

Uma Estratégia de Cache Proativo para Distribuição de Conteúdo em Redes Veiculares

Vitor Borges C. da Silva,
Miguel Elias M. Campista e Luís Henrique M. K. Costa *

¹GTA/PEE-COPPE/DEL-Poli – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Caixa Postal 68504 – 21.941-972 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{borges,miguel,luish}@gta.ufrj.br

Abstract. *This paper explores the use of content oriented networks in the vehicular scenario. In this scenario, the access points installed along the city roads form an integrated wireless access network. This network is used in addition to information regarding the destination of users inside vehicles to schedule and receive in advance the requested content over the access points along their paths to the destination. For this, two strategies to forward interests between access points, consistent with the content oriented paradigm, are developed. These strategies require the implementation of a protocol for neighbor discovery between access points. The results obtained through simulations in urban scenarios show that the joint utilization of network between access points and the proposed strategies increases the fraction of interests satisfied as well as the delivery ratio compared to the standard strategy.*

Resumo. *Este trabalho explora a utilização de redes orientadas a conteúdo no cenário veicular. Nesse cenário, os pontos de acesso instalados pelas vias da cidade formam uma rede integrada de acesso sem fio. Essa rede é utilizada em conjunto com a informação do destino dos usuários dos veículos a fim de agendar e receber antecipadamente os conteúdos solicitados ao longo dos pontos de acesso em suas trajetórias até o destino. Para isso, duas estratégias geográficas de encaminhamento de interesses entre os pontos de acesso, compatível com o paradigma orientado a conteúdo, são desenvolvidas. Essas estratégias requerem a implementação de um protocolo para descoberta de vizinhança entre os pontos de acesso. Os resultados obtidos através de simulações em cenários urbanos mostram que o uso da rede entre os pontos de acesso em conjunto com as estratégias propostas aumenta a fração de interesses atendidos assim como a taxa de entrega em comparação à estratégia padrão.*

1. Introdução

A adoção das redes veiculares em larga escala ainda é um desafio. Como consequência, a infraestrutura de rede é composta por ilhas de conectividade delimitadas pelo alcance do rádio de cada ponto de acesso (AP). Para agravar ainda mais o problema, o movimento dos nós pode tornar as conexões curtas e intermitentes devido a mudanças na topologia e à velocidade dos veículos. Essas características representam uma barreira

*Este trabalho foi parcialmente financiado pela CAPES, CNPq, FAPERJ e FINEP.

ao uso de protocolos tradicionais como o TCP, já que não há garantias da existência de caminhos fim-a-fim [da Silva et al., 2013]. Nesses cenários, as redes tolerantes a atrasos e desconexões (*Delay and disruption Tolerant Networks* – DTN) são frequentemente propostas [da Silva et al., 2013], já que utilizam comutação de mensagens com transferência de custódia. Essa alternativa contorna o problema da conectividade, mas ainda requer que os nós da rede saibam a priori a que nó solicitar um dado conteúdo. Além disso, não considera a possibilidade da coexistência de múltiplas fontes para o mesmo conteúdo ou de múltiplos gateways à Internet, tornando o acesso ineficiente.

As redes orientadas a conteúdo (ROC) [de Brito et al., 2012] são uma alternativa às redes DTN no cenário veicular. Nessas redes, o cliente especifica qual conteúdo deseja, sendo responsabilidade da rede encaminhar o conteúdo ao cliente. O foco está em recuperar um conteúdo, e não em estabelecer uma comunicação com outro nó. Dessa forma, as redes ROC eliminam a necessidade de identificar os nós da rede [Wang et al., 2012a], como feito pelo seu principal representante, a arquitetura *Content Centric Networking* (CCN) [Jacobson et al., 2009]. Uma das características da CCN é a persistência de conteúdos nos nós da rede, similar à vista nas DTNs. Portanto, a CCN pode ser considerada uma arquitetura promissora para o cenário veicular e é considerada neste trabalho.

