferta. Conforme Tabela 1 onde cada valor representa o montante energético disponibilizado em uma respectiva jornada distribuídos em ciclos.

Tabela 1 – Valores ofertados por ciclo

Jornada (J)	Disponibilizado no Ciclo (c)												
	c05 (0.007)	c06 (0.02)	c07 (0.053)	c08 (0.087)	c09 (0.105)	c10 (0.127)	c11 (0.136)	c12 (0.125)	c13 (0.12)	c14 (0.101)	c15 (0.074)	c16 (0.04)	c17 (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 oferta 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 irradiação solar no dia 12 de dezembro de 2023. Aqui, 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, mesmo 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 e aplicados aos fatores de incidência encontrados em cada ciclo. Ainda assim, os ciclos c_0, c_1, \dots, c_4 e $c_{18}, c_{19}, \dots, c_{23}$ possuem peso atribuído nulo, porque representam ciclos onde não é possível ofertar energia coletável significativa (em similaridade às características diurnas e noturnas da fonte solar). para visualização Tabela 1, os valores desses ciclos em questão foram suprimidos.

O processo realizado para ofertar os valores inicia-se pela entrega, a partir do ciclo c_{00} da jornada $J01$, até o ciclo c_{23} quando encerra-se a jornada. Por sua vez, a próxima oferta representará o inicio da jornada $J02$, realizando a mesma dinâmica dos ciclos, o processo termina quando todos os ciclos presentes nas 12 jornadas 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.

Com a definição dos ciclos e jornadas, determina-se também os processos realizados na dinâmica de oferta energética. Partindo disso, surge a necessidade agora de definir como será o processo de utilização desses recursos já armazenados. Uma segunda variável independente é necessária, o objetivo é realizar solicitações ao dispositivo de modo a estimular demanda para uso dos recursos. Assim, é preciso adotar algumas práticas para garantir que todos os dispositivos, além de receber a oferta energética estipulada como projetado, também sejam capazes de receber a mesma carga de solicitações, aproximadamente ao mesmo tempo.

Ao atender uma solicitação, o dispositivo é conduzido para iniciar ou permanecer em estado ativo, este estado intensifica a utilização de recursos quando comparado com estado inativo ou enquanto hiberna, já mencionado na Seção 6.2. Para cobrir essa dinâmica, após os dispositivos receberem a primeira oferta energética, no início da execução do experimento, inicia-se simultaneamente o processo contínuo de envio de solicitações para cada dispositivo. Na razão aproximada de 1 solicitação a cada 0.2 segundos. Caso dispositivo não consiga receber uma solicitação, na janela de tempo, será considerado indisponível para aquele estímulo.

Considera-se que os termos necessários para transmissão ou as características da interface de comunicação podem exercer influência na razão de transmissão das solicitações, por este motivo é previsto que a quantidade total de solicitações realizadas sofra uma variação ao fim de cada execução do experimento. Em todo caso, é garantido em que todos os dispositivos foram estimulados ao mesmo valor total de solicitações obtidas na execução bem como foram solicitadas simultaneamente.

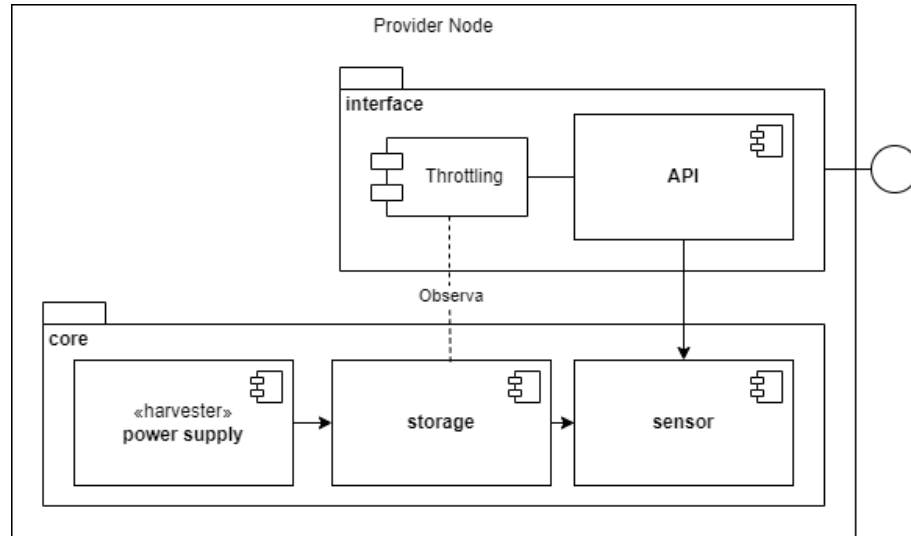
Finalmente, esta variável independente numérica, as solicitações realizadas, carrega o totais de requisições e em decorrência dela, e a partir disso, observa-se os resultados obtidos para quantidade total de solicitações realizadas que foram atendidas ou que encontraram o dispositivo indisponível.

