

CoWPar: A D2D Communication Approach Without Pairing for Mobile Social Network in Proximity

CoWPar: Uma Abordagem de Comunicação D2D sem Pareamento para a Rede Social Móvel em Proximidade

Charles Tim Batista Garrocho^{1*}, Jessé Pires Barbato Rocha², José Eduardo de Souza²

Abstract: Mobile devices and the cellular network have been popularized and evolving in recent years. The increase of these devices may promote Device-to-Device (D2D) communications. However, current D2D communication technologies such as Wi-Fi Direct, Wi-Fi Ad Hoc, and Bluetooth are not available on devices or require human interaction in the pairing process. In addition, the cellular network is not available in many places and has partial or total communication infrastructure failures. To overcome this failure and lack of connectivity, and to allow D2D communication between devices in disturbing scenarios, we presented CoWPar. Based on the Wi-Fi infrastructure mode, CoWPar establishes the connection and performs data exchange without human interaction between the devices. Results of experiments performed in a proof of concept showed in practice that CoWPar allowed D2D communications with no pairing and also without the need to change the operating system (OS) of the devices, surpassing all the works available so far and thus contributing to the process of viabilization the paradigm of Pervasive Computing.

Keywords: Comunicação Dispositivo-para-Dispositivo — Wi-Fi Tethering — Rede Social Móvel — Computação Pervasiva

Resumo: Dispositivos móveis e a rede celular vêm se popularizando e evoluindo nos últimos anos. O aumento desses dispositivos pode, em teoria, promover comunicações D2D (Device-to-Device). No entanto, as atuais tecnologias de comunicação D2D como Wi-Fi Direct, Wi-Fi Ad Hoc e Bluetooth não estão disponíveis nos dispositivos ou requerem interação humana no processo de pareamento. Além disso, a rede celular não está disponível em muitos lugares e apresenta falhas parciais ou totais de infraestrutura de comunicação. A fim de superar essa falha e falta de conectividade, e permitir comunicação D2D entre dispositivos em cenários perturbadores, é apresentado CoWPar. Baseado no modo de infraestrutura Wi-Fi, CoWPar estabelece a conexão e realiza a troca de dados sem interação humana entre os dispositivos. Resultados de experimentos realizados em uma prova de conceito mostraram, na prática, que CoWPar permitiu comunicações D2D sem a necessidade de pareamento e também sem a necessidade de alteração do sistema operacional (SO) dos dispositivos, superando todos os trabalhos disponíveis até o momento e contribuindo assim para o processo de viabilização do paradigma de Computação Pervasiva.

Palavras-Chave: Device-to-Device Communication — Wi-Fi Tethering — Mobile Social Network — Pervasive Computing

¹Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Ponte Nova, MG – Brasil

²Instituto Federal do Paraná (IFPR) – Goioerê, PR – Brasil

*Corresponding author: ctgarrocho@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.22456/2175-2745.79152> • Received: 23/12/2017 • Accepted: 16/06/2018

CC BY-NC-ND 4.0 - This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

1. Introdução

As redes de comunicação sem fio se tornaram essenciais no cotidiano de toda sociedade [1]. As pessoas podem se conectar, acessar e disponibilizar conteúdos em praticamente qualquer lugar e a qualquer momento, por diferentes dispositivos e tecnologias de comunicação [2]. Dispositivos móveis, como

smartphones e *tablets* vem se popularizando e evoluindo consideravelmente nos últimos anos, tornando a cada dia que passa a interação do usuário com o dispositivo uma experiência menos virtual e mais realista [3].

Esse cenário vem se mostrando propício para a viabilização do paradigma de Computação Pervasiva [4], no qual os dispositivos executam suas aplicações e integram-se

de forma transparente à vida das pessoas, auxiliando-as em suas tarefas. O avanço desse paradigma, motivou o surgimento de um domínio denominado Redes Sociais Móveis [5] que estuda a integração do paradigma de Computação Pervasiva com os serviços sociais da WEB (por exemplo, Facebook e Twitter).

Essa integração possibilita aos usuários, que compartilham interesses e frequentam lugares em comum, interagirem em qualquer lugar e a qualquer momento. Essa interação se tornou possível através da troca de dados entre os dispositivos, realizada pela rede celular. A rede celular evoluiu consideravelmente nos últimos anos, oferecendo maior cobertura através de novas torres de transmissão e maior capacidade de transmissão para os dispositivos [6].

Apesar dessas evoluções, a rede celular não está disponível em muitos lugares e nem mesmo presente em grande parte da população de países com índice de desenvolvimento alto [7]. A rede celular também apresenta falhas de infraestrutura de comunicação, parciais ou totais causadas por desastres naturais [8] ou censura do governo [9]. Além disso, as operadoras de rede celular hesitam em investir em tais áreas por não gerarem lucro, uma vez que há riscos e custos elevados [10].

De modo a superar essa falha e falta de conectividade, e permitir comunicações entre dispositivos em cenários perturbadores, estão sendo propostas diversas aplicações e sistemas de comunicação D2D para as redes 5G (*Fifth Generation of Mobile Telecommunications Technology*) [11]. As comunicações D2D utilizam tecnologias de rede sem fio como o Wi-Fi Ad Hoc, Wi-Fi Direct e Bluetooth para a troca de dados entre os dispositivos. Entretanto, embora essas tecnologias ofereçam tais capacidades em teoria, limitações de quantidade de acessos simultâneos oriundos de limitação de hardware e SO dos dispositivos, especificação do protocolo das tecnologias e *chipssets* dos dispositivos tornam essas tecnologias não aplicadas, na prática [12].

Os dispositivos móveis atuais (por exemplo, *smartphones*, *tablets* e micro-computadores) não suportam a tecnologia Wi-Fi Ad Hoc [13], a não ser com *firmwares* customizados que exigem acesso *root* ao SO do dispositivo, assim como é realizado nos trabalhos [14] e [15]. A tecnologia Bluetooth é limitada em alcance de comunicação e largura de banda, bem como descoberta sem interação humana. Além disso, com a tecnologia Bluetooth o tempo de pareamento é inviável para comunicações nômades [16, 17]. Comunicação através da tecnologia Wi-Fi Direct é outra opção, mas requer pareamento, podendo demorar até dois minutos para formação de grupo e ainda requer interação do usuário com o dispositivo [18].

Essas limitações impedem, na prática, as comunicações D2D e a troca de informações sem interação humana [4]. Devido à mobilidade de uma rede nômade e a grande concentração de dispositivos em proximidade, os dispositivos devem trocar informações através da comunicação D2D de forma rápida e segura, e para a rede social móvel em proximidade isso deve ocorrer de forma pervasiva, isto é, transparente para usuário

de forma que ele não precise participar deste processo, pois, consideráveis encontros podem ocorrer entre os dispositivos, tornando inviável o usuário ter que aceitar todas as solicitações de pareamento.

Para superar essas limitações e permitir comunicação D2D pervasiva em proximidade entre os dispositivos móveis, é proposta uma nova abordagem de comunicação denominada CoWPar (*Communication Without Pairing*). CoWPar possibilita que os dispositivos troquem conteúdos sem a necessidade de alteração no SO e também sem a necessidade de pareamento entre os dispositivos, diferentemente como ocorre com as abordagens e tecnologias atuais. Além disso, CoWPar possibilita comunicação em situações na qual não há nenhum tipo de comunicação, como a Internet, rede celular ou a rede Wi-Fi de um roteador instalado nas imediações. CoWPar também possibilita o aumento da disponibilidade de comunicação em locais no qual não há comunicação, como locais no qual a rede celular não está disponível por falta ou falha na infraestrutura de comunicação causada por desastres naturais ou censura do governo.