No escopo de distribuição de conteúdo na Internet, um grande problema do cenário veicular é o curto intervalo de tempo de contato entre os nós da rede, que muitas vezes impossibilita que os conteúdos sejam recebidos pelos veículos. Dessa forma, é importante que as chances de obtenção dos conteúdos solicitados durante a trajetória dos veículos sejam aumentadas, mesmo através de múltiplas fontes. Em outras palavras, um conteúdo solicitado deve ser recebido mesmo que o nó veicular saia da área de cobertura do AP ao qual realizou a primeira solicitação. O uso da trajetória dos veículos em conjunto com o paradigma de redes CCN ainda não foi explorado na literatura.

Este trabalho explora a utilização de cache proativo nos APs para aumentar a probabilidade de entrega de conteúdos no cenário veicular. Em linhas gerais, a ideia consiste em, sabendo o destino geográfico do usuário, encaminhar os interesses dos usuários para os APs em que eles provavelmente irão passar em seu trajeto até o destino. Assim, um AP proativamente solicita os conteúdos requisitados pelos usuários para a Internet antes mesmo que os veículos cheguem em seu alcance. Portanto, ao entrar no alcance de um AP, o conteúdo do usuário já estará disponível. Para atingir o objetivo, neste trabalho são propostas duas estratégias de encaminhamento de interesses veiculares entre os APs e um protocolo de descoberta de vizinhança que provê as informações necessárias para o funcionamento das estratégias. As estratégias de encaminhamento são avaliadas em dois cenários veiculares quanto à fração de interesses dos usuários atendidos, a taxa de entrega e a distância necessária para que um interesse seja atendido. Os resultados mostram que com o aumento da carga da rede as estratégias de encaminhamento aumentam ainda mais seus benefícios, alcançando ganhos de até 50% no número de interesses atendidos.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta detalhes do uso da CCN no cenário veicular bem como os trabalhos relacionados. A Seção 3 detalha as estratégias de encaminhamento de interesses e o protocolo de descoberta de vizinhança desenvolvidos. Na Seção 4, os cenários de teste são descritos e os resultados obtidos são apresentados. Finalmente, a Seção 5 conclui este trabalho e apresenta as direções futuras.

2. CCN nas Redes Veiculares

Na arquitetura CCN, os nós da rede disseminam pacotes de interesse para solicitar os conteúdos que desejam. Ao receber um interesse, um nó pode encaminhá-lo a outros nós, caso não possua o conteúdo especificado no interesse; ou enviar o conteúdo solicitado no pacote de interesse, caso o possua armazenado. Nota-se que uma característica da CCN é a persistência de conteúdos. Contudo, como o paradigma orientado a estação não é utilizado, as réplicas dos conteúdos armazenados nos nós da rede podem ser utilizadas para atender quaisquer clientes. Os benefícios do armazenamento e replicação de conteúdos de forma descentralizada no cenário veicular são investigados na literatura [Bai e Krishnamachari, 2010]. Além disso, armazenar réplicas de conteúdo na rede é uma forma conhecida de acelerar a obtenção de dados, já que cópias de um conteúdo existem mais próximas dos nós interessados.

O emprego da arquitetura CCN no cenário veicular requer adaptações, já que não foi projetada para o cenário sem fio. Por exemplo, o encaminhamento de interesses pela mesma interface de recepção não faz sentido em redes cabeadas. Contudo, no cenário sem fio, é comum que alguns nós possuam apenas uma interface de rede fazendo com que essa restrição deva ser descartada. Outro problema do uso da arquitetura CCN no meio sem fio é a tempestade de broadcasts (*broadcast storm*), que ocorre quando uma rede é congestionada por retransmissões de pacotes enviados em *broadcast*. No caso da CCN em redes veiculares, isso ocorre devido à política de encaminhamento de pacotes de interesse, que define que um nó que não possua o conteúdo pedido deve reencaminhar o pacote de interesse. Cientes do problema, os trabalhos que utilizam CCN no cenário veicular usam temporizadores para controlar o acesso ao meio de forma que nós próximos não enviem um mesmo pacote de interesse em um curto intervalo de tempo [Prates e Moraes, 2014, Wang et al., 2012a, Amadeo et al., 2013]. Assim, os nós agendam a transmissão de interesses e escutam o canal durante um tempo aleatório. Caso o nó escute o interesse agendado sendo transmitido por outro nó, o agendamento é cancelado. O mesmo vale para os pacotes de conteúdo, evitando tanto o problema de tempestade de broadcasts quanto retransmissões desnecessárias. Por outro lado, o benefício do uso da CCN em um meio de difusão é que uma transmissão pode ser recebida por múltiplos nós, economizando banda passante. Além disso, caso os nós realizem armazenamento promíscuo de conteúdos, ou seja, armazenem conteúdos mesmo que não estejam interessados, a disponibilidade de conteúdos na rede pode aumentar sem custo adicional.

