

Minimização da Interferência em Ambientes Inteligentes com Dispositivos Heterogêneos

Francisco da Ponte¹, Gabriel Galdino¹, Alexandre Rocha¹,
Denis Rosário², Joaquim Celestino Jr.¹ e Rafael L. Gomes¹

¹Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) - Universidade Estadual do Ceará (UECE)

{rodrigo, gabriel, alexandre, celestino, rafaelllgom}@larces.uece.br

²Instituto de Tecnologia (ITEC) - Universidade Federal do Pará (UFPA)

denis@ufpa.br

Abstract. *In recent years, the growth of the Internet of Things (IoT) paradigm has popularized the application of heterogeneous wireless devices in many different environments, introducing the concept of Smart Environments (SE). SEs are equipped with different smart devices that suffer a serious problem of coexistence, as they use the 2.4 GHz ISM band for communication, compromising the quality of the services present. In this context, this article presents the MICA algorithm to minimize interference in SE through the proper allocation of wireless channels, as well as a crossinterference model. The results suggest that the proposed algorithm reduces total interference as well as maximizes packet delivery when compared to existing approaches.*

Resumo. *Nos últimos anos, o crescimento do paradigma da Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) popularizou a aplicação de dispositivos sem fio heterogêneos nos mais diversos ambientes, surgindo o conceito de Ambientes Inteligentes (Smart Environments - SE). SEs são ambientes equipados com diferentes dispositivos inteligentes que sofrem um sério problema de coexistência, pois usam a banda ISM de 2,4 GHz para comunicação, comprometendo a qualidade dos serviços presentes. Dentro deste contexto, este artigo apresenta o algoritmo MICA para minimizar a interferência em ambientes inteligentes através da atribuição adequada de canais sem fio, assim como um modelo de interferência entre tecnologias. Os resultados sugerem que o algoritmo proposto reduz a interferência total, bem como maximiza a entrega de pacotes quando comparado às abordagens existentes.*

1. Introdução

Com o advento da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), a implantação de dispositivos inteligentes para controlar e automatizar várias tarefas do cotidiano, transformou ambientes comuns nos chamados ambientes inteligentes (*Smart Environments* - SE) [Mocrii et al. 2018]. Os dispositivos utilizados nos SEs costumam se comunicar através de uma rede local sem fio (*Wireless Local Area Network* - WLAN) e comumente utilizam as tecnologias *Wi-Fi* (implementação do padrão IEEE 802.11), *Zigbee* (implementação do padrão IEEE 802.15.4) e *Bluetooth* (implementação do padrão IEEE 802.15.1). Essas três tecnologias utilizam a mesma frequência de comunicação de 2.4 GHz ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) [Qu et al. 2017, Chwalisz and Wolisz 2018].

Dada a grande quantidade de dispositivos sem fio presentes nos SEs, os quais utilizam a mesma frequência, é comum que as WLANs sofram problemas de coexistência causados pela interferência gerada pelos dispositivos. Esse problema de coexistência afeta a Qualidade de Serviço (*Quality of Service* - QoS) e, especialmente, a confiabilidade e a latência da rede, o que pode levar a problemas críticos em aplicativos de usuários [Natarajan et al. 2016].

O problema de coexistência pode ser mitigado entre dispositivos que empregam a mesma tecnologia de comunicação através do uso de um protocolo MAC, como CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) ou através do uso de uma técnica como o AFH (*Adaptive Frequency Hopping*), que permite que um dispositivo mude seu canal de transmissão quando detecta que o canal está sendo utilizado [Coronado et al. 2018]. No entanto, tais soluções são impraticáveis quando os dispositivos usam diferentes tecnologias de comunicação, uma vez que essas técnicas são específicas para uma determinada tecnologia (por exemplo, AFH só encontra-se presente em dispositivos *Bluetooth*) [Chwalisz and Wolisz 2018, Qu et al. 2017]. Portanto, a coexistência de dispositivos heterogêneos, que utilizam a mesma frequência, mas que possuem diferentes tecnologias de comunicação, ainda é um problema em aberto nos SEs, principalmente devido a grande quantidade de dispositivos, fato que aumenta a interferência entre eles.