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 10. 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 10 – Componentes do dispositivo Provedor.



Fonte: elaborado pelo autor.

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

1. *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.
2. *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.
3. *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 9. 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.

4. *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 instrumentalização 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 preferência 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.

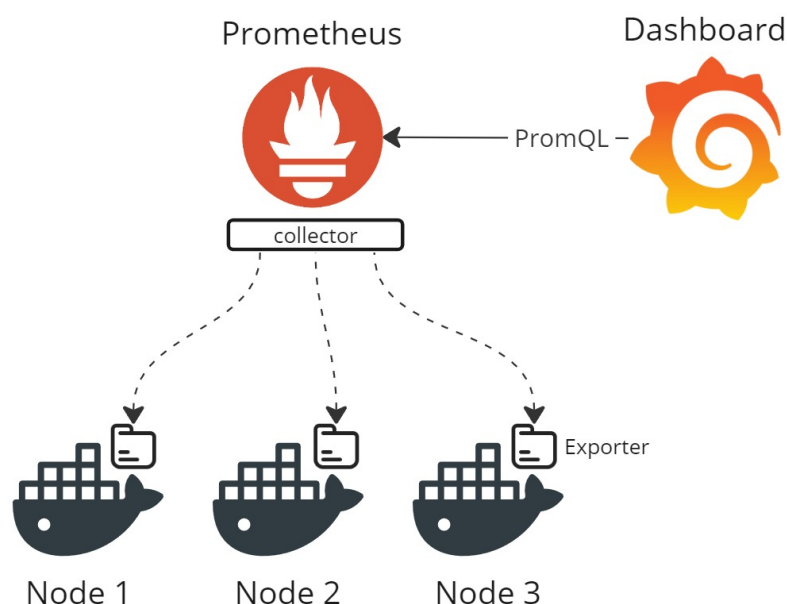
Para tanto, de maneira transparente é embarcado no dispositivo um cliente Prometheus chamado *Exporter*, este é responsável por expor os dados observáveis e de interesse no dispositivo. Periodicamente, a cada 10 segundos, um agente externo Prometheus *Collector* irá realizar chamadas com o objetivo de 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 acompanhar execuções em andamento. A Figura 11 ilustra a dinâmica entre dispositivos e seus *Exporters* embarcados e o agente externo coletor, e, por consequência,

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

a disponibilidade dos dados para uma *dashboard* de acompanhamento e posterior análise dos resultados.

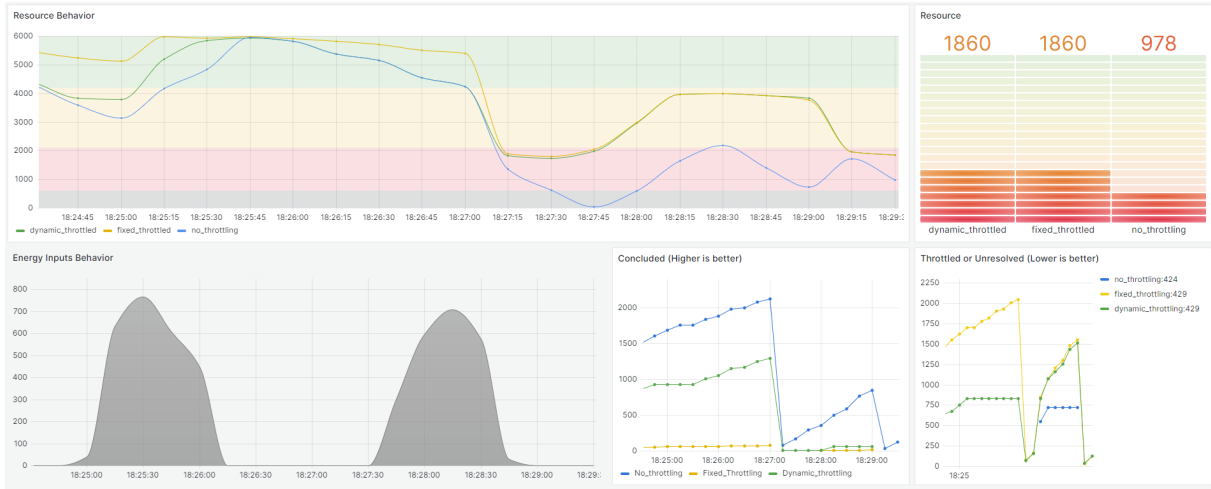
Figura 11 – Coleta e visualização da Execução do Experimento.