A proposta do uso da arquitetura CCN no cenário veicular é recente e justificada pelos benefícios que o paradigma de orientação a conteúdo traz para o cenário veicular em relação ao antigo paradigma orientado a estação. Os primeiros trabalhos na área [Wang et al., 2012b, Amadeo et al., 2012a] investigaram a viabilidade da substituição do IP pela arquitetura CCN no cenário veicular. Em [Wang et al., 2012b], os autores desenvolveram um esquema de nomeação de conteúdos nas redes veiculares, mostrando uma aplicação de disseminação de informação de tráfego como caso de uso. No trabalho, os autores limitam a um salto o alcance dos interesses enviados, de maneira que os interesses não são encaminhados pelos veículos. Além disso, os autores não consideram a utilização de APs para propagar a informação. Assim, a única forma de um veículo receber uma informação é encontrando um veículo agindo como mula de dados.

Já em [Amadeo et al., 2012a], os autores propõem a arquitetura *Content-Centric*

Vehicular Networking (CCVN), baseada na CCN com modificações para adequá-la ao cenário veicular. Na arquitetura CCVN, os pacotes de interesses são divididos em duas categorias, B-Int (*Basic Interest*) e A-Int (*Advanced Interest*). O B-Int é enviado para receber a primeira parte de um conteúdo formado por múltiplas partes, enquanto os nós descobertos que possuam a informação são identificados e armazenados na estrutura *Content Provider Table (CPT)*. Por sua vez, um A-Int é enviado a um dos nós cadastrados na CPT para solicitar as partes restantes do conteúdo. Ao identificar nós da rede de quem as partes restantes do conteúdo devem ser obtidas, essa proposta se aproxima do paradigma orientado a estação. A CCVN remove a FIB (*Forward Information Base*) da arquitetura CCN sob a justificativa de que os nós possuem apenas uma interface de rede, o que nem sempre é verdade. Por exemplo, os APs geralmente possuem mais de uma interface. O trabalho compara o desempenho da arquitetura CCVN com o TCP/IP no cenário veicular através de simulação e avalia as métricas de taxa de entrega e atraso de entrega. Os resultados mostram que a arquitetura baseada no CCN supera o TCP/IP no cenário veicular.

Em [Wang et al., 2012a], é desenvolvida uma aplicação de disseminação de informação de tráfego que usa o arcabouço de nomeação de conteúdos de [Wang et al., 2012b]. Como o meio sem fio não permite detecção de colisões, os autores propõem temporizadores para minimizar a chance de colisões. O conjunto de temporizadores é formado por quatro distintos: *collision-avoidance timer*, *pushing timer*, *NDN-layer retransmission timer* e *Application retransmission timer*. Desses quatro, apenas o primeiro e o último são usados nesse trabalho. O primeiro cancela a transmissão de pacotes caso um nó ouça outro transmitindo o mesmo pacote. O segundo prioriza a transmissão de nós mais distantes do produtor da informação, o que é específico à aplicação proposta em [Wang et al., 2012a]. O terceiro retransmite uma mensagem em camadas inferiores, enquanto o quarto retransmite interesses não atendidos na camada de aplicação.