Dentro deste contexto, este artigo apresenta o algoritmo *MICA*, capaz de identificar a atribuição de canais que minimiza a interferência sofrida pelos dispositivos heterogêneos nos SEs. Adicionalmente, propõem-se uma modelagem de sobreposição dos canais heterogêneos que, junto com a potência de transmissão e a atenuação do sinal, são utilizados para medir a interferência entre os dispositivos heterogêneos. Sendo assim, o algoritmo visa mitigar o problema de coexistência entre as tecnologias de comunicação *Wi-Fi*, *Zigbee* e *Bluetooth*. Os experimentos realizados sugerem que o algoritmo *MICA* supera as soluções existentes, conseguindo diminuir a quantidade total de interferência do ambiente e aumentando significativamente a quantidade de pacotes entregues.

O restante deste artigo está organizado da forma a seguir. A Seção 2 descreve os trabalhos relacionados existentes. A Seção 3 descreve o modelo de interferência utilizado e o algoritmo *MICA*. A Seção 4 discute os resultados obtidos nos experimentos realizados e, por fim, a Seção 5 conclui o artigo e cita os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Chwalisz et al. [Chwalisz and Wolisz 2018] propõem uma abordagem de sincronização para redes *wireless* (no caso, IEEE 802.11 e IEEE 802.15.4 TSCH), de forma que elas possam realizar operações usando a mesma referência de tempo. Assim, as redes *Wi-Fi* evitam transmitir em “períodos de colisão” (i.e. quando os dispositivos *Zigbee* estão transmitindo). Para isso, os autores desenvolveram um mecanismo de sincronização capaz de correlacionar informações enviadas através da Internet (por exemplo, *time slot*, *channel offset*, opções do *link*, etc.), com a análise dos padrões de energia gerados pelas transmissões de dados das redes *Zigbee*. A solução apresentada pelos autores não leva em consideração a interferência gerada pelas transmissões de dispositivos *Bluetooth* e além disso, se a rede *Zigbee* realizar uma grande quantidade de transmissões, ela pode tornar a rede *Wi-Fi* inutilizável.

Qu et al. [Qu et al. 2017] propõem uma estratégia de alocação de recursos de rádio, capaz de atender as diferentes necessidades apresentadas pelas redes industriais heterogêneas. Os autores estudam o problema de interferência causada pela coexistência das tecnologias que utilizam os padrões IEEE 802.15.4 e IEEE 802.11. A fim de evitar a interferência e garantir a qualidade da comunicação, os autores utilizam os canais que não se sobrepõem para realizar a comunicação, i.e., os canais 1, 6 e 11 para o IEEE 802.11 e 15, 16, 21 e 22 para o IEEE 802.15.4. Assim, os autores utilizam o problema do empacotamento, para solucionar o problema de alocação de recursos. Por utilizar apenas canais que não se sobrepõem, as soluções apresentadas por essa abordagem são limitadas (como explicado anteriormente) e não leva em consideração a tecnologia *Bluetooth*.

Coronado et al. [Coronado et al. 2018] apresentam o *Wi-Balance*, um algoritmo projetado para diminuir domínios de colisão entre os Pontos de Acesso (*Access Points* - APs) de uma rede e oferecer um esquema de associação, capaz de detectar situações nas quais o tráfego não é eficiente para os dispositivos dos usuários. O algoritmo parte de um AP aleatório da rede, analisa os canais utilizados por seus vizinhos e atribui o canal que estiver sendo menos utilizado. No caso de vários canais se encaixarem nessa condição, o canal com a menor taxa de ocupação é escolhido. O algoritmo conclui sua execução, quando encontra uma configuração que minimiza o número de APs no mesmo domínio de colisão. Essa abordagem necessita a utilização de um controlador SDN (*Software Defined Network*) e só leva em consideração dispositivos *Wi-Fi*, comprometendo assim sua aplicabilidade em ambientes inteligentes compostos por dispositivos heterogêneos.

Como pode ser visto, há diversas técnicas que abordam a alocação de canal em tecnologias específicas para minimizar a interferência gerada em uma rede sem fio. Contudo, existem poucos trabalhos que levam em consideração outras tecnologias simultaneamente no ambiente, onde estas operam na mesma frequência e consideram características como potência de transmissão e atenuação de sinal. A partir disso, este artigo apresenta um algoritmo para identificar a atribuição de canais mais adequada (minimizar a interferência) a partir de um modelo de sobreposição dos canais heterogêneos.