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a necessidade de visualização dos dados durante execução, foi criado 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 através de quadros - *dashboards* personalizáveis, foi criado a interface de acompanhamento do experimento. a Figura 12 apresenta o configuração da interface criada. Para avaliação posterior após a execução do experimento, os dados foram coletados através os logs gerados, e submetidos a uma planilha eletrônica capaz de produzir os gráficos necessários para análise dos resultados.

Figura 12 – 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 o 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 referência a Figura 7. 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 início 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 referência 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 4.

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 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 2 e indicam a composição dos dispositivos simulados respeito as classes taxonômicas de Atuação do mecanismo *throttling*.

O dispositivo $disp_1$, representa o comportamento de dispositivos sem nenhum mecanismo de limitação das solicitações, seu objetivo é servir como base de comparação para o consumo energético a medida que deverá atender todas as demandas solicitadas enquanto não se encontrar em estado hibernando.

Por sua vez, $disp_2$ e $disp_3$ foram implementados com a capacidade de limitar suas operações. Entretanto a atuação do mecanismo *throttling* é distinta entre eles, para o $disp_2$ é realizada restrição mediante limiar fixado em razão de uma vazão de atendimento estipulada previamente sem observar adequação ao cenário energético. Já para o $disp_3$ o limiar irá atuar adaptativamente regulando a taxa de vazão de atendimento observando as condições de sua Reserva energética.

Tabela 2 – Instancia taxonômica para os dispositivos.

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.

Sendo assim, a relação entre os modos de operação e o comportamento dos limitador, quando presente, esta referenciado na Tabela 3.

Tabela 3 – Expectativa de atendimento das solicitações (sol) por ciclo (c)

Nome	<i>Throttling</i>	Modo de Operação			
		Abundante ($S^* \geq 70\%$)	Atenção ($70\% > S \geq 50\%$)	Alerta ($50\% > S \geq 10\%$)	Hibernando ($S \leq 10\%$)
no-throttling	Não	30 sol/c	30 sol/c	30 sol/cl	0 sol/c
fixed-throttling	Sim	15 sol/c	15 sol/c	15 sol/c	0 sol/c
dynamic-throttling	Sim	30 sol/c	22 sol/c	15 sol/c	0 sol/c

* S representa o percentual da capacidade energética armazenada em componente *Storage* no momento observado.

Fonte: elaborado pelo autor.

Partindo disso, a execução do experimento durará 1728 segundos que convertidos totalizam 28 minutos e 48 segundos. Este é tempo necessário para processar os 288 ciclos necessários em razão das 12 jornadas de operações idealizadas. Em resumo, cada execução do experimento carrega as características conforme os itens abaixo:

1. **Total de ciclos:** 288 ciclos

$$\text{Total de Ciclos} = 12 \text{ jornadas} \times 24 \text{ ciclos/jornada} = 288 \text{ ciclos}$$

2. **Razão das Solicitações:** ≈ 5 solicitações/s

$$\text{Razão de Solicitações} = \frac{30 \text{ solicitações}}{6 \text{ s}} \approx 5 \text{ solicitações/s}$$

3. **Total de solicitações:** ≈ 8640 solicitações

$$\text{Total de Solicitações} = 288 \text{ ciclos} \times 30 \frac{\text{solicitações}}{\text{ciclo}} \approx 8640 \text{ solicitações}$$

4. **Tempo de Execução:** $1728 \text{ seg} = 28 \text{ min } 48 \text{ seg}$

Finalmente, o gasto dos recursos é obtido a partir da dinâmica ativo-inativo e a escolha por permanecer em um determinado estado conforme Figura 9, sendo assim, ao logo de um ciclo, o dispositivo que permanecer ativo durante todo o período despenderá sua reserva 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 suficiente para manter-se operacional, será considerada não atendida em razão da indisponibilidade do dispositivo.