O trabalho [Prates e Moraes, 2014] propõe um arcabouço para reduzir o problema do *broadcast storm* de pacotes de interesse da CCN no cenário veicular. O arcabouço é composto por um esquema de nomeação de conteúdos geo-referenciado e um mecanismo de encaminhamento de pacotes de interesse. O arcabouço é implementado no ndnSIM e comparado com o trabalho [Wang et al., 2012a], e com o CCN puro. Os resultados mostram que definir escopos geográficos aos pacotes de interesse em conjunto com o uso dos temporizadores reduzem ainda mais a tempestade de broadcast [Prates e Moraes, 2014].

Apesar de existirem trabalhos que propõem a utilização da CCN em redes veiculares, nesses trabalhos os APs não são explorados de forma a aumentar a taxa de entrega de conteúdos [Prates e Moraes, 2014, Wang et al., 2012a, Amadeo et al., 2013, Wang et al., 2012b, Amadeo et al., 2012b]. Além disso, nenhuma informação da trajetória do veículo ou do seu destino é usada para tornar a rede ciente do destino. Este trabalho preenche essas lacunas, como visto a partir da próxima seção (Seção 3).

3. Estratégias para Distribuição de Conteúdo em Redes Veiculares

Este trabalho propõe o uso de cache proativo nos APs para melhorar a distribuição de conteúdos no cenário veicular. A ideia básica consiste em distribuir *proativamente* o conteúdo solicitado por cada usuário ao longo dos APs em sua trajetória até o destino final, de forma que o conteúdo esteja disponível antes do usuário chegar. Essa estratégia aumenta a eficiência da rede já que solicitar e receber o conteúdo no mesmo AP não é

trivial dado o tempo de contato entre veículos e APs. A ideia pode ser vista na Figura 1.

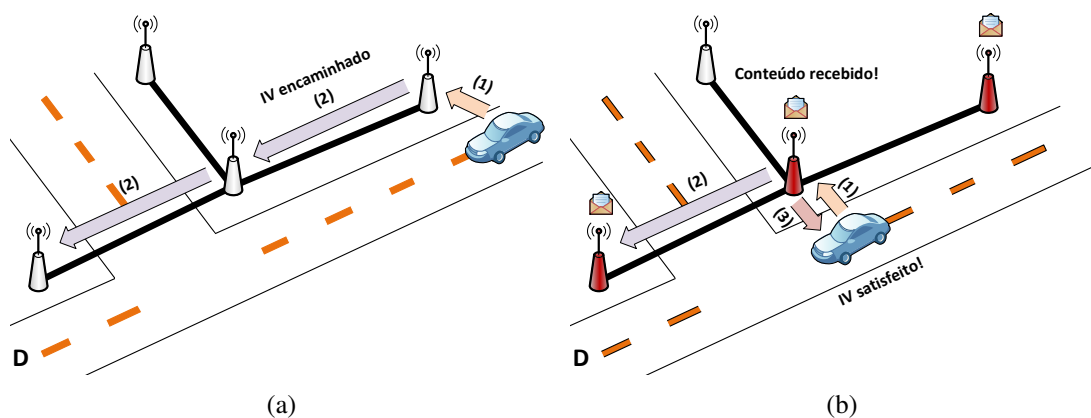


Figura 1. Ideia da proposta: (a) Solicitação: a seta em (1) representa o pedido de um conteúdo, já as setas em (2) representam o encaminhamento do pedido aos APs na direção do destino D; (b) Disponibilidade: os APs com conteúdo acima já podem entregar ao usuário as suas requisições. A seta em (3) representa a entrega do conteúdo.

Para conhecer a trajetória do usuário, inserem-se campos no cabeçalho dos pacotes de interesse veiculares (IVs) para armazenar a posição geográfica atual do usuário, o seu destino e o horário estimado de chegada ao destino. Além disso, assume-se que os APs conhecem a própria posição geográfica e a dos APs vizinhos de um salto. A descoberta de vizinhança é feita por um protocolo de descoberta de vizinhança proposto. Ao conhecer sua posição e a de seus vizinhos, os APs podem encaminhar a outros APs os IVs encapsulados em pacotes de interesse de ponto de acesso (IAPs). Assim, o conteúdo de um usuário pode ser solicitado à Internet nos APs onde é previsto que ele passe, antes que ele chegue lá. A posição atual, o destino e o tempo de chegada até o destino do usuário podem ser obtidos dos GPSs presentes nos veículos ou nos smartphones dos usuários. Caso um usuário não deseje informar o seu destino ele ainda será capaz de usar a rede, mas sem os benefícios do encaminhamento.