3. Proposta

A seguir será apresentada as propostas deste artigo: (I) um modelo para calcular a interferência entre dispositivos heterogêneos (descrito na Subseção 3.1); e, (II) um algoritmo determinístico guloso chamado de *MICA* (detalhado na Subseção 3.2).

3.1. Cálculo da Interferência

Essa subseção descreve o modelo de interferência proposto neste trabalho. O modelo leva em consideração o fator de sobreposição entre dois canais, a potência de transmissão dos dispositivos e a atenuação do sinal no ambiente para calcular a interferência gerada entre dois dispositivos.

3.1.1. Fator de interferência entre canais sobrepostos

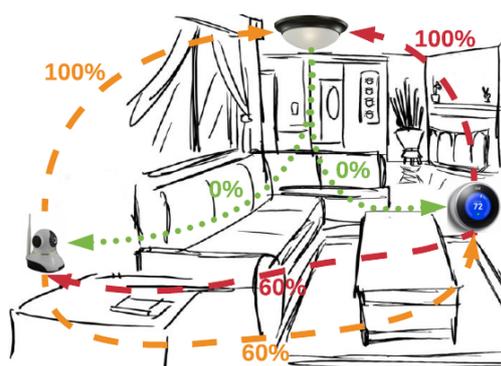
A interferência entre dois canais foi modelada com base na sobreposição das frequências. Akl et al. [Akl and Arepally 2007] apresentou uma fórmula básica para calcular o fator de interferência entre dois canais *Wi-Fi*. Devido a essa restrição ao *Wi-Fi*, a utilização

desta fórmula é impraticável no contexto de SEs, uma vez que as WLANs costumam ser compostas por diferentes diferentes tecnologias sem fio no mesmo ambiente.

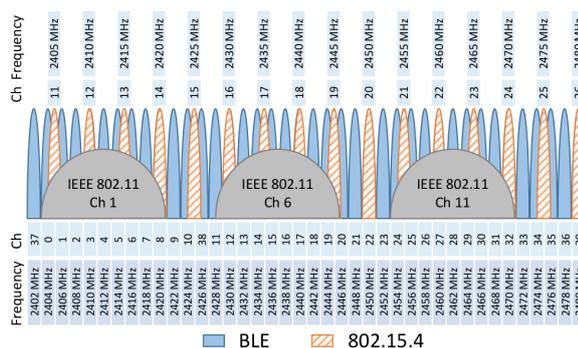
Portanto, a formulação básica proposta por Akl et al. foi adaptada para contexto de SE, onde o fator de interferência leve em consideração não só os canais *Wi-Fi*, mas também os canais *Zigbee* e *Bluetooth*. Assim, o fator de interferência¹ foi modelado com base no estudo apresentado por Natarajan et al. [Natarajan et al. 2016]:

- O *Wi-Fi* causa interferência no *Zigbee* e no *Bluetooth*, mas sofre interferência somente de outro dispositivo *Wi-Fi*;
- O *Zigbee* causa interferência em dispositivos *Bluetooth*, mas sofre interferência de dispositivos *Wi-Fi* e de outros dispositivos *Zigbee* (usando o mesmo canal);
- O *Bluetooth* sofre interferência de dispositivos *Wi-Fi* e *Zigbee*, mas não causa interferência em outros dispositivos de tipos diferentes, somente em outros dispositivos *Bluetooth* com o mesmo canal.

A fim de ilustrar um exemplo, a Figura 1(a) mostra um ambiente inteligente composto de três dispositivos inteligentes: uma câmera de segurança (*Wi-fi* no canal 1, cor laranja), um termostato (*Wi-fi* no canal 3, cor vermelha) e uma lampada (*Zigbee*, cor verde). Adicionalmente, na Figura 1(a) é apresentado o fator de interferência entre os dispositivos. Se um mesmo canal for atribuído a dois dispositivos vizinhos, o fator de interferência entre eles é 1.0 ou 100%. Se o canal 1 do *Wi-Fi* for atribuído a um dispositivo e o canal 3 for atribuído a um segundo dispositivo, o fator de interferência entre eles será de 0,6 ou 60%. Consequentemente, se algum canal *Wi-Fi* maior que 5 for atribuído ao segundo dispositivo, o fator de interferência será zero ou 0% (já que os canais não estão sobrepostos). Seguindo o mesmo raciocínio, como não existem canais sobrepostos nas tecnologias *Zigbee* e *Bluetooth*, a interferência entre dois dispositivos, sejam eles *Zigbee-Zigbee* ou *Bluetooth-Bluetooth*, é de 100% se eles usarem o mesmo canal ou 0%, caso contrário.