CoWPar é baseada na tecnologia Wi-Fi Tethering [19] de dispositivos móveis, e permite comunicação D2D sem pareamento. CoWPar define que cada dispositivo móvel se alterne entre dois estados de execução, um de ponto de acesso e o outro de cliente. Quando o dispositivo está no estado de ponto de acesso, o dispositivo automaticamente se transforma na ponte de comunicação para os demais dispositivos móveis em proximidade que estão no estado cliente. Como prova de conceito foi desenvolvido e avaliado a aplicação móvel denominada TextWIn (*Texting Without Internet*) que permite aos usuários trocarem mensagens em proximidade através de CoWPar.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 é apresentada uma visão geral da tecnologia de rede sem fio Wi-Fi Tethering. Na Seção 3 são apresentados os trabalhos relacionados. Na Seção 4 é apresentada CoWPar, sendo que na Subseção 4.1 é apresentada a arquitetura e na Subseção 4.2 é apresentado o funcionamento. Na Seção 5 é apresentada a prova de conceito nomeada de TextWIn. Na Seção 6 é apresentado o método de avaliação de CoWPar através da aplicação. Na Seção 7 são apresentados os resultados dos experimentos e uma discussão desses resultados. Finalmente, na Seção 8 são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Wi-Fi Tethering

A tecnologia Wi-Fi Tethering [19], antes nomeada de Wi-Fi HotSpot, foi um modo criado para permitir o compartilhamento de acesso à Internet 3G (*Third Generation of Mobile Telecommunications Technology*) e LTE (*Long Term Evolution*) de um *smartphone* a uma gama de dispositivos clientes. Esta tecnologia é suportada por todos os principais fabricantes de dispositivos e está disponível em todas as principais plataformas de sistemas operacionais, tais como iOS 4.3+, Android 2.2+ e Windows 7.5+.

Segundo Constantinescu et al. (2014) [20], além de compartilhar a Internet entre vários dispositivos simultaneamente, conforme é ilustrado na Figura 1, a tecnologia Wi-Fi Tethering pode ser usada para comunicações móveis de cliente para cliente e comunicações ponto de acesso para cliente, permitindo assim comunicações D2D.

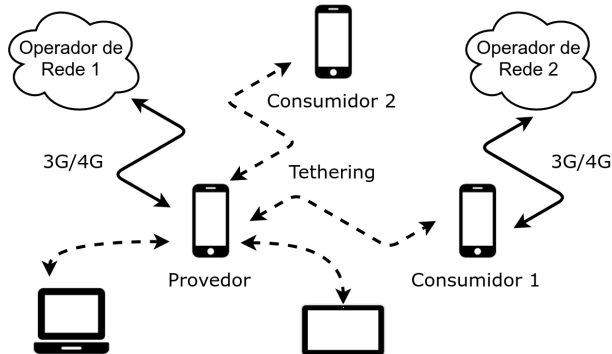
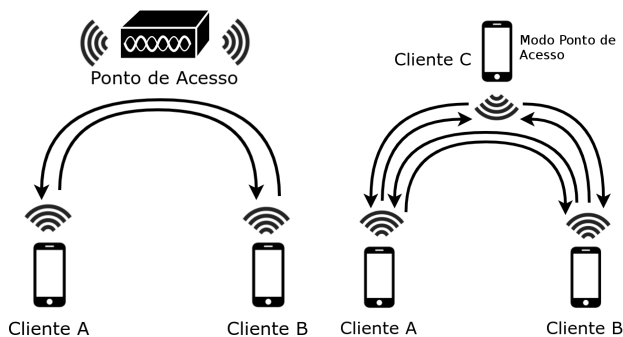


Figure 1. Exemplo de funcionamento do Wi-Fi Tethering.

Entre todas as tecnologias móveis existentes, Wi-Fi Tethering é a única opção disponível para compartilhar conexões de dados com outros dispositivos. Algumas outras técnicas de *tethering* existentes, como *gateways* de modem, *proxies* da camada de aplicação ou redirecionamento de portas, fornecem apenas conectividade limitada e não permitem a utilização simultânea de serviços de voz e dados [21].

A tecnologia Wi-Fi Tethering utiliza o modo infraestrutura do Wi-Fi para a criação da rede, transformando o dispositivo ponto de acesso em uma ponte de comunicação. A Figura 2 ilustra como seu funcionamento diferencia do modo clássico de funcionamento do Wi-Fi. Conforme é ilustrado na Figura 2b, no Wi-Fi Tethering, um dispositivo móvel se torna um ponto de acesso, e toda comunicação entre os demais dispositivos conectados é passado através deste dispositivo, inclusive este pode se comunicar com os dispositivos conectados ao mesmo. Já no modo clássico de funcionamento do Wi-Fi modo infraestrutura, ilustrado na Figura 2a, o dispositivo que é um ponto de acesso é um roteador ou qualquer outro dispositivo portátil fixo que possui apenas a funcionalidade de uma ponte de comunicação dos dispositivos conectados ao mesmo.



(a) Modo clássico.

(b) Modo *tethering*.

Figure 2. Modos de funcionamento do Wi-Fi.

2.1 Desafios do Wi-Fi Tethering

A tecnologia Wi-Fi Tethering (através do Wi-Fi modo infraestrutura) apresenta como principal característica a comunicação de vários dispositivos em uma rede WLAN (*Wireless Local Area Network*), e a possibilidade de formação de rede sem exigir interação com o usuário, isto é, sem pareamento obrigatório entre os dispositivos. A Figura 3 ilustra os modos de operação dessa tecnologia e seus desafios.

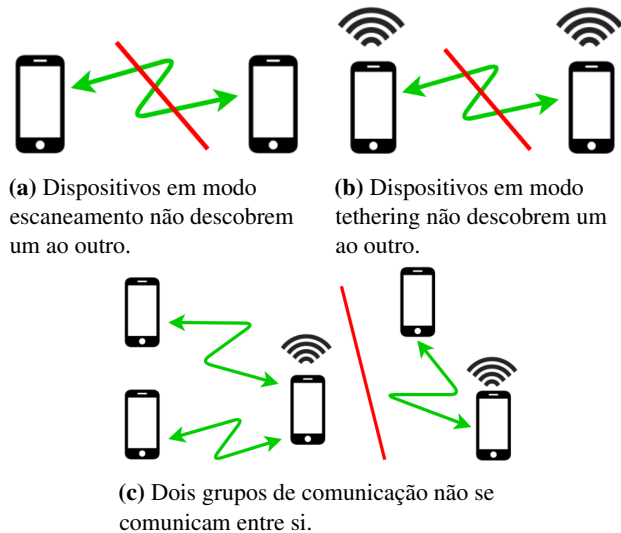


Figure 3. Desafios da tecnologia Wi-Fi Tethering.

Apesar de todos esses benefícios apresentados, a tecnologia Wi-Fi Tethering apresenta alguns problemas que, segundo Constantinescu et al. (2014) [20], se tornam desafios a serem superados. Cada problema apresentado pela tecnologia Wi-Fi Tethering é descrito e apresentado nos itens a seguir:

- Dispositivos no modo escaneamento podem procurar pontos de acessos, mas desconhecem outro dispositivo que também estiver no modo escaneamento (Figura 3a). Um conjunto de dispositivos podem estar, assim, no alcance um do outro, mas (ainda) não conectados;
- Dispositivos pontos de acessos não são capazes de procurar por redes e são, portanto, incapazes de detectar um ao outro (Figura 3b). Dispositivos pontos de acessos são apenas conscientes dos seus clientes, ou seja, dispositivos que estão associados a eles. Assim, eles podem perder oportunidades para se juntar a outras redes existentes na proximidade levando a redes em um particionado (grupos disjuntos. Figura 3c);
- Finalmente, os clientes associados a diferente pontos de acesso não conseguem se comunicar um com o outro. Esta é a segunda causa de grupos disjuntos que não são capazes de se comunicar uns com os outros (Figura 3c).

Para superar esses desafios são propostas algumas técnicas que se baseiam na utilização do nível de bateria do dispositivo ou na criação de tempos randômicos. Essas técnicas são apresentadas na Subseção 4.4.