6.6 Avaliação dos Resultados

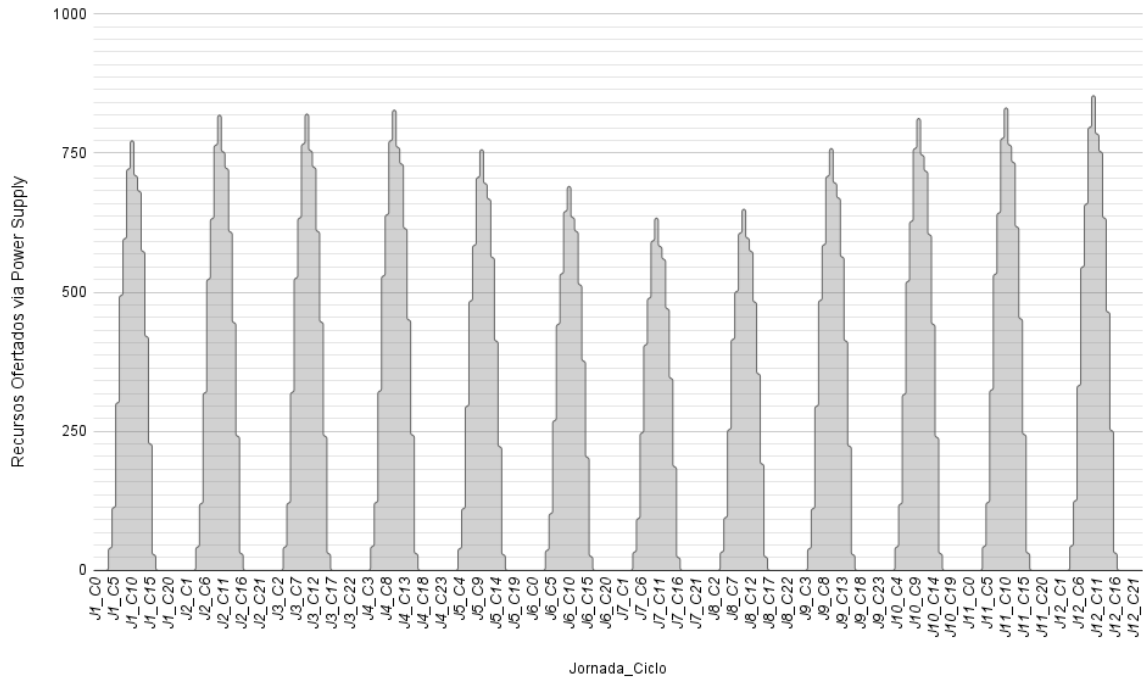
Nesta subseção, examina-se em detalhes os resultados obtidos a partir do experimento realizado. Descreve-se os dados coletados que compõe as variáveis independentes, e também apresenta-se os valores obtidos nas variáveis dependentes com o objetivo de avaliar o desempenho e a eficácia do experimento. Parte da avaliação se concentra em apresentar a análise descritiva dos dados coletados, a interpretação dos resultados e por fim, as limitações do estudo experimental.

6.6.1 Descrição dos Dados Coletados

A Figura 13, apresenta a distribuição para os valores utilizados como recursos ofertados aos dispositivos durante o experimento. Estes valores quantificam a primeira variável independente e é utilizada para fomentar a disponibilização de recursos no decorrer

dos ciclos por meio do componente *power supply* ao *storage* do dispositivo, são entregues no início de cada ciclo. Sendo o primeiro valor no ciclo c_0 da Jornada J_1 e, por sua vez, o ultimo transmitido no início do ciclo c_{23} da Jornada J_{12} . Decorrido o tempo do ultimo ciclo, finda-se a execução do experimento.

Figura 13 – Valores energéticos ofertados, durante o experimento



Fonte: elaborado pelo autor.

Dada a natureza do experimento, qualquer execução obterá o mesmo comportamento e distribuição para seus valores ofertados, pois são definidos antes da execução e não sofrem impacto diante das características dos dispositivos dentro do contexto de uma ou outra execução.