(a) Exemplo de cenário com interferência.



(b) Faixa de 2.4 GHz [Natarajan et al. 2016].

Figura 1. Ilustração de Canais Sobrepostos

A interferência causada por dispositivos *Wi-Fi* em dispositivos *Zigbee* ou *Bluetooth* é de 100% para canais sobrepostos e 0% caso contrário. Por exemplo, o canal 1 do *Wi-Fi* varia entre 2401 MHz e 2423 MHz, e interfere 100% nos canais 11 a 14 do *Zigbee*

¹<https://github.com/rodrigoparente/interference-factor-w/>

(que variam entre 2404 MHz e 2421 MHz) e também nos canais 0 a 9 do *Bluetooth* (que variam entre 2404 MHz e 2422 MHz). Isso acontece porque os canais mencionados de ambas tecnologias (*Zigbee* e *Bluetooth*) estão completamente dentro do espectro do canal 1 do *Wi-Fi*, conforme ilustrado na Figura 1(b).

3.1.2. Modelo de atenuação de sinal

A distância entre dois dispositivos é utilizada para calcular a perda da potência do sinal de transmissão (isto é, a atenuação do sinal) através do modelo descrito na referência [IEEE Standards Association 2003] e mostrado na Equação (1). Na equação a seguir, PL é o valor da atenuação do sinal e d é a distância entre dois dispositivos.

$$PL(d) = \begin{cases} 40.2 + 20 \cdot \log_{10}^{(d)}, & 0.5m < d \leq 8m \\ 58.5 + 33 \cdot \log_{10}^{(d/8)}, & d > 8m \end{cases} \quad (1)$$

Quando a distância (d) for menor ou igual a 0.5 metros, consideramos que não existe atenuação do sinal (ou seja, $PL = 1$). A utilização da Equação (1) é recomendada pelo IEEE para dispositivos que operam na frequência de 2.4 GHz em ambiente internos, como é o caso dos SE [IEEE Standards Association 2003].

3.1.3. Modelo de interferência

A partir das informações descritas anteriormente, o modelo de interferência é apresentado na Equação (2), a seguinte notação é utilizada: (a) $I_{i,j}^{z,m}$ é a interferência que o dispositivo i usando o canal z sofre de um dispositivo j usando o canal m , quando ambos os dispositivos transmitem simultaneamente; (b) P_j^m é a potência nominal (dBm) pela qual um dispositivo j emite seu sinal sem fio, através do canal m ; (c) $w^{z,m}$ é a quantidade da interferência que o canal m causa no canal z (razão entre a sobreposição dos canais z e m), onde os valores de w foram calculados de acordo com as regras apresentadas na Subseção 3.1.1; e, (d) $PL(d)$ é a atenuação do sinal de um dispositivo que opera na frequência de 2.4 GHz, para uma distância d (como apresentado na Subseção 3.1.2).

$$I_{i,j}^{z,m} = \frac{w^{z,m} \times P_j^m}{PL(d)} \quad (2)$$

O modelo proposto calcula a interferência entre dois dispositivos imersos no mesmo ambiente e que estão no raio de alcance de transmissão. Sendo assim, este modelo é aplicado pelo algoritmo *MICA* como base para minimizar a interferência do ambiente inteligente.

3.2. Algoritmo *MICA*

O algoritmo *MICA* (Minimização da Interferência através do uso de Canais Adequados) é capaz de escolher o conjunto de canais que minimizam a quantidade de interferência sofrida pelos dispositivos sem fio em uma WLAN de um ambiente inteligente. *MICA* é um algoritmo guloso determinístico, que começa sua execução a partir de uma configuração aleatória e escolhe iterativamente os canais (baseado no modelo explicado na Subseção 3.1.3), que minimizam a quantidade total de interferência. Uma visão geral do algoritmo é descrita no Algoritmo 1 e a notação utilizada é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Notação utilizada no algoritmo MICA

