



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



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

Paulo Henrique de Queiroz Lopes

Natal-RN
Fevereiro de 2024

Paulo Henrique de Queiroz Lopes

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

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

Linha de Pesquisa:

Sistemas Integrados e Distribuídos

Orientador

Prof. Dr. Gibeon Soares de Aquino Junior

UFRN – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

DIMAP – DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E MATEMÁTICA APLICADA

CCET – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

PPGSC – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

Natal-RN

Fevereiro de 2024

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

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

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

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

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

Texto de dedicatória. asdasdasdasdas

Agradecimentos

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

“Not all those who wander are lost.”

J. R. R. Tolkien

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

Autor: Paulo Henrique de Queiroz Lopes

Orientador: Prof. Dr. Gibeon Soares de Aquino Junior

Resumo

resumo do trabalho em português.

Palavras-chave: palavra_1; palavra_2; palavra_3.

Research Title in English

Author: Aluno da Silva

Supervisor: Título e nome do seu orientador

Abstract

Research abstract fully in English.

Keyword_s: Word_1; Word2; Word_n.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Aqui vou colocar uma figura apresentando os dois grupos da taxonomia	16
Figura 2 – Aqui vou colocar uma figura da taxonomia proposta	17
Figura 3 – Aqui vou colocar uma figura power-neutral	20
Figura 4 – Aqui vou colocar uma figura energy-neutral	21
Figura 5 – Aqui vou colocar uma figura A e B com as diferentes atuações do limiar.	24
Figura 6 – Aqui vou colocar uma figura sobre entrada energética e ciclo de carga. .	25

Lista de tabelas

Lista de Abreviaturas

API *Application Programming Interface*

BTI Bacharelado em Tecnologia da Informação

SLA *Service Level Agreement*

IoT *Internet of Things*

RFID *Radio Frequency IDentification*

EN *Energy-Neutral Operation*

MDP *Markov Decision Process*

EHS *Energy Harvesting System*

Sumário

	Capítulo 1	13
1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Aqui vai uma seção da Introdução	13
1.2	Sobre o \LaTeX	13
	Capítulo 2	13
2	CONCEITOS RELACIONADOS	14
	Capítulo 3	14
3	TRABALHOS RELACIONADOS	15
	Capítulo 4	15
4	TAXONOMIA	16
4.1	Organização	16
4.2	Taxonomia Proposta	17
4.3	Agentes IoT	18
4.3.1	Node Provedor	18
4.3.2	Node Cliente	18
4.4	Operações	18
4.5	Recursos Energéticos	19
4.5.1	Capacidade de Coleta	20
4.5.2	Capacidade de Armazenamento	22
4.6	<i>Throttling</i>	23
4.6.1	Atuação: Limiar, Ciclo de Carga e Meios	23
4.6.1.1	Meios	25
4.6.2	Implementação: Observáveis e Motivadores	27
	Capítulo 5	28
5	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
	REFERÊNCIAS	30

ANEXOS	32
ANEXO A – TITULO DESTE ANEXO	33

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>.

Acredito também que este modelo sirva para outros programas, mas seu direcionamento principal, como já citado, é para o PPgSW - IMD - UFRN (??).

1.1 Aqui vai uma seção da Introdução

1.2 Sobre o \LaTeX

2 Conceitos Relacionados

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.

3 Trabalhos Relacionados

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

4 Taxonomia

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

4.1 Organização

Inicialmente, as classes foram distribuídos acomodando os elementos envolvidos de acordo com os critérios que os definem, a seguir, conforme apresenta a Figura 1.

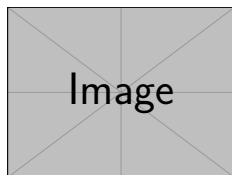


Figura 1 – Aqui vou colocar uma figura apresentando os dois grupos da taxonomia

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

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

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

4.2 Taxonomia Proposta

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

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

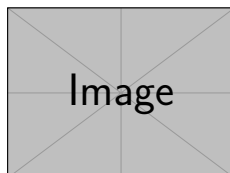


Figura 2 – Aqui vou colocar uma figura da taxonomia proposta

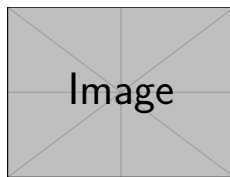
A taxonomia detalhada apresenta suas classes nos termos em que foram encontrados na literatura dentro contexto de estudo, conforme Figura 2.