A segunda variável independente utilizada, representa as solicitações disparadas contra a interface do dispositivo provedor. Este estímulo tem características tais que, ao atender-las, o provedor intensifica seu consumo energético, pois encontra-se em estado ativo, demandando mais recursos. Isso implica que, à medida que a quantidade das solicitações atendidas aumenta, o consumo de energia do provedor também aumentará proporcionalmente, resultando em um impacto significativo na disponibilidade do dispositivo em relação com seu desempenho energético. A Tabela 4, apresenta os valores utilizados para as requisições em cada execução do experimento. A precisão indica a distribuição da relação entre total de solicitações em cada execução em referencia para 12 jornadas (8640 solicitações) descrito na Seção 6.5

Dando prosseguimento à execução do experimento, as variáveis dependentes são

Tabela 4 – Solicitações realizadas

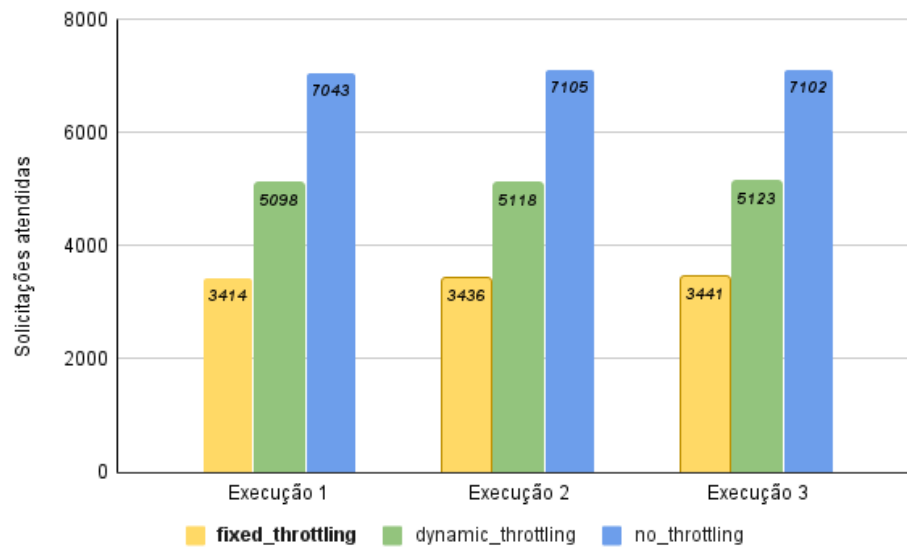
	Duração	Solicitações		
		Exec 1	Exec 2	Exec 3
1 ciclo	6 <i>seg</i>	29,875	29,86	29,88
1 Jornada (24 ciclos)	144 <i>seg</i>	717	716,75	717,16
12 Jornadas	1728 <i>seg</i>	8604	8601	8606

Fonte: elaborado pelo autor.

obtidas para avaliação: A Quantidade total de solicitações atendidas ao fim da execução do experimento e a evolução desses valores; a quantidade de solicitações impedidas mediante indisponibilidade do dispositivo. Para analisar a quantidade de solicitações impedidas, é preciso contrapor os dados temporais da variável independente oferta energética em relação a quantidade presente no dispositivo, o que justificará a atuação de limitadores.

Ainda sobre os dados coletados, ao final de cada execução foi coletado o total de requisições atendidas por cada dispositivo. Conforme Figura 14, é possível comparar o desempenho dos dispositivos sob a ponto de vista das solicitações atendidas.

Figura 14 – Quantidade de solicitações atendidas por dispositivo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Apenas o dispositivo "no-throttling" apresentou-se como resultado um quadro de indisponibilidade em função de esgotamento energético, de modo geral a Tabela 5 apresenta a performance dos dispositivos para atender as solicitações e quando necessário apresentar o quadro de indisponibilidade em razão do total de solicitações realizadas.