Símbolos	Descrição
\mathcal{A}	Conjunto de AP e suas configurações
\mathcal{D}	Conjunto de dispositivos e suas configurações
\mathcal{B}	Armazena uma cópia da melhor configuração para os dispositivos
\mathcal{C}_j	O conjunto de canais que o AP j pode usar
I_{best}	Melhor medida global de interferência
I_{curr}	Medida atual de interferência
I_{local}^{best}	Melhor interferência local

Os dispositivos são capazes de se conectar a qualquer AP (do mesmo tipo) que esteja a uma distância menor ou igual ao raio máximo de comunicação da tecnologia utilizada, contanto que o AP esteja no mesmo ambiente. De forma que, os dispositivos só se conectam aos APs presentes no mesmo ambiente, mas geram interferência nos dispositivos em ambientes adjacentes. Esse fato é uma característica de ambientes reais, onde os dispositivos só conseguem se conectar aos APs nos quais possuem acesso.

Entre as linhas 2 e 5 do algoritmo, é inicializada a configuração de antenas dos APs escolhendo aleatoriamente um canal para cada uma delas. Posteriormente, da linha 6 a 9, os dispositivos são atribuídos a uma antena de um AP, levando em consideração o congestionamento de cada AP. Em cada iteração, o AP que possui o menor número de dispositivos conectados é o escolhido. Isso garante que o número de dispositivos conectados a qualquer ponto de acesso seja uniforme, o que impede que uma área sofra mais interferência do que outra (uma abordagem de balanceamento de carga). O estágio de inicialização é concluído com \mathcal{B} , na linha 10, recebendo a configuração gerada e a quantidade de interferência sofrida pelos dispositivos sendo calculados e salvos em I_{best} e I_{curr} , na linha 11. A função *calcInter* usa o modelo apresentado na subseção 3.1.3 para calcular a interferência entre o conjunto de dispositivos ou entre os APs.

Na linha 13, o algoritmo atribui um conjunto de canais aleatórios aos APs. Enquanto que na linha 14, o valor da interferência sofrida pelos APs é atribuído a variável I_{local}^{best} . Da linha 15 a linha 31, temos dois laços aninhados, nos quais percorremos \mathcal{A} comparando cada AP. Na linha 17, o algoritmo verifica se os APs j e g são do mesmo tipo (ou seja, se usam a mesma tecnologia de comunicação) e se são diferentes. Na linha 18, o algoritmo faz uma cópia do canal utilizado pelo AP g para a variável *bestChannel*.

Da linha 19 a 28, o algoritmo percorre os canais que podem ser atribuídos ao AP g (\mathcal{C}_g). Na linha 20, atribuímos o canal z ao AP g ($z \in \mathcal{C}_g$). Na linha 21, calculamos e atribuímos o novo valor de interferência a variável I_{curr} . Na linha 22, verificamos se o valor de I_{curr} é menor que o valor de I_{local}^{best} . Na linha 23, I_{local}^{best} recebe o valor de I_{local} . Na linha 24, *bestChannel* recebe o valor de z . Se a condição for avaliada como falsa, na linha 26, atribuímos o canal inicial de g a *bestChannel*.

Na linha 32, a interferência entre todos os dispositivos é calculada e atribuída a I_{curr} . Na linha 33, o algoritmo compara se o valor de I_{curr} é menor que I_{best} , caso verdadeiro, \mathcal{B} é atualizado com a nova configuração para \mathcal{A} e \mathcal{D} , e I_{best} recebe o valor de I_{curr} . Finalmente, na linha 38, retornasse \mathcal{B} que neste ponto possui a melhor configuração encontrada para os APs e dispositivos.

A complexidade do algoritmo pode ser representada por $\mathcal{O}(|\mathcal{D}| \times |\mathcal{A}|^2)$, onde \mathcal{D} é