4.3 Agentes IoT

Todo agente (node) presente é uma entidade computacional que carrega a capacidade intrínseca de interagir com outros agentes, que por definição possuem propriedades fundamentais como: funcionalidade, performance, dependabilidade e segurança como a definição já encontrada em (AVIZIENIS et al., 2004). Dado contexto, para um ambiente IoTs é fundamental considerar também a capacidade comunicar-se com outras entidades, almejando o compartilhamento de recursos (LI; XU; ZHAO, 2015), observando, além disso, suas características energéticas.

4.3.1 Node Provedor

Qualquer entidade computacional no momento em que oferta um estado ou atende uma solicitação de recurso pode ser considerada provedor. Em geral, um provedor poderá ofertar mais de uma funcionalidade através de serviços, sendo cada uma atendida mediante o uso dos recursos durante a progressão de estados internos do provedor e seu resultado percebido como estado externo, disponível através de uma interface na forma de eventos ou a contraparte das solicitações de nodes clientes.



4.3.2 Node Cliente

Um node cliente ou usuário é a entidade que por meio de sua interface, recebe o estado externo de nodes provedores. Clientes ocasionalmente podem consumir um ou mais recursos de um mesmo provedor, mas também é possível interagir com mais de um provedor a depender da operação em execução. Enquanto cliente, o node estará interessado em realizar atividades segundo as particularidades a que se destina sua operação.

4.4 Operações

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

Mensagem é a unidade atômica de informação que independente do seu formato é utilizada para as mais diversas ações de acordo com o que se destina a rede colaborativa, uma mensagem pode carregar ações como inicialização, controle, monitoramento, coleta,

processamento ou armazenamento de dados. A depender da funcionalidade, um cliente quando ativo, deve enviar mensagens de solicitação aos provedores os quais reativamente respondem via interface preestabelecida, caso a operação aconteça através de eventos, o provedor deve autonomamente disponibilizará suas informações para todos que tenham interesse.

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

4.5 Recursos Energéticos

Um Recurso descreve um componente ou capacidade que um dado node possui para realizar suas operações. Isto inclui seus componentes físicos ou virtuais que uma vez embarcados ao dispositivo contribuem em cooperação para os mais diversos fins, coleta, monitoramento, automação industrial, assistência a medicina entre outros. Um Recurso infere sobre as capacidades dos elementos dispostos na rede, a configuração do dispositivo esta fortemente ligado à atividade fim que se destina. Para este trabalho, os recursos como processamento, armazenamento ou capacidade de transmissão estão omitidos pois expressam diretamente o universo de possibilidades onde um agente IoT se encontra. Entretanto, em uma rede IoTs dirigida à energia, aspectos energéticos devem ser detalhados

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

No cenário proposto, assume um papel importante pois é essencial para garantir o funcionamento continuo e autônomo dos nodes envolvidos, cabendo ao agente suas ações de coleta, transformar, armazenamento e utilização o recurso energético, projetado de maneira a aproximar-se do estado onde as operações tendem a uma neutralidade energética

Energy-Neutral Operations (ENs), conceito apresentado por (KANSAL et al., 2007) e posteriormente em (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017) com a abordagem da neutralidade de força-energética, em acordo com suas respectivas capacidades.

4.5.1 Capacidade de Coleta

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

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

- Coleta e Usa (*Harvest-Use*): Neste modelo, toda energia coletada é oferecida diretamente ao node continuamente. Conforme (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017), um node não precisaria de um *buffer* energético, ou apenas o mínimo possível para mante-lo operacional, desde que seu funcionamento for orientado as características da neutralidade força-energética. Assim, a energia coletada deve satisfazer os valores de operação plena ou pelo menos o mínimo necessário para o funcionamento depreciado. Por isso, caso a energia coletada não seja suficiente, o node prontamente adaptará o fornecimento dos seus recursos buscando enquadrar-se a disponibilidade energética corrente para, posteriormente, caso o nível de fornecimento energético alcance os níveis desejados, tenha sua operação restabelecida. Em alguns casos, quando prontamente é detectado níveis energéticos abaixo do necessário até para o funcionamento adaptado no node, o mesmo, poderá executar alguma rotinas de *checkpoint* para caso tenha sua operação integralmente interrompida, possa mediante ter sua necessidade energética suprida em momento futuro, retornar para um estado desejado, como sistemas intermitentes já mencionados em (SLIPER et al., 2020).