3. Trabalhos Relacionados

Existem na literatura, diversas soluções cuja meta é auxiliar no processo de desenvolvimento de aplicações voltadas para o ambiente social móvel. Essas soluções fazem uso de diferentes arquiteturas, tecnologias de rede, entre outras características. Segundo Wang et al. (2015) [26], para uma abordagem ser considerada de rede social móvel em proximidade, ela deve promover uma comunicação D2D que possibilite trocas de informações e conteúdos em possíveis encontros entre os dispositivos no cotidiano das pessoas. Sendo assim, diante dessa diversidade de soluções, para esta pesquisa, utilizou-se do modelo de trabalho de revisão sistemática, buscando sintetizar e discutir de maneira global os resultados recentes da literatura em torno do desenvolvimento de aplicações voltadas para o ambiente social móvel.

Seguindo o protocolo de Kitchenhan [27], realizaram-se buscas entre setembro e dezembro de 2017 nas bases de dados de Computação: ACM Digital Library, Google Scholar, IEEE Xplore Digital Library, ScienceDirect (Elsevier), e SciELO. Foram utilizadas palavras-chave que permitissem as seguintes combinações: comunicação dispositivo-para-dispositivo, rede celular, computação pervasiva, pareamento entre os dispositivos, e rede social móvel em proximidade. O cruzamento dos termos foi realizado pelo operador “AND”. Quanto ao critério de seleção dos artigos encontrados, utilizaram-se somente aqueles que: 1 – forneciam texto completo; 2 – trabalhos escritos em língua inglesa; 3 – artigos publicados com menos de sete anos. Como resultado desta revisão foram selecionados 6 artigos que estão listados na Tabela 1 juntamente com CoWPar, evidenciando quais características cada uma possui.

A Tabela 1 é dividida em 6 colunas, na qual é separada em cada coluna: o nome da *Abordagem*; a *Arquitetura* que a solução trabalha com suas informações, sendo centralizada com o suporte de um servidor, descentralizada sem servidor, e híbrida alternando com e sem o servidor; a *Tecnologia de Rede Sem Fio* utilizada; se há ou não *Interação Humana* entre o usuário e o dispositivo; se há ou não *Confiança e Privacidade* no estabelecimento de comunicação D2D; se há ou não *Acesso Root* ao dispositivo para utilizar a tecnologia de rede sem fio.

As abordagens [14, 24, 25] que possuem a *Arquitetura* centralizada ou híbrida necessitam de conexão a Internet para atualizarem as suas bases de dados e permitirem o estabelecimento de comunicação D2D entre os dispositivos. Essa

utilização de um servidor (por exemplo, serviços como Facebook e Twitter) com dados entre os usuários podem garantir uma maior *Confiança e Privacidade* destacado na Tabela 1 entre os usuários. Entretanto, em cenários no qual não há acesso à rede de dados celular ou qualquer outro meio de comunicação convencional de acesso à Internet, essas abordagens acabam por não permitir o estabelecimento de conexão entre os dispositivos.

Com o objetivo de permitir comunicação D2D em cenários no qual não há acesso à Internet, outras abordagens [22, 23, 15] com uma *Arquitetura* descentralizada foram desenvolvidas. Essas abordagens utilizam *Tecnologias de Rede Sem Fio* como o Bluetooth para estabelecerem a comunicação D2D e realizarem a troca de conteúdos. Apesar de não necessitar de acesso à Internet, essas soluções solicitam pareamento ao usuário para estabelecer a comunicação. Em uma aglomeração de dez ou mais pessoas e dispositivos, aumentaria proporcionalmente o número de solicitações de pareamento, o que tornaria inviável a troca de informações entre os dispositivos, pois, o usuário não conseguiria aceitar tantas solicitações. A comunicação D2D através do Wi-Fi Ad Hoc não a necessidade de pareamento, entretanto, é necessário *Acesso Root* para habilitar a tecnologia no SO dos dispositivos.

Para superar essa necessidade de pareamento entre os dispositivos e, ao mesmo tempo, não necessitar de acesso *root* para alteração do SO dos dispositivos, foi desenvolvido uma nova abordagem denominada CoWPar que possui uma *Arquitetura* descentralizada e realiza um processo de alternância entre cliente e ponto de acesso através da *Tecnologia de Rede Sem Fio* Wi-Fi Tethering. Apesar de oferecer essas características, CoWPar tem como principal problema, que não está apresentado na Tabela 1, a centralização da rede de comunicação em apenas um dispositivo, pois, há a necessidade de transformar um dispositivo em ponto de acesso e os demais se conectarem a ele para formar a rede. Assim se o dispositivo ponto de acesso vir ficar inoperante, toda a rede fica inoperante, apesar de CoWPar contornar essa situação, conforme é destacado na Subseção 4.4. Já os demais trabalhos apresentam uma descentralização na rede de comunicação, no qual os dispositivos se comunicam diretamente, realizando uma alternância automática na ponte de comunicação quando a mesma fica inoperante.

Abordagem	Arquitetura	Tecnologia de Rede Sem Fio	Interação Humana	Confiança e Privacidade	Acesso Root
Haggle [22]	Descentralizada	Bluetooth e Wi-Fi Ad Hoc	Sim	Não	Sim
HYChat [14]	Centralizada	Bluetooth	Sim	Sim	Não
File Sharing App [23]	Descentralizada	Bluetooth e Wi-Fi Ad Hoc	Sim	Não	Sim
Nudge [24]	Centralizada	Wi-Fi Direct	Sim	Sim	Não
E-SmallTalker [25]	Híbrida	Bluetooth	Não	Sim	Não
Tourism-MSN [15]	Descentralizada	Wi-Fi Ad Hoc	Não	Não	Sim
CoWPar	Descentralizada	Wi-Fi Tethering	Não	Não	Não

Table 1. Tabela comparativa de características entre os trabalhos relacionados e CoWPar.

4. Abordagem Proposta: CoWPar – Communication Without Pairing

Um dos problemas apresentados pelos trabalhos relacionados é a descoberta com interação humana, uma vez que Bluetooth ou Wi-Fi Direct necessitam de pareamento para formarem a rede e trocarem conteúdos, e alteração no SO do dispositivo para habilitar o Wi-Fi Ad Hoc. Para superar esses problemas, é proposto o CoWPar, uma abordagem na qual a comunicação entre os dispositivos, é realizada através de um processo personalizado que utiliza o Wi-Fi modo infraestrutura.

CoWPar cria a capacidade de comunicação entre os dispositivos de forma transparente, sem que haja pareamento, permitindo comunicação em locais no qual não há a rede de comunicação convencional ou redes de comunicação P2P (*Peer-to-peer*) tradicionais. Os desenvolvedores de aplicações D2D podem utilizar CoWPar para aplicações voltadas a eventos ou locais onde se deseja obter informações locais como uma rodoviária ou praça pública. A abordagem também pode ser aplicada em emergências, onde os militares ou equipes de apoio podem utilizar CoWPar para ajudar no resgate.

4.1 Arquitetura

A arquitetura de CoWPar foi projetada tendo como objetivo dar suporte a comunicação D2D transparente entre dispositivos como *smartphones* e *tablets*. Para atingir essa meta, a arquitetura foi dividida em módulos, conforme é ilustrado na Figura 4, no qual cada módulo é responsável por gerenciar uma parte de seus recursos. Os módulos que compõem CoWPar são: *Interface Gráfica*, *Gerenciador de Mensagens*, *Gerenciador de Segurança* e *Gerenciador de Rede*.

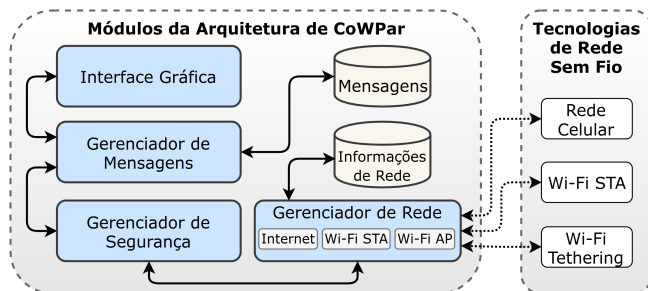


Figure 4. Arquitetura de CoWPar.