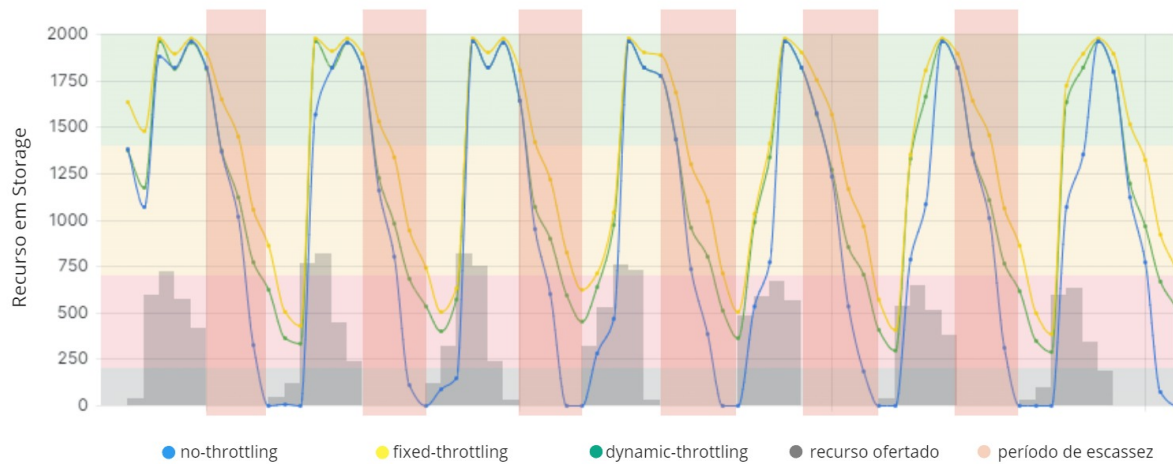
Tabela 5 – Quadro das solicitações realizadas aos dispositivos

Execução	Dispositivo	Solicitações		% indisponíveis
		atendidas	indisponíveis	
1	no-throttling	7043	1561	0.1814
	fixed-throttling	3414	0	-
	dynamic-throttling	5098	0	-
2	no-throttling	7105	1496	0.1739
	fixed-throttling	3436	0	-
	dynamic-throttling	5118	0	-
3	no-throttling	7105	1504	0.1747
	fixed-throttling	3441	0	-
	dynamic-throttling	5123	0	-

Fonte: elaborado pelo autor.

Parte da análise é obtida ao observar o gráfico de comportamento referente às capacidades energéticas encontradas no *storage* do dispositivo. A Figura 15 apresenta um recorte dos dados da execução 3, oferecendo informações suficientes para inferências sobre a dinâmica entre a coleta e a forma de consumo de recursos realizada por todos os dispositivos envolvidos. Essa visualização permite identificar alguns padrões de consumo e tendências de eficiência especialmente nas áreas em destaques verticais que destacam a quantidade mínima de recurso disponibilizado.

Figura 15 – Recorte do comportamento de uso dos recursos durante execução 3.



Fonte: elaborado pelo autor.

Ainda sobre a Figura 15, ela permite a análise do comportamento do dispositivo *dynamic-throttling* enquanto a atuação é adaptada para cada modo de operação em referencia a sua condição apresentada em *storage*, este processo é notável através da variação na tendencia da linha de consumo enquanto alterna-se as faixas horizontais limitadas pela relação de cores e modos da seguinte forma:

- Zona Verde, representa faixa considerada modo Abundante;
- Zona Amarelo, representa faixa considerada modo Atenção;
- Zona Vermelho, representa faixa considerada modo Alerta;
- Zona Cinza, representa faixa considerada modo Hibernação e seu esgotamento energético.

6.6.2 Interpretação dos Resultados

6.6.3 Limitações do Estudo

7 Considerações Finais

7.0.1 Implicações

7.0.2 Direções Futuras

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. 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.

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 19.

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.

ERICSSON. *Ericsson Mobility Report Update February*. [S.l.], 2024. Acesso em: 15 jan. 2024. Disponível em: <https://www.ericsson.com/4923b9/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2023/emr-q4-2023-update.pdf>. Citado na página 14.

GONG, J. et al. Sleep, Sense or Transmit: Energy-Age Tradeoff for Status Update With Two-Threshold Optimal Policy. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, v. 21, n. 3, p. 1751–1765, mar. 2022. ISSN 1536-1276, 1558-2248. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/9524472/>. Citado na página 36.

International Organization for Standardization (ISO). *ISO 9000: Quality management systems - Fundamentals and vocabulary*. Genebra, 2015. Citado na página 24.

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 3 vezes nas páginas 15, 16 e 17.

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 2 vezes nas páginas 24 e 31.

KWASNIK, B. The Role of Classification in Knowledge Representation and Discovery'. 1999. Citado na página 21.

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 29.

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.

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

MARTINS, F. R. et al. Atlas brasileiro de energia solar 2. Inpe, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 45.

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 4 vezes nas páginas 16, 18, 29 e 31.

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 na página 29.