Figura 3 – Aqui vou colocar uma figura power-neutral

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

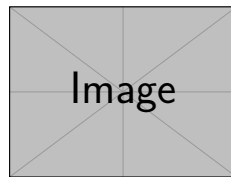


Figura 4 – Aqui vou colocar uma figura energy-neutral

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

- Não controladas mas previsíveis: A produção energética não pode ser controlada nos momentos desejados, mas o comportamento pode ser modelado para prever a disponibilidade num dado momento com alguma margem de acerto. Por exemplo, no trabalho de (LEE; PARK, 2018) fontes energéticas baseadas em energia energia solar, que tem sua origem não controladas, todavia existem modelos capazes de prever disponibilidade energética para colheita de acordo com sua sazonalidade durante ciclos diurnos.
- Não controladas e não previsíveis: A fonte energética não pode ser controlada para gerar energia quando desejado e não é fácil prever usando um modelo quando será possível. A extração energética originada pela vibração de ambientes internos é um exemplo de tal fonte energética como descrito em (WEI; JING, 2017), todavia definir padrões de sazonalidade das vibrações pode tornar o processo de coleta impraticável;
- Completamente controlada: Neste contexto, a energia é gerada apenas quando necessário, como visto em alguns sistemas *piezoelétrico* onde através da interação humana para geram energia quando necessário.

- Parcialmente controlada: O processo de geração energética é sensível à ação de terceiros porém a quantidade exata de energia gerada não pode ser prevista com exatidão. Fontes baseadas em Radio Frequência converte a transmissão de ondas de radio em energia utilizável, por exemplo, (SHAIKH; ZEADALLY, 2016) decorre como tags *Radio Frequency IDentification* ([RFID](#)) conseguem ser visualizadas por um leitor. Todavia, a quantidade de energia coletada sofre impactos diretos das características de propagação no meio disposto, barreira, distancia até a fonte e capacidade da antena de transmissão.

4.5.2 Capacidade de Armazenamento

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

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

Baterias, super capacitores ou modelos híbridos estão presentes no contexto de dispositivos com fortes restrições energéticas e capacidade de coleta, para estes a atuação busca estar de acordo com as condições físicas e necessidade de conservação da energia. É possível distinguir três padrões de armazenamento para as capacidade energética presente em um dispositivo que busca o estado de operação neutra onde se observa a relação entre a saída energética e o gasto energético do node dado o momento. Segundo o modelo de uso proposto, a habilidade para coleta e a necessidade de disponibilidade definida no [SLA](#), os nodes provedores encontram sua capacidade de armazenamento em um dos casos:

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

em ciclos de carga. Aqui os nodes operam em um regime de Coleta, Armazenamento e Uso, já descrito anteriormente.

4.6 *Throttling*

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

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

4.6.1 Atuação: Limiar, Ciclo de Carga e Meios

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

Uma vez definido um limiar de atuação, sua ação pode ser inteiramente linear ou constante, onde durante todo funcionamento do node o mesmo valor limiar é aplicado, independente de outros fatores, outra possibilidade é definir vários limites que agem adaptativamente de acordo com os diversos estados mapeados, tão logo determinado cenário seja alcançado, o node pode ajustar seu limiar de atuação para conservar seus

recursos visando manter-se funcional. O comportamento do limiar de atuação passa pela análise cuidadosa da natureza do node provedor e operações esperadas. Em síntese:

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

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

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

- **Limiar adaptável:** Nesta abordagem, o comportamento do node é ajustado dinamicamente, por isso um node pode assumir um comportamento mais adequado ao observar suas condições de funcionamento através do monitoramento ou auto-análise dos recursos do node, permitindo atender as solicitações dos nodes clientes, com performance adequada aos termos de operação que se encontre. Por exemplo, dado um sistema de segurança que geralmente possui nodes equipados com câmeras. Este provedor, deve enviar imagens capturadas por seus sensores para algum solicitante, seja uma central que passivamente recebe as gravações ou outra forma de node demandante. Dado uma mudança observada em seus termos de funcionamento, o node poderá ter faixas de limiares distintas adequando-se ao estado encontrado, conservando-se e garantido seu funcionamento dentro do [SLA](#) estabelecido.

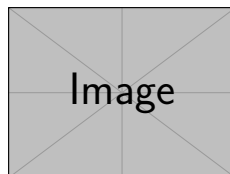


Figura 5 – Aqui vou colocar uma figura A e B com as diferentes atuações do limiar.

Graças a isso, o node com limiar adaptável será capaz de operar em diferentes faixas de operações, depreciando seus serviços com a mudança de comportamento, seja

para interromper ou reduzir sua taxa da transmissão e assim permanecer operando mitigando riscos funcionais enquanto se encontre neste estado. Uma vez que os recursos observáveis se restabeleçam, o node pode assumir comportamento de uso acentuado dos recursos disponíveis permitido pelo novo valor estipulado para o limiar de consumo adequado. Esta capacidade de adaptação, permite que nodes provedores mantenham algum equilíbrio entre conservação de recursos e performance, garantindo suas funcionalidades nos termos das condições operacionais.

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

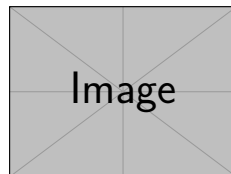


Figura 6 – Aqui vou colocar uma figura sobre entrada energética e ciclo de carga.

4.6.1.1 Meios

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

($Meio_1$) Atuação sobre nodes clientes;

($Meio_2$) Atuação sobre atividades do node provedor;

($Meio_3$) Atuação sobre degradação intencional de componentes envolvidos.

O ($Meio_1$) usa de mecanismos de *throttling* ao considerar a necessidade de observar as capacidades dos nodes clientes em relação de sua taxa de vazão ou a criticidade de suas operações. Sobre a taxa de vazão, estipula-se um *throttling* aplicado a quando o

node cliente buscar limitar sua taxa de recebimento de mensagens de acordo com sua capacidade de lidar com tais eventos. Sendo assim, para conseguir operar nos termos em que se encontrar, o node cliente poderá limitar sua vazão para envio ou recebimento de dados de acordo com as suas capacidades, este limite tem por objetivo recuperar ou preservar seus recursos em acordo com o estabelecido limiar de atuação.

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

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

(*Meio₂*) compreende o controle de atuação no node provedor. De acordo com o seu estado durante um ciclo de carga os mecanismos de throttling poderão atuar em conformidade aos recursos encontrados neste node. Para tal, as estratégias de aplicação e definição de limites passam pela observação da capacidade de vazão das múltiplas solicitações proveniente dos clientes, bem como da criticidade das operações realizadas.

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

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

O limiar de atendimento de operações poderá suportar um sistema hierárquico,

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

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

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

4.6.2 Implementação: Observáveis e Motivadores

A implementação passa por decisões arquiteturais que impactam diretamente o comportamento do node, também deve considerar a atuação do mesmo enquanto dispositivo na rede *IoT*.

Qualquer aspecto que impacta ou influencie na capacidade do node em manter-se disponível deve ser levado em consideração em sua implementação. Estes, os ditos elementos observáveis, compreendem os componentes aos quais cabem a análise de estado pois justificam a ação do mecanismo throttling, que deverá ajustar o comportamento do node para mante-lo disponível mediante evitar esgotamento energético do mesmo, estes se apresentam como os garantidores das condições energéticas do node: sua condição de entrada através de uma fonte energética; a capacidade de armazenamento dessa energia coletada em eventual *buffer*.