Algorithm 1: Algoritmo MICA

```
Input:  $\mathcal{A}, \mathcal{D}$ 
Output:  $\mathcal{B}$ 
1 begin
2   foreach  $j \in \mathcal{A}$  do
3      $z \leftarrow$  um canal aleatório de  $\mathcal{C}_j$ ;
4     atribui o canal  $z$  para o AP  $j$ ;
5   end
6   foreach  $i \in \mathcal{D}$  do
7      $j \leftarrow$  obtém o AP menos cogestionado;
8     conecta o dispositivo  $i$  ao AP  $j$ ;
9   end
10   $\mathcal{B} \leftarrow \mathcal{A} + \mathcal{D}$ ;
11   $I_{best} \leftarrow I_{curr} \leftarrow \text{calcInter}(\mathcal{D})$ ;
12  for  $count \leftarrow 1$  to  $(2 \times |\mathcal{D}|)$  do
13    Atribui canais aleatórios aos APs  $\in \mathcal{A}$ ;
14     $I_{local}^{best} \leftarrow \text{calcInter}(\mathcal{A})$ ;
15    foreach  $j \in \mathcal{A}$  do
16      foreach  $g \in \mathcal{A}$  do
17        if tipo do AP  $j =$  tipo do AP  $g$  and  $j \neq g$  then
18           $bestChannel \leftarrow$  canal utilizado pelo AP  $g$ ;
19          foreach  $z \in \mathcal{C}_g$  do
20            atribui o canal  $z$  ao AP  $g$ ;
21             $I_{curr} \leftarrow \text{calcInter}(\mathcal{A})$ ;
22            if  $I_{curr} < I_{local}^{best}$  then
23               $I_{local}^{best} \leftarrow I_{curr}$ ;
24               $bestChannel \leftarrow z$ ;
25            else
26              atribui o canal  $bestChannel$  ao AP  $g$ ;
27            end
28          end
29        end
30      end
31    end
32     $I_{curr} \leftarrow \text{calcInter}(\mathcal{D})$ ;
33    if  $I_{curr} < I_{best}$  then
34       $\mathcal{B} \leftarrow \mathcal{A} + \mathcal{D}$ ;
35       $I_{best} \leftarrow I_{curr}$ ;
36    end
37  end
38  return  $\mathcal{B}$ ;
39 end
```

o conjunto de dispositivos e \mathcal{A} é o conjunto de APs. É válido ressaltar que o número de canais (z) é constante, portanto foi desconsiderado da análise de complexidade do algoritmo.

Apesar de ter uma alta complexidade, o algoritmo torna-se viável devido ao número de comparações realizadas (a parte quadrática) ser pequeno, visto que a quantidade de APs em um SE é bastante inferior ao número de dispositivos (diversos dispositivos podem se conectar a um único AP) [Mocrii et al. 2018].

4. Experimentos Realizados

4.1. Cenário

O desempenho do algoritmo *MICA* foi comparados com duas abordagens existentes: (1) a atribuição do primeiro canal de cada tecnologia para cada antena de um ponto de acesso, isto é, dispositivos de um mesmo tipo utilizam o mesmo canal para se comunicar; e, (2) a utilização de um canal aleatório para cada antena de um ponto de acesso.

Experimentos foram realizados no simulador OMNeT++ (*Objective Modular Network Testbed in C++*)², utilizando o *framework* INET³ para simular uma rede sem fio de dispositivos heterogêneos. Em cada dispositivo, uma aplicação UDP foi executado para enviar pacotes, a uma taxa de transmissão pré-definida (pacote de 500 bytes transmitidos a cada 1ms), para o AP em que se conecta. Esse tipo de tráfego foi escolhido por ser comumente utilizado por dispositivos inteligentes em SE [Mocrii et al. 2018]. Dessa forma, temos uma rede saturada de transmissões, onde a diferença registrada na quantidade de pacotes entregues e perdidos é reflexo direto da quantidade de interferência no ambiente e dos canais utilizados, e não de algum mecanismo de CSMA/CA utilizado.

Ao todo, foram definidos oito cenários diferentes. Os cenários possuem 28, 40, 48 e 60 dispositivos, com 8 e 16 APs. O tamanho do cenário é uma área quadrada de 100×100 metros para simular um ambiente inteligente com diferentes espaços. A posição dos dispositivos e APs foram distribuídos aleatoriamente em cada simulação realizada (nenhum tipo de mobilidade foi configurada). As simulações foram realizadas 50 vezes para cada cenário e os resultados são apresentados com um intervalo de confiança de 95%.

Cada dispositivo possui apenas uma tecnologia sem fio, e suas quantidades foram distribuídas da seguinte forma: 40% deles usam *Wi-Fi*, 50% dos dispositivos usam *Zigbee* e 10% dos dispositivos usam *Bluetooth*. Esta proporção foi utilizada devido as características habituais das SE [Mocrii et al. 2018].