Nas CCNs o roteamento e identificação de pacotes se baseiam nos nomes. Assim, para propor estratégias de roteamento e identificar os pacotes na rede devem ser definidos esquemas de nomeação para interesses e conteúdos que realizam o roteamento desejado e sejam hierárquicos. Dessa forma, neste trabalho um IV segue o esquema de nomeação: $\backslash iv \backslash idConteudo \backslash idParte$. O primeiro componente define o escopo veicular. O segundo componente identifica o conteúdo solicitado pelo usuário, enquanto o terceiro identifica as partes que constituem esse conteúdo. Ao solicitar-se um conteúdo, são enviados IVs para cada uma das partes que formam o conteúdo pedido. Da mesma maneira, define-se o esquema de nomeação dos IAPs: $\backslash iap \backslash idProtocolo \backslash idInterfaceDeSaída \backslash idAP \backslash idIAP$. O primeiro componente do nome define o escopo do IAP, restringindo seu uso à rede entre os APs. O segundo componente indica a qual protocolo ou estratégia um IAP pertence, por exemplo, uma estratégia de encaminhamento de interesse ou ao protocolo de descoberta de vizinhança. O terceiro componente define a interface de saída pela qual um IAP é encaminhado, o quarto indica o AP que criou o IAP e o quinto identifica o próprio IAP.

Para descrever como os interesses são encaminhados nas CCNs é necessário des-

crever como as FIBs dos nós são configuradas. As FIBs dos veículos possuem uma entrada (*\iv*) responsável pelo encaminhamento dos IVs pela interface sem fio. Já as FIBs dos APs possuem além da entrada para encaminhar e receber IVs pela interface sem fio, duas entradas para cada interface de rede que conecta um AP a outro AP vizinho, ambas no formato *\iap\idProtocolo\idInterfaceDeSaída\idAP*. Isso muda o terceiro componente a cada interface de saída sendo relacionada na FIB. Uma das entradas é para o encaminhamento dos IAPs do protocolo de descoberta da vizinhança, a outra é específica à estratégia de encaminhamento de IVs. O uso do identificador dos APs nos IAPs junto com as FIBs dos APs faz com que cada IAP seja encaminhado apenas por um salto, o que está de acordo com as estratégias de roteamento salto a salto desenvolvidas. Definidos o esquema de nomeação utilizado e a população das FIBs dos nós na rede, define-se a seguir como os usuários nos veículos solicitam conteúdos.

3.1. Solicitação e Recebimento de Conteúdos pelos Usuários

Qualquer conteúdo maior que uma parte de conteúdo é fragmentado em múltiplas partes que juntas formam o conteúdo original. Quando um usuário deseja um conteúdo, por exemplo, o jornal diário, a aplicação envia IVs pelas partes do conteúdo às camadas inferiores, onde uma entrada na PIT (*Pending Interest Table*) para cada IV é criada, e onde agenda-se a transmissão dos IVs pela rede sem fio de acordo com a FIB. Como no cenário veicular podem não existir nós próximos que escutem uma solicitação, ou nós que possuam conexão com a Internet ou ainda nós que possuam o conteúdo na CS (*Content Store*), torna-se necessária a presença de uma lista para retransmissão dos IVs não atendidos após um determinado intervalo de tempo. Logo, cada IV solicitado é inserido nessa lista de retransmissão com o horário do último envio, para controlar o momento da próxima retransmissão. Quando um IV é retransmitido a hora estimada de chegada ao destino é atualizada, reduzindo a influência do comportamento do usuário ou do trânsito.