A entrada energética como citada em 4.5.1, indica a capacidade de coleta energética do node, uma vez que um dispositivo receba uma entrada, inicia-se um ciclo de carga que por sua vez durará até a próxima oferta energética. Sobre a capacidade de armazenar energia, como disposto em 4.5.2 indicam sua reserva secundária, onde em momento adequado o node poderá fazer uso para manter-se operacional.

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

Desta forma, a mudança de comportamento do node motiva-se em: tão logo quanto os fatores de tomada de decisão forem descobertos, adequar-se para que estes fatores divergentes, aqueles encontrados em execução, sejam mitigados pois encontram-se como elementos que potencializam um risco a disponibilidade mediante as condições energéticas buscada pelo node na rede.

No trabalho (ZHANG et al., 2018), equipamentos capazes de observar seus recursos energéticos, atuam modificando seu comportamento para preservar energia motivados com a expectativa de uma entrada energética prevista. Sendo assim, para este caso, a motivação de aplicação do agente limitante é preservar alguma condição energética, prolongando a disponibilidade dos componentes ditos críticos.

Portanto, a motivação dos nodes em limitar seu comportamento passa pela análise do estado dos recursos observáveis e a intenção proposta para o agente limitante.

Na taxonomia, define-se intenção como sendo o propósito declarado para atuação de um agente limitante em concordância com o que se deseja. É de interesse dos aspectos relativos a restrição energética do node, que a atuação do throttling procura alcançar um dos dois objetivos:

1. Preservar recursos energéticos;
2. Restabelecimento da condição energética.

Quanto ao restabelecimento de sua condição energética, entende-se que o node poderá através da análise de seus observáveis, adotar comportamento limitado motivado pela expectativa de restabelecer seus recursos energéticos a valores esperados. Neste caso, pretende-se com isso operar de modo a dispendar menos energia durante os próximos ciclos de carga até que seus valores estejam em acordo com o esperado ou o cenário de uso se altere.

Uma vez alcançado estado desejado, o node poderá reavaliar seu comportamento e ajustar-se para o enfim considerado adequado.

5 Fundamentação Teórica

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

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

Referências

- AOUDIA, I. et al. Service composition approaches for internet of things: a review. *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, v. 22, 01 2019. Citado na página 19.
- 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 16 e 18.
- KAHLOUL, L.; BENHARZALLAH, S.; AOUDIA, I. Service composition approaches for Internet of Things: a review. *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, v. 23, n. 1, p. 1, 2019. ISSN 1754-3916, 1754-3924. Disponível em: <http://www.inderscience.com/link.php?id=10017271>. Citado na página 19.
- 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 2 vezes nas páginas 16 e 20.
- KHAIRNAR, P.; MEHTA, N. Discrete-rate adaptation and selection in energy harvesting wireless systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, v. 14, n. 1, p. 219–229, 2015. Publisher: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84921364757&doi=10.1109%2fTWC.2014.2337296&partnerID=40&md5=05e2f699bfe37e504c08495825bbe46f>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 17 e 23.
- KHAN, J. et al. Energy management in Wireless Sensor Networks: A survey. *Computers and Electrical Engineering*, v. 41, n. C, p. 159–176, 2015. Publisher: Elsevier Ltd. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84927798837&doi=10.1016%2fj.compeleceng.2014.06.009&partnerID=40&md5=86f9fbcdcbfd5c25ff80fd1630199d5a>. Citado na página 17.
- 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 21.
- LI, S.; XU, L.; ZHAO, S. The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, v. 17, n. 2, p. 243–259, 2015. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84925468156&doi=10.1007%2fs10796-014-9492-7&partnerID=40&md5=dd6cf3fbddb72b2d691e33e60aa3d01a>. Citado na página 18.
- 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 23.

MARTINEKUAN. *Throttling pattern - Azure Architecture Center*. 2019. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/throttling>>. Citado na página 23.

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 na página 20.

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 19.

SHAIKH, F. K.; ZEADALLY, S. Energy harvesting in wireless sensor networks: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 55, p. 1041–1054, mar. 2016. ISSN 13640321. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115012629>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

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 na página 20.

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 2 vezes nas páginas 17 e 20.

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 21.

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 23 e 28.

Anexos

ANEXO A – Título deste anexo