4.2 Funcionamento do Módulo Gerenciador de Rede

Para realizar a manutenção da rede de comunicação D2D, o módulo *Gerenciador de Rede* foi projetado para ser executado como uma máquina de estados. Na Figura 5 é ilustrado um diagrama de estados que representa a execução do módulo *Gerenciador de Rede*. Os seguintes estados estão em execução durante a execução do módulo *Gerenciador de Rede*:

- 1 Verifica se há acesso à Internet e também se o servidor da aplicação está respondendo. Caso tudo esteja funcionando, é estabelecido uma conexão ao servidor.

Funcionamento padrão de cliente-servidor, no qual o dispositivo requisita e envia dados.

- 2 É realizado um monitoramento constante no acesso à Internet e à conexão ao servidor da aplicação. Um *timeout* é definido como tempo limite para este monitoramento.
- 3 O acesso à Internet não está disponível ou o servidor da aplicação não está respondendo. Uma informação de estado do dispositivo móvel (por exemplo, o nível de bateria) é carregada, e através desta informação é calculado um tempo de pesquisa (se nenhuma informação for carregada, o tempo deve ser aleatório) para o escaneamento de redes Wi-Fi. O módulo passa para o estado de cliente Wi-Fi STA (*Wireless LAN Station*).
- 4 É habilitado o escaneamento de redes Wi-Fi no ambiente e para cada rede encontrada é feita uma tentativa de se conectar à rede de acordo com as informações configuradas no dispositivo. Enquanto não é encontrado uma rede Wi-Fi, o tempo é decrementado. Caso contrário, e uma rede Wi-Fi seja encontrada e estabelecido uma comunicação, o tempo é reiniciado.
- 5 O tempo chegou a zero, e nenhuma rede Wi-Fi foi encontrada, ou não foi possível estabelecer uma comunicação, ou a rede ficou inoperante. O modo infraestrutura AP (*Access Point*) do Wi-Fi é habilitado. O módulo *Gerenciador de Rede* cria uma lista de endereços IP e níveis de bateria dos dispositivos conectados, e realiza o gerenciamento da mesma.
- 6 Enquanto em execução no modo AP, é verificado se existem outros dispositivos conectados ao AP. Caso não existam, o tempo é decrementado, caso contrário, e existam dispositivos conectados, a lista de endereços IP e bateria é atualizada e o tempo é reiniciado.
- 7 O tempo chegou a zero e não há dispositivos conectados ao dispositivo AP. O modo infraestrutura da tecnologia Wi-Fi é desativado e o tempo de pesquisa de redes é reiniciado. O módulo carrega novamente informações de estado do dispositivo e retorna ao estado 4.

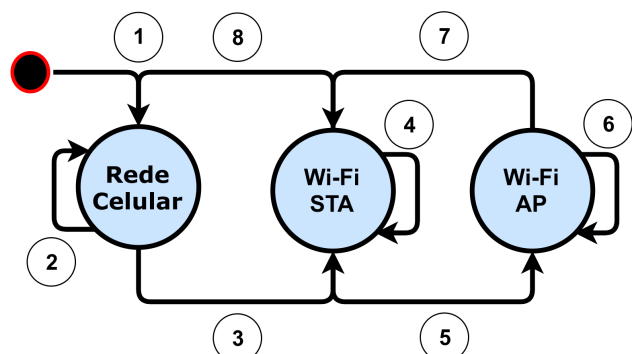


Figure 5. Estados do módulo *Gerenciador de Rede*.

- 8) A rede celular está disponível, a conexão à Internet voltou a funcionar, ou o servidor voltou a responder. O módulo *Gerenciador de Rede* volta ao seu estado 1.

4.3 Relacionamento Entre os Módulos

O principal módulo da arquitetura de CoWPar é o *Gerenciador de Rede* que é responsável por gerenciar os métodos de comunicação D2D presentes na abordagem (ilustradas na Figura 5). Através deste gerenciamento, este módulo define o estilo de funcionamento de rede, e também trata de receber e encaminhar as mensagens entre os dispositivos. O gerenciamento de rede, detalhado na Subseção 4.5, é realizado de forma centralizado no ponto de acesso e os dispositivos clientes são identificados através do endereço IP (*Internet Protocol*), empregando uma abordagem de localidade *Leopard*, conforme definido por MIERS et al. (2010) [28].

As mensagens antes de serem enviadas pelo módulo *Gerenciador de Rede*, são processadas pelo módulo *Gerenciador de Segurança*, no qual as mensagens são cifradas utilizando criptografia simétrica através do algoritmo AES (*Advanced Encryption Standard*). Da mesma forma, ao receber as mensagens em um dispositivo destino, estas mensagens são decifradas, garantindo assim que o dispositivo está enviando e recebendo apenas mensagens entre dispositivos confiáveis que empregam a abordagem de CoWPar.

A mensagem decifrada é enviada ao módulo *Gerenciador de Mensagens*, que é responsável por organizar as mensagens recebidas em uma base de dados do dispositivo. Este módulo

é importante para que as mensagens não fiquem cifradas na *Interface Gráfica*, causando confusão e dificultando a interpretação para o usuário. Se CoWPar não estiver em primeiro plano, uma notificação é criada.

Por fim, o módulo *Interface Gráfica* é responsável pela interação do usuário com os demais módulos da arquitetura de CoWPar. Este módulo recebe as ações dos usuários e envia para o módulo *Gerenciador de Mensagens* realizar as demais ações. Também é no módulo *Interface Gráfica* que as mensagens ficam expostas para visualização para o usuário.

A Figura 6 ilustra através de um diagrama de atividade o funcionamento de CoWPar entre os módulos de sua arquitetura e as tecnologias de rede sem fio do dispositivo. Os módulos de CoWPar trabalham como serviços do SO no qual permanecem em execução mesmo que a aplicação no dispositivo seja finalizada ou suspensa. Assim, as mensagens são trocadas entre os dispositivos mesmo que a aplicação não esteja em primeiro plano no dispositivo do usuário, garantindo uma transparência no funcionamento de CoWPar não necessitando do usuário permanecer com a aplicação em primeiro plano ou com a tela do smartphone ativa, sendo estes um dos requisitos da Computação Pervasiva.

4.4 Contorno às limitações do modo infraestrutura

Na Subseção 2.1 foi descrito que quando dois dispositivos se tornam um ponto de acesso ao mesmo tempo, eles não reconhecem um ao outro. Para superar esse desafio, é proposto que na execução do terceiro estado do módulo *Gerenciador de Rede*, é definida a utilização do nível de bateria do dispositi-