Ao um pacote ser recebido pela interface sem fio do usuário, verifica-se se o pacote é um interesse ou um conteúdo. Após, verifica-se se existe um agendamento para transmitir esse mesmo pacote na interface sem fio. Em caso afirmativo a transmissão agendada é cancelada. Se o pacote recebido for um IV, verifica-se se ele já está registrado na PIT; se não estiver, cria-se uma entrada na PIT para ele e busca-se na CS a parte do conteúdo que o satisfaz. Caso a parte do conteúdo seja encontrada, a transmissão dela pela interface sem fio é agendada; caso contrário, o IV é encaminhado de acordo com a FIB. Já no caso de o IV recebido já estar registrado na PIT, apenas atualiza-se a entrada do IV na PIT, zerando o contador que expira a entrada correspondente.

Se o pacote recebido for uma parte de um conteúdo, verifica-se se ele foi solicitado existindo uma entrada na PIT para aquela parte do conteúdo. Em caso positivo, se a parte do conteúdo recebida não existir na CS, ela é adicionada à CS e a sua retransmissão é agendada na interface sem fio. Em seguida, a entrada na PIT referente ao conteúdo é removida e o conteúdo é encaminhado à aplicação que o solicitou. Na aplicação, o IV referente à parte do conteúdo recebida é removido da fila de retransmissão e o conteúdo é remontado e entregue ao usuário caso todas as partes tenham sido recebidas. Contudo, se a parte do conteúdo não foi solicitada, apenas armazena-se a parte do conteúdo na CS. Isso caracteriza o armazenamento promíscuo de conteúdos por armazenar conteúdos não solicitados. Vale notar que somente conteúdos solicitados são retransmitidos para evitar possíveis congestionamentos no meio sem fio causado por conteúdos não solicitados.

Definido como os usuários interagem com a rede, é possível descrever como os APs atuam para entregar os conteúdos da Internet aos usuários.

3.2. Recebimento e Encaminhamento de IVs

Sem o uso do cache proativo proposto, os APs somente solicitam conteúdos da Internet pedidos diretamente pelos usuários através da interface sem fio. Essa estratégia, aliada ao tempo curto de contato entre veículos e APs, prejudica a entrega de conteúdos ao usuário. A proposta é então fazer com que os APs encaminhem os pedidos dos usuários aos outros APs. Encaminhar cada IV a todos os APs seria ineficiente. Sendo assim, os APs devem encaminhar os IVs apenas para os APs em regiões onde o usuário que solicitou o conteúdo for provavelmente passar. É possível que os IVs sejam encaminhados para regiões onde o veículo não passará, já que se assume conhecimento apenas da posição atual e do destino do usuário e não da trajetória completa até o destino. Contudo, a retransmissão de IVs não atendidos fornece uma nova chance para que o caminho feito pelo veículo seja previsto pelas estratégias de encaminhamento. Isso ocorre, pois a posição do usuário muda com o tempo e, portanto as duas abordagens podem prever caminhos diferentes para um IV de um usuário com o passar do tempo.

Ao receber um IV pela interface sem fio um AP agenda a retransmissão do IV, extrai as informações inseridas no cabeçalho e adiciona o IV em uma estrutura de dados que armazena as solicitações pendentes de conteúdos da Internet. Em seguida, o AP encaminha as informações do IV à estratégia de encaminhamento que vai enviar o IV encapsulado em um IAP a outros APs. Vale notar que os IAPs de encaminhamento, apesar de serem pacotes de interesse, não são respondidos por não existirem conteúdos associados a eles. Apenas os IVs e os IAPs do protocolo de descoberta de vizinhança possuem conteúdos associados e, portanto são respondidos. Para encaminhar IVs entre APs, os APs precisam conhecer seus vizinhos. Para tal, um protocolo de descoberta de vizinhança que usa o paradigma orientado a conteúdo foi desenvolvido.