4.2. Resultados

Esta subseção irá mostrar os resultados obtidos a partir da análise dos experimentos realizados. Foram avaliadas as seguintes métricas de desempenho: (I) Interferência total sofrida pelos dispositivos (Figura 2(a) e 2(b)); e, o número médio Pacotes entregues com sucesso (Figura 3(a) e 3(b)).

As Figuras 2(a) e 2(b) mostram a interferência observada ao utilizar os canais propostos pelas diferentes técnicas de atribuição de canais. Como pode ser visto, o algoritmo *MICA* obteve os melhores resultados, pois o algoritmo escolhe a configuração que minimiza a quantidade total de interferência no ambiente. O uso de canais aleatórios provou ser bom para cenários com poucos dispositivos, mas com o aumento do número de dispositivos, a interferência aumentou consideravelmente. A utilização dos mesmos canais por todos os dispositivos mostrou-se impraticável.

²<https://omnetpp.org/>

³<https://inet.omnetpp.org/>

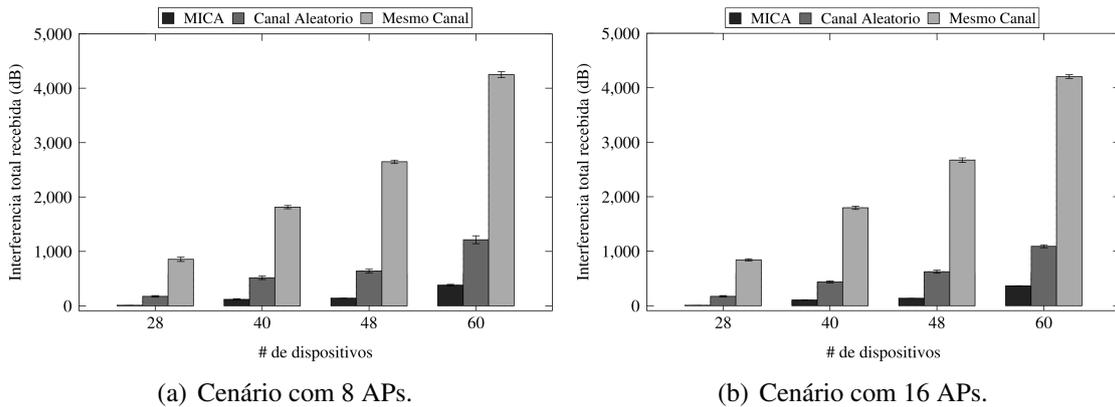


Figura 2. Quantidade total de Interferência

O uso do algoritmo *MICA* trouxe uma melhoria em média de 268% em relação ao uso de canais aleatórios e 1154% para o uso dos mesmos canais, no cenário com 8 APs. Para o cenário composto por 16 APs, o algoritmo foi, em média, 295% melhor em relação ao uso de canais aleatórios e 1329% melhor que o uso dos mesmos canais.

As Figuras 3(a) e 3(b) apresentam o número de pacotes entregues com sucesso no cenário com 8 APs e 16 APs, respectivamente. Os resultados mostraram que as simulações que usaram o algoritmo *MICA*, foram capazes de entregar uma quantidade maior de pacotes, pois, devido a menor interferência, o número de pacotes que sofrem colisões e são perdidos é menor. Por outro lado, a utilização de canais aleatórios e do mesmo canal obtiveram os piores resultados.