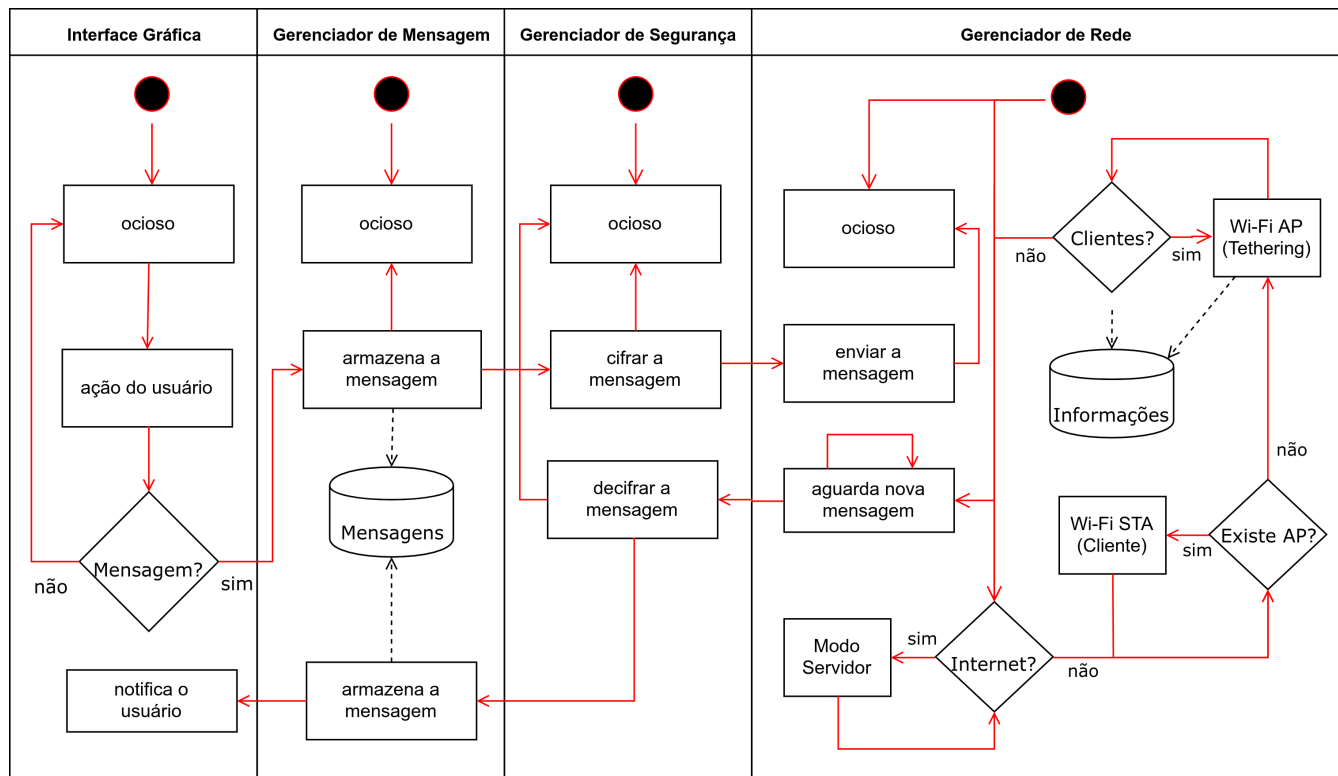


Figure 6. Diagrama de atividades de CoWPar e seu relacionamento com as tecnologias de rede sem fio do dispositivo.

tivo para ser calculado um *timeout* a ser utilizado para evitar que os dispositivos se tornem ao mesmo tempo, pontos de acesso. Caso nenhuma informação seja carregada, por padrão, o dispositivo deve gerar um valor em decimal aleatório.

Na Seção 3 foi descrito que quando a rede de comunicação está estabelecida, o dispositivo que é o ponto de acesso por vir a ficar inoperante por alguns motivos, e se isso acontecer, toda a rede de comunicação fica inoperante. Para contornar essa situação, é proposto que, quando a rede está estabelecida, todos os dispositivos clientes devem enviar ao dispositivo ponto de acesso, suas informações de estados (por exemplo, o nível de bateria).

Baseado nessa informação, o dispositivo ponto de acesso cria uma tabela de informações referentes ao estado de todos os dispositivos e envia a estes dispositivos essas informações. Assim, se a rede vir a ficar inoperante, os dispositivos podem utilizar essa tabela de informações para definirem o novo tempo de escaneamento de redes. Por exemplo, se um dispositivo que fosse um cliente, e tivesse maior nível de bateria, poderia automaticamente se transformar em ponto de acesso e os demais dispositivos com menor nível de bateria se conectariam a ele.

4.5 Gerenciamento das Informações da Rede

Em uma infraestrutura de rede WLAN, o dispositivo que é o ponto de acesso tem todas as informações referentes a rede, pois, ele é quem provê a rede para os demais dispositivos e trata de gerenciar informações (por exemplo, endereço IP, endereço *gateway*, etc) referentes à rede. Apesar de um cliente estar conectado a um ponto de acesso, ele desconhece quais os outros dispositivos atuais conectados à rede de comunicação, a não ser o dispositivo ponto de acesso que sempre fica com o endereço inicial da rede.

Para que todos os clientes possam se comunicar pela rede, o módulo *Gerenciador de Rede* do dispositivo que é o ponto de acesso fornece ao módulo *Gerenciador de Rede* dos clientes uma lista de endereços IP dos dispositivos conectados à rede de comunicação. Essa lista é requisita pelo módulo *Gerenciador de Rede* do dispositivo cliente de tempo em tempo, com o objetivo de estar com a lista de endereços IP sempre atualizada, para evitar o caso de um dispositivo sair da rede e um endereço IP inválido ficar armazenado.

Para que os arquivos compartilhados nessa rede de comunicação sejam identificados por cada dispositivo, o nome do arquivo é identificado pela concatenação do endereço MAC (*Media Access Control*) do dispositivo mais o nome do arquivo. Dessa forma, além do arquivo ter uma identificação única, os dispositivos que receberem essa identificação do arquivo, saberão qual o dispositivo que disponibilizou o conteúdo na rede através do endereço MAC, e poderão encaminhar esse conteúdo a outros dispositivos que estão aguardando o conteúdo.

4.6 Segurança e Privacidade

CoWPar armazena o SSID (*Service Set Identifier*) e o PSK (*Pre-Shared Key*) para prover a rede de comunicação, não

sendo possível a modificação dessas informações. Dessa forma, os dispositivos clientes podem escanear as redes sem fio e se conectarem automaticamente às redes encontradas comparando com o SSID e PSK configurados por CoWPar. Se o dispositivo não encontrar uma rede, a tecnologia Wi-Fi modo infraestrutura é ativada definindo as informações de SSID e PSK da rede, armazenadas no dispositivo.

O objetivo de CoWPar é possibilitar comunicação transparente entre os dispositivos. Desta forma, ele não tem uma forte ênfase na segurança da comunicação entre dispositivos, como é feito no Bluetooth e Wi-Fi Direct com a segurança de pareamento. Assim, para manter a comunicação transparente, é definido que as informações são cifradas com o algoritmo AES (*Advanced Encryption Standard*). A escolha pelo algoritmo AES se deve as características de mobilidade da rede de comunicação nômade que é criada por CowPar.

Em CoWPar não é definido nenhuma privacidade dos usuários em sua rede de comunicação. Privacidade, apesar de trazer mais segurança ao usuário, também traz limitações em questões de troca de conteúdos em aplicações que não necessitam esse tipo de mecanismo. Portanto, as políticas de privacidade devem ser definidas na camada de aplicação.

5. Prova de Conceito: TextWin – Texting Without Internet

Uma prova de conceito de CoWPar foi desenvolvida para mostrar, na prática, sua viabilidade de funcionamento. A aplicação TextWin é um sistema de bate-papo para dispositivos em proximidade. Este sistema permite que os usuários troquem mensagens de texto entre os dispositivos utilizando basicamente três modos de funcionamento. Estes modos de funcionamento foram desenvolvidos com base na arquitetura de CoWPar.

Através da implementação e aplicação de experimentos da Seção 6 foi possível comprovar a viabilidade de utilização da abordagem CoWPar. Através da prova de conceito TextWin foi possível estabelecer comunicação D2D sem a necessidade de alteração do SO dos dispositivos. Além disso, a troca de conteúdos através da comunicação D2D foi realizada sem a necessidade de interação humana, isto é, não houve necessidade de pareamento entre os dispositivos através da intervenção do usuário.

5.1 Implementação

Nesta seção é apresentado apenas uma visão geral do seu funcionamento. Para realizar o download da aplicação ou acessar a descrição e o detalhamento das classes e métodos dos módulos da aplicação TextWin, basta acessar o repositório público do projeto no GitHub¹. A aplicação foi desenvolvida para a versão 4.4 do SO Android, mas também funciona em versões superiores. TextWin foi implementado com a linguagem de programação Java e a linguagem XML (*eXtensible Markup Language*) através da IDE (*Integrated Development*

¹<https://github.com/Garrocho/TextWin>

Environment) Android Studio. A linguagem Java foi utilizada na elaboração das Activities².