Protocolo de Descoberta de Vizinhança: O protocolo de descoberta de vizinhança permite que cada AP conheça a posição de seus vizinhos e a interface pela qual esse vizinho pode ser encontrado. Essas informações, em conjunto com as configurações nas FIBs, permitem que o encaminhamento de IVs feito pelos APs seja direcionado geograficamente. O protocolo executa apenas uma vez, quando o AP é ligado, enviando IAPs de descoberta de vizinhança em todas as suas interfaces com outros APs. Ao receber um pacote de interesse, cada AP verifica através do nome se ele é do protocolo de descoberta de vizinhança. Se ele for um interesse de descoberta, o AP responde o IAP de descoberta com um conteúdo com o mesmo nome do interesse original, contendo o próprio identificador e a sua posição geográfica. Já quando recebe um conteúdo como resposta ao IAP de descoberta, o AP acrescenta o novo vizinho à lista de vizinhos. Para cada novo vizinho, o AP registra a identificação e posição geográfica a partir da carga do conteúdo, e a interface de saída usada para alcançá-lo a partir do nome do conteúdo. Esse nome é igual ao do interesse enviado pelo próprio AP para descobrir o vizinho em uma interface. Uma vez descoberta a vizinhança, os APs são capazes de decidir a qual AP vizinho os IAPs com IVs encapsulados devem ser encaminhados.

Encaminhamento de IVs em Área Geográfica Triangular: A ideia do triângulo de cobertura é delimitar a área onde provavelmente o veículo irá passar em seu trajeto até o

destino. A escolha de um triângulo como figura delimitadora se justifica pelo triângulo aumentar a área em seu interior com o aumento da distância da origem. O conceito se encaixa no cenário veicular já que a probabilidade de acertar a posição futura de um veículo é maior quanto mais perto estiver do último ponto onde foi visto. Como consequência, o número de APs em que se espera que um usuário passe até o destino aumenta com a distância desde o último ponto onde ele foi visto.

Ao receber um IV pela interface sem fio, as informações de posição atual, destino e hora de chegada ao destino do usuário que enviou o IV são usadas pelo AP para criar o triângulo de cobertura desse IV. Um triângulo de cobertura é definido pela posição do AP que deu origem ao triângulo R , que é um dos vértices do triângulo; a posição de destino do veículo que enviou o interesse D ; e um ângulo de abertura α , que define os ângulos $\angle D1RD$ e $\angle DRD2$. Vale notar que o triângulo de cobertura é isósceles, com os lados $D1R$ e $D2R$ iguais. A partir dessas informações, calcula-se a posição dos outros dois vértices, $D1$ e $D2$, que formam o triângulo $\triangle RD1D2$.

Definido o triângulo de cobertura, o AP insere os vértices que formam o triângulo e o IV com todas as suas informações em um IAP de encaminhamento e inicia o processo de encaminhamento dele aos outros APs. O processo de encaminhamento de IVs na área triangular se baseia em duas regras: se um AP está dentro do triângulo de cobertura, ele encaminha o IAP a toda a sua vizinhança. Caso contrário, ele encaminha o IAP apenas aos seus vizinhos de 1 salto que estejam dentro do triângulo de cobertura. Isso é possível, pois um AP conhece o triângulo e a posição geográfica de seus vizinhos.

O processo de encaminhamento é iniciado pelo AP que recebe o IV pela interface sem fio, e que é o ponto R do triângulo de cobertura. Esse AP por definição faz parte do triângulo de cobertura e encaminha o IAP a todos os seus vizinhos. Um AP recebendo o IAP com o IV encaminhado e estando dentro do triângulo de cobertura contido no IAP além de continuar o processo de encaminhamento, adiciona o IV encapsulado na estrutura de dados que guarda as solicitações de conteúdos da Internet pendentes. Isso é feito, pois o AP se encontra dentro da área onde é esperado que o usuário passe no trajeto até o destino. Na estratégia de encaminhamento descrita, os APs podem receber réplicas dos IAPs encaminhados, para impedir que o encaminhamento continue indefinidamente cada AP possui uma lista com os últimos K IAPs recebidos. Assim, a cada IAP recebido o AP verifica se ele está na lista, e somente em caso negativo, o IAP recebido é encaminhado.

A estratégia de encaminhamento dentro do triângulo de cobertura tem a vantagem de ser abrangente, contudo introduz réplicas de IAPs. A seguir define-se a estratégia de encaminhamento de IVs por Minimização de Distâncias Salto-a-Salto que apesar de menos abrangente, introduz menos IAPs na rede entre APs e não introduz réplicas