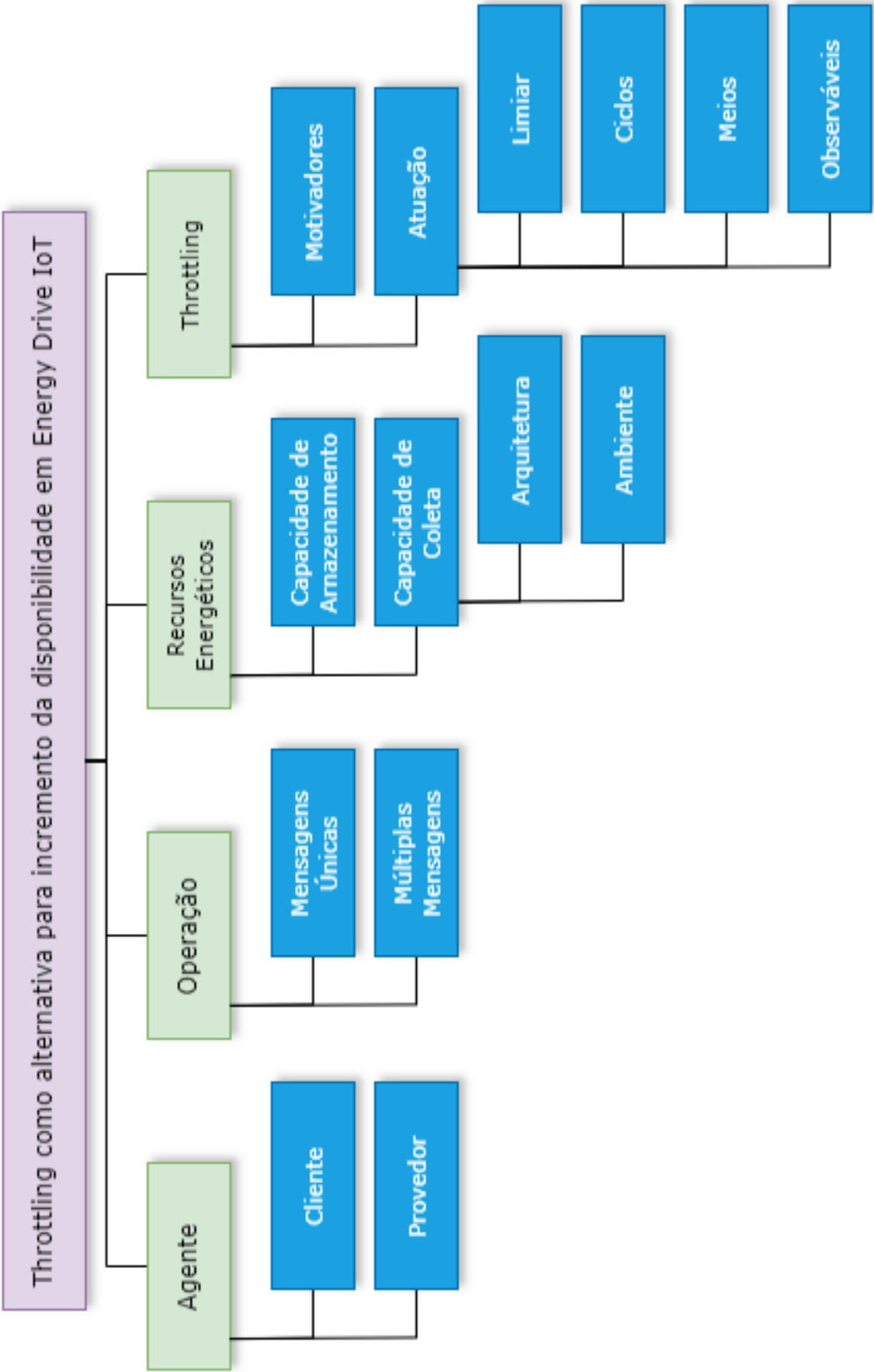
SINGH, J.; KAUR, R.; SINGH, D. A survey and taxonomy on energy management schemes in wireless sensor networks. *Journal of Systems Architecture*, v. 111, p. 101782, dez. 2020. ISSN 13837621. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S138376212030076X>>. Citado na página 15.

- 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 2 vezes nas páginas 16 e 18.
- 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 3 vezes nas páginas 16, 17 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 21 e 22.
- 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 29.
- 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 22.

Anexos

ANEXO A – Visão Geral da Taxonomia Proposta

Figura 16 – Visão Geral da Taxonomia



Fonte: elaborado pelo autor.