Durante o projeto e desenvolvimento da aplicação TextWIn, diversos problemas foram descobertos e solucionados. O primeiro deles foi a falta de documentação e de exemplos práticos relacionados a tecnologia Wi-Fi Tethering. Apesar da Wi-Fi Alliance disponibilizar a documentação, o SDK (*Software Development Kit*) do Android não apresenta nenhuma especificação sobre a tecnologia. Apesar dessa tecnologia não ser recente, foram encontrados poucos projetos disponíveis para download, o que dificulta a busca de exemplos práticos em sites de repositórios de código-fonte livre, por exemplo, os repositórios do GitHub e do Google Code.

5.2 Funcionamento

O funcionamento de TextWIn é dividido em três modos: No primeiro modo, ilustrado na Figura 7a, é considerado que os dispositivos possuem conexão à Internet e servidor. Assim, as mensagens são trocadas entre os dispositivos através do servidor; No segundo modo, ilustrado na Figura 7b, é considerado que os dispositivos não possuem conexão à Internet e servidor, mas permanecem com conexão através de um ponto de acesso fixo na proximidade. Dessa forma, as mensagens são trocadas entre os dispositivos através de um ponto de acesso em uma rede local; No terceiro modo, ilustrado na Figura 7c, é considerado que os dispositivos não possuem conexão à Internet, servidor, e ponto de acesso. Assim, um dos dispositivos se torna o ponto de acesso através do Wi-Fi Tethering, e as mensagens são trocadas entre os dispositivos através do dispositivo que se tornou o ponto de acesso.

6. Método de Avaliação

O principal objetivo de CoWPar é de permitir uma comunicação D2D transparente ao usuário final, isto é, não há necessidade de interação humana com o dispositivo para o estabelecimento de comunicação e troca de conteúdos. Este benefício só foi possível de avaliar através de experimentos reais realizados entre TextWIn e os trabalhos Tourism-MSN [15] e Hagggle [22]. Estes experimentos foram realizados através das seguintes métricas: tempo de formação topológica de rede, e tempo de atraso na transferência de arquivos.

Nos dois experimentos 1 e 2 foram utilizados dois *tablets* da marca Samsung, modelo Galaxy Tab E 9.6 Wi-Fi, e versão 4.4 do SO Android. No experimento 1 os testes foram executados trinta vezes em cada dispositivo simultaneamente, enquanto no experimento 2 os testes foram executados vinte vezes. A quantidade de execuções de testes dos experimentos 1 e 2 foram diferentes por que tiveram que ser realizados de forma idêntica ao cenário de experimentos realizados nos trabalhos de Tourism-MSN [15] e Hagggle [22].

Durante a execução dos dois experimentos, foi avaliado se o usuário através da aplicação TextWIn instalada em seu dispositivo teve que participar do processo de formação de

rede de comunicação D2D no experimento 1 e transferência de arquivos entre os dispositivos no experimento 2. Assim, o objetivo é avaliar através destes experimentos se as características de CoWPar contribuem ou não para o processo de viabilização do paradigma de Computação Pervasiva.

Estes experimentos foram realizados em laboratório, de maneira controlada, onde os dispositivos ficaram sobre uma mesa com uma média de três metros de distância. Os dados dos resultados dos dois experimentos 1 e 2 foram obtidos através da realização de cálculos na própria aplicação TextWIn, sendo considerado um intervalo de confiança de 95%. Foi utilizado o padrão IEEE 802.11g, quadros de controle RTS / CTS (*Request to Send / Clear to Send*) e potência Tx (*transmission*) padrão do dispositivo de 20 dBm.

6.1 Tempo de Formação da Rede de Comunicação D2D

Neste primeiro experimento, foi avaliado o tempo para estabelecimento da rede de comunicação D2D. Foi realizado um cálculo da média da soma do tempo em que cada dispositivo obteve para estabelecer uma rede de comunicação D2D e possuir conectividade com outro dispositivo.

Neste experimento, cada dispositivo obtém esse tempo através de um arquivo *log* da aplicação TextWIn, que registra quando o dispositivo começa o processo de escaneamento de redes, e quando o dispositivo estabelece uma comunicação D2D. Cada dispositivo envia seu tempo ao dispositivo ponto de acesso. Ao final o dispositivo ponto de acesso faz o cálculo da média da soma de todos os tempos de estabelecimento de comunicação (inclusive o tempo do ponto de acesso).

O principal objetivo desse experimento é avaliar como a alternância entre o modo cliente e ponto de acesso do dispositivo pode afetar no tempo de estabelecimento da rede de comunicação D2D. Este experimento também é importante para avaliar o impacto que a quantidade de dispositivos promove no tempo de formação da rede de comunicação D2D.

6.2 Tempo de Transferência de Arquivos

No segundo experimento foi medido o tempo para a transferência de um arquivo de 6.4MB entre dois dispositivos móveis através das aplicações Tourism-MSN, Hagggle e TextWIn. O tempo de transferência é o intervalo de tempo que se inicia quando o usuário envia uma solicitação para Tourism-MSN, Hagggle, ou TextWIn para obter o arquivo, e termina quando o usuário é notificado da transferência concluída.

O principal objetivo desse experimento é avaliar se o processo de alternância entre o modo cliente e ponto de acesso, criado por TextWIn, pode promover um atraso maior ou menor do que as aplicações Tourism-MSN e Hagggle.

7. Resultados Experimentais e Discussão

Durante a execução dos experimentos 1 e 2 que foram realizados através da aplicação TextWIn, os dispositivos móveis comunicaram-se automaticamente, sem a necessidade de um usuário para intervir nesse processo de comunicação,

²(<https://developer.android.com/reference/android/app/Activity.html>)

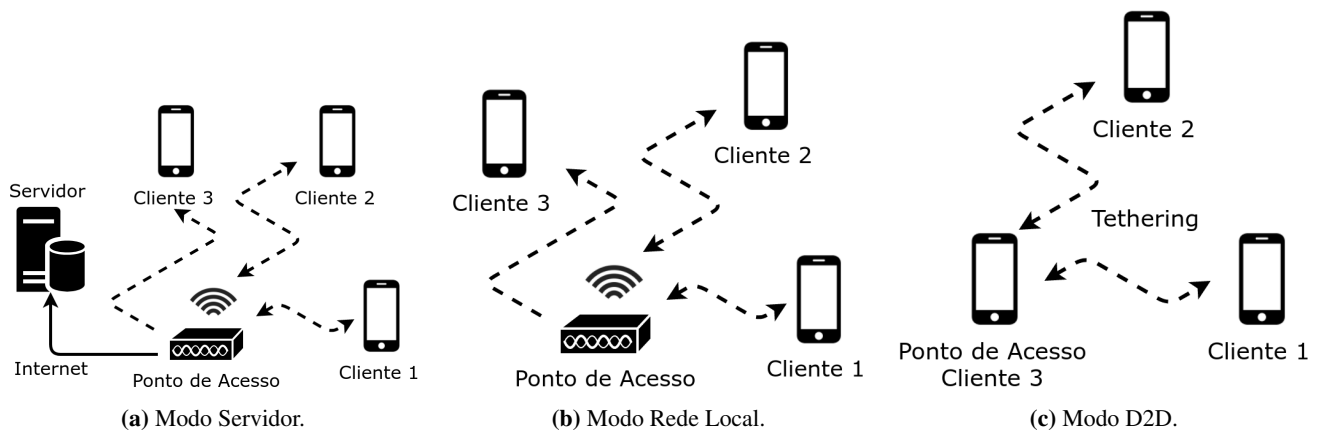


Figure 7. Modos de funcionamento da aplicação TextWin.

diferentemente dos experimentos realizados nos trabalhos de Tourism-MSN e Hagggle, no qual foi necessária interação humana para o pareamento entre os dispositivos tanto no momento de formação topológica da rede de comunicação D2D quanto no momento de transferência de arquivos entre os dispositivos. Portanto, a abordagem CoWPar através da execução destes experimentos conseguiu atingir seu objetivo de realizar a formação de rede D2D e troca de conteúdos entre os dispositivos sem a necessidade de interação humana ou alteração no SO do dispositivo.