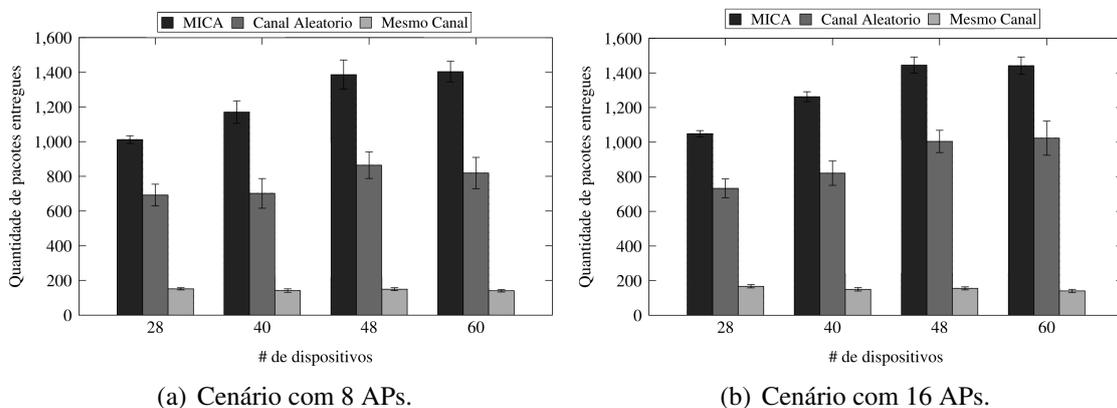


Figura 3. Quantidade total de Interferência

Para os dois cenários, o algoritmo *MICA* entregou com sucesso mais pacotes do que todas as outras abordagens. Em resumo, para o cenário com 8 APs, o algoritmo *MICA* entregou em média 38% e 88% mais pacotes do que a utilização de canais aleatórios e do mesmo canal, respectivamente. Da mesma forma, para o cenário com 16 APs o algoritmo proposto entregou em média 31% mais pacotes que a utilização de canais aleatórios e 88% mais pacotes em relação ao uso do mesmo canal.

Assim, os resultados mostraram que o algoritmo *MICA* minimizou com sucesso a interferência no ambiente, aumentando significativamente o número de pacotes entregues. O algoritmo *MICA*, pode portanto ser utilizado em cenários como os de SE, para

configurar os dispositivos de forma rápida, aumentando a confiabilidade da rede e diminuindo a sua latência. Fazendo dele um mecanismo viável para solucionar o problema de atribuição de canais no contexto de SE.

5. Conclusão

A grande quantidade de dispositivos heterogêneos que utilizam a banda de 2.4 GHz pode causar sérios problemas de interferência, especialmente nas redes WLAN, dos SE. Este trabalho propõe um modelo de interferência, que pode ser usado para medir a interferência entre dois dispositivos com tecnologias diferentes que utilizam a frequência de 2.4GHz, além de um algoritmo capaz de encontrar o conjunto de canais que minimizam a interferência sofrida pelos dispositivos heterogêneos no ambiente.

O algoritmo *MICA* foi capaz de minimizar a interferência em todos os cenários, garantindo a entrega de uma quantidade maior de pacotes, com uma porcentagem menor de pacotes perdidos, do que as outras abordagens. Uma melhoria de pelo menos 50% foi obtida quando comparada com outras técnicas de atribuição de canal. Assim, conclui-se que é possível utilizar o algoritmo *MICA* em cenário dinâmicos, como é o caso das SE.

Como trabalho futuro, pretende-se fazer com que o algoritmo reaja dinamicamente a entrada e saída de dispositivos na rede, de forma que o cálculo dos melhores canais seja feito sempre que uma alteração for detectada.

Referências

- Akl, R. and Arepally, A. (2007). Dynamic channel assignment in ieee 802.11 networks. In *Portable Information Devices, 2007. PORTABLE07. IEEE International Conference on*, pages 1–5. IEEE.
- Chwalisz, M. and Wolisz, A. (2018). Towards efficient coexistence of ieee 802.15. 4e tsch and ieee 802.11. In *NOMS 2018-2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, pages 1–7. IEEE.
- Coronado, E., Riggio, R., Villalón, J., and Garrido, A. (2018). Wi-balance: Channel-aware user association in software-defined wi-fi networks. In *NOMS 2018-2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, pages 1–9. IEEE.
- IEEE Standards Association (2003). Ieee recommended practice for information technology– local and metropolitan area networks– specific requirements– part 15.2: Coexistence of wireless personal area networks with other wireless devices operating in unlicensed frequency bands. *Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/1237540>*, pages 1–150.
- Mocrii, D., Chen, Y., and Musilek, P. (2018). Iot-based smart homes: A review of system architecture, software, communications and security. *Internet of Things*, pages 81–98.
- Natarajan, R., Zand, P., and Nabi, M. (2016). Analysis of coexistence between ieee 802.15. 4, ble and ieee 802.11 in the 2.4 ghz ism band. In *Industrial Electronics Society, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE*, pages 6025–6032. IEEE.
- Qu, F., Zhang, J., Shao, Z., and Qi, S. (2017). Research on resource allocation strategy of industrial wireless heterogeneous network based on ieee 802.11 and ieee 802.15. 4 protocol. In *Computer and Communications (ICCC), 2017 3rd IEEE International Conference on*, pages 589–594. IEEE.