Os resultados do primeiro experimento mostram, através da Figura 8, que a aplicação TextWin não conseguiu ser mais eficiente que as demais aplicações. O tempo de formação topológica ficou maior por que a probabilidade dos dispositivos ficarem ao mesmo tempo, escaneando ou se tornando ponto de acesso é maior que quando há uma quantidade menor de dispositivos.

Experimentos realizados com um número maior (de três

até nove) de dispositivos na aplicação TextWin mostraram que quando há poucos dispositivos, o tempo de formação topológica de rede é grande, e sua faixa de erro também. Porém, quando a quantidade de dispositivos aumenta, o tempo de formação topológica de rede diminui e a taxa de erro também. Isso acontece por que quando há poucos dispositivos, a probabilidade dos dispositivos ficarem ao mesmo tempo, escaneando ou se tornando ponto de acesso é maior que quando há uma quantidade maior de dispositivos.

Além disso, também é possível avaliar que, quando há dois dispositivos, existe um tempo para que cada dispositivo se transforme em um modo de operação do Wi-Fi. Esse tempo de transformação é que gera aquela taxa de erro maior, pois, com quantidades menores de dispositivos, eles acabam não se identificando. Com quantidades maiores de dispositivos, pelo menos um dos dispositivos se transforma em um modo diferente do outro, levando a formação da rede.

Portanto, com quantidades menores de dispositivos, maior

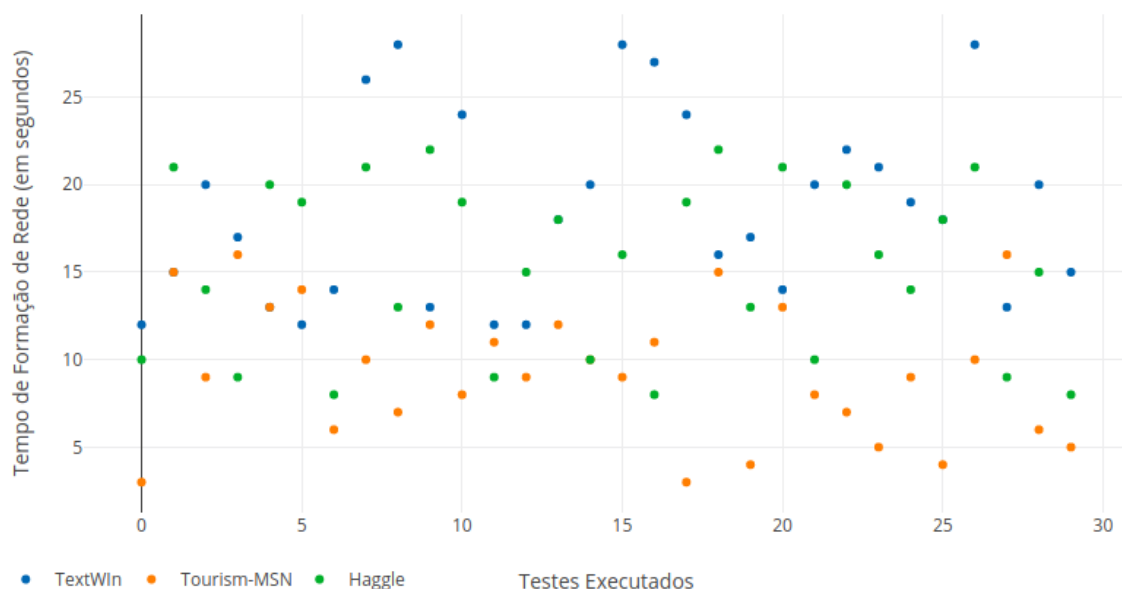


Figure 8. Tempo de formação topológica da rede de comunicação D2D.

é a taxa de erro, pois, maior é a probabilidade dos dispositivos não conseguirem se identificar por causa do tempo que levam para trocarem de modo de operação. Porém, esse tempo não influencia quando temos uma quantidade maior de dispositivos, pois, quando um dos dispositivos se transforma em cliente, outro dispositivo já está no modo ponto de acesso.

Os resultados do segundo experimento mostraram que a aplicação TextWin conseguiu ser mais eficiente que as aplicações Tourism-MSN e Hagggle. Na Figura 9, pode-se observar que TextWin teve um tempo de transferência de 4s do arquivo (6.4MB), enquanto Tourism-MSN e Hagggle, tiveram respectivamente 10s e 75s. Essa eficiência é devida às características internas da arquitetura de TextWin.

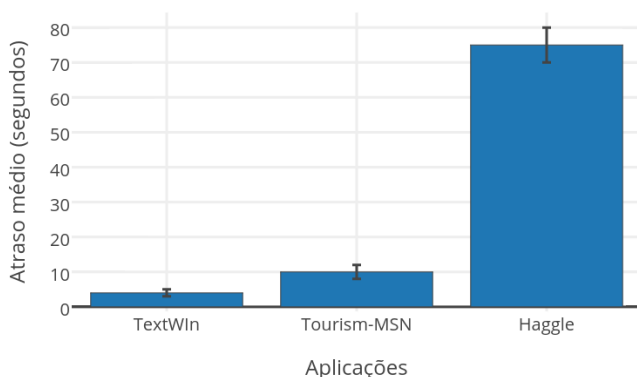


Figure 9. Tempo de transferência de arquivos.

Por possuir uma arquitetura simples, comparada com as arquiteturas de Tourism-MSN e Hagggle, uma quantidade menor de mensagens são trocadas entre os módulos da aplicação TextWin em relação às aplicações Tourism-MSN e Hagggle. A modularidade excessiva das arquiteturas de Tourism-MSN e Hagggle resultou numa sobrecarga de mensagens entre os módulos que afetaram o desempenho dos serviços ativos.

Os resultados do tempo de formação da rede D2D foi consideravelmente alto e CoWPar mostrou-se inviável para locais no qual os dispositivos se movimentam com intensidade por curtos espaços de tempo (por exemplo, em uma rua). Entretanto, por permitir uma comunicação sem interação humana, CoWPar mostrou-se viável em locais no qual os dispositivos se encontram e permanecem parados por alguns momentos (por exemplo, em um restaurante ou museu). Os resultados também demonstraram que esse tipo de sistema de comunicação D2D não é recomendado para comunicação de conteúdo em tempo real ou conteúdo com um tamanho consideravelmente grande devido à grande mobilidade da rede nômade que provocará desconexões frequentes.

Além dos resultados apresentados, outros resultados do estudo puderam ser levantados através da observação da execução dos experimentos, sendo os principais:

- CoWPar foi capaz de fornecer comunicação transparente em proximidade para os cenários apresentados, possibilitando a troca de informações entre os dispositivos sem a interferência do usuário (exigir pareamento),

mesmo com o serviço em segundo plano e com a tela desligada (no caso de *smartphones*);

- Com o dispositivo no modo ponto de acesso, torna-se necessário a desativação dos serviços de telefonia celular (3G e LTE) para evitar a utilização de dados do plano do usuário;
- Em um cenário de áreas urbanas, pontos de acessos abertos disponíveis podem permitir que os dispositivos se comuniquem apenas no modo cliente (STA) e aumentar a capacidade de comunicação já que as redes criadas por CoWPar são privadas;
- Ocorreram altas taxas de desconexões entre os dispositivos, que levou a uma modificação no sistema. Isso ocorreu quando os SSIDs das redes eram iguais. Foi necessário criar SSIDs aleatórios a cada nova conexão para evitar esse problema.

8. Conclusão e Trabalhos Futuros

Após a prospecção deste artigo foi possível perceber que a área de redes sociais móveis em proximidade ainda tem muito a ser explorada. As soluções catalogadas mostram que não existe uma abordagem que satisfaz todas as necessidades que o desenvolvimento deste tipo de rede exige. Além disso, dentro desse conjunto de abordagens, cada autor tenta resolver um ou mais problemas, usando as mais variadas técnicas e métodos.

Diante dessa heterogeneidade de soluções de sistemas, este artigo propôs, fundamentou e esquematizou CoWPar, uma nova abordagem de comunicação baseada em um processo de alternância entre ponto de acesso e cliente. Este processo permite que os dispositivos se comuniquem sem a necessidade de interação humana, contribuindo assim para a evolução da Computação Pervasiva.

Uma prova de conceito foi desenvolvida e testes realizados mostraram em experiências reais a eficiência de CoWPar na troca de conteúdos entre os dispositivos, sendo mais eficiente que trabalhos relacionados em alguns aspectos. Por possuir arquitetura de comunicação D2D transparente, CoWPar também pode ser empregada em aplicações *M2M* (*machine-to-machine*) e *V2V* (*vehicle-to-vehicle*).

CoWPar trouxe como principal contribuição a introdução da alternância entre o modo cliente e infraestrutura do Wi-Fi no módulo de comunicação de um sistema. A partir dos testes executados foi possível perceber que essa alternância pode ser utilizada na construção de aplicações para redes sociais móveis em proximidade e possui como principal qualidade a sua comunicação transparente e taxa de transmissão de dados.

Um dos desafios encontrados durante o desenvolvimento de CoWPar foi criar uma segurança na comunicação sem exigir o pareamento entre os dispositivos. A solução inicial foi utilizar *PSK*, entretanto, a médio e longo prazo essa solução se tornará inviável devido a quantidade de dispositivos e mobilidade da rede nômade. Assim, desenvolver

alternativas de segurança se torna necessário de forma a garantir a comunicação segura entre os dispositivos e manter a comunicação sem a necessidade de acesso à Internet.

Como trabalhos futuros, pretende-se estender os estudos, avaliando o uso de CoWPar em cenários simulados e com maiores quantidades de dispositivos, com o propósito de avaliar o seu comportamento na formação de rede e na troca de conteúdos entre os dispositivos móveis.

Contribuição dos Autores

Os autores contribuíram igualmente para esta pesquisa.

Referências

- [1] ARMINEN, I. New reasons for mobile communication: Intensification of time-space geography in the mobile era. In: *The Reconstruction of Space and Time*. New York, Usa: Routledge, 2017. v. 1, cap. 4, p. 89–107.
- [2] ZHANG, X. et al. Incentives for mobile crowd sensing: A survey. *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, v. 18, n. 1, p. 54–67, 2016.
- [3] PAVONE, M. Autonomous mobility-on-demand systems for future urban mobility. In: MAURER, M. et al. (Ed.). *Autonomous Driving*. Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2016. v. 1, p. 387–404.
- [4] EBLING, M. R. Pervasive computing and the internet of things. *IEEE Pervasive Comput.*, v. 15, n. 1, p. 2–4, 2016.
- [5] MAO, Z. et al. Mobile social networks: Design requirements, architecture, and state-of-the-art technology. *Comput. Commun.*, v. 100, n. 1, p. 1–19, 2017.
- [6] DAHLMAN, E.; PARKVALL, S.; SKOLD, J. *4G, LTE-advanced Pro and the Road to 5G*. 3. ed. Cambridge, Usa: Academic Press, 2016. v. 1.
- [7] OPENSIGNAL, I. *Global State of Mobile Networks (February 2017)*. [S.l.], 2017.
- [8] NETWORK, E. U. A. for; (ENISA), I. S. *Analysis of Article 13a annual incident reports in the telecom sector, Crete, Greece*. Crete, Greece: ENISA, 2017. v. 1.
- [9] GEBHART, G.; KOHNO, T. Internet censorship in thailand: User practices and potential threats. In: SABELFELD, A.; SMITH, M. (Ed.). *IEEE European Symposium on Security and Privacy*. Paris, France: IEEE, 2017. v. 1.
- [10] NEOKOSMIDIS, I. et al. Assessment of socio-techno-economic factors affecting the market adoption and evolution of 5g networks: Evidence from the 5g-ppp charisma project. *Telematics Inform.*, v. 34, n. 5, p. 572–589, 2017.
- [11] SINGH, S. et al. A survey on 5g network technologies from social perspective. *IETE Tech. Rev.*, v. 34, n. 1, p. 30–39, 2017.
- [12] WANG, Y. et al. Device-to-device based mobile social networking in proximity (msnp) on smartphones: Framework, challenges and prototype. *Future Gener. Comput. Syst.*, v. 74, n. 1, p. 241–253, 2017.
- [13] HO, Q.-D.; TWEED, D.; LE-NGOC, T. Ieee 802.11/wi-fi medium access control: An overview. In: *Long Term Evolution in Unlicensed Bands*. 1. ed. Berlin, Germany: Springer, 2017, (BRIEFSELECTRIC, '17). p. 31–41.
- [14] ZUO, J. et al. Hychat: A hybrid interactive chat system for mobile social networking in proximity. In: YAU, S. S.; DEEN, J.; WU, X. (Ed.). *Smart City/SocialCom/SustainCom (SmartCity), 2015 IEEE International Conference on*. Chengdu, China: IEEE, 2015. v. 1, p. 471–477.
- [15] ARNABOLDI, V.; CONTI, M.; DELMASTRO, F. Cameo: A novel context-aware middleware for opportunistic mobile social networks. *Pervasive Mob. Comput.*, v. 11, n. 1, p. 148–167, 2014.
- [16] (TG1), W. task group . *IEEE Std 802.15.1 - Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs)*. [S.l.], 2017.
- [17] ALAMI, M. E. et al. A framework for hotspot support using wi-fi direct based device-to-device links. In: MAURI, J. L. (Ed.). *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2017 13th International*. Valencia, Spain: IEEE, 2017. v. 1, p. 552–557.
- [18] ALLIANCE, W.-F. *Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification, Version 1.7*. [S.l.], 2016.
- [19] DOUFEXI, A. et al. Hotspot wireless lans to enhance the performance of 3g and beyond cellular networks. *IEEE Commun. Mag.*, v. 41, n. 7, p. 58–65, 2003.
- [20] CONSTANTINESCU, M. et al. Mobile tethering: overview, perspectives and challengess. *Info*, v. 16, n. 3, p. 40–53, 2014.
- [21] SCHULZ, S. et al. Tetherway: A framework for tethering camouflage. In: KRUNZ, M.; LAZOS, L. (Ed.). *Proceedings of the Fifth ACM Conference on Security and Privacy in Wireless and Mobile Networks*. New York, NY, USA: ACM, 2012. (WISEC, '12), p. 149–160.
- [22] NORDSTRÖM, E.; ROHNER, C.; GUNNINGBERG, P. Huggle: Opportunistic mobile content sharing using search. *Comput. Commun.*, v. 48, n. 1, p. 121–132, 2014.
- [23] DUBOIS, D. J. et al. Shair: Extensible middleware for mobile peer-to-peer resource sharing. In: MEYER, B. (Ed.). *Proceedings of the 2013 9th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering*. New York, USA: ACM, 2013. (ESEC/FSE 2013, v. 9).
- [24] BUJARI, A.; MIOTTO, N. Nudge nudge: A proximity based social application. In: *Wireless Days (WD), 2011 IFIP*. Niagara Falls, Canada: IEEE, 2011. v. 1.

- [25] CHAMPION, A. C. et al. E-smalltalker: A distributed mobile system for social networking in physical proximity. *IEEE Trans. Parallel Distributed Syst.*, v. 24, n. 8, p. 1535–1545, 2013.
- [26] WANG, Y. et al. Device-to-device based mobile social networking in proximity (msnp) on smartphones: Framework, challenges and prototype. *Future Gener. Comput. Syst.*, v. 74, n. 1, p. 241–253, 2015.
- [27] KITCHENHAM, B. *Proced. perform. syst. rev. Keele, UK, Keele University*, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.
- [28] MIERS, C. C. et al. A taxonomy for locality algorithms on peer-to-peer networks. *IEE Lat. Am. Trans*, v. 8, n. 4, p. 323–331, 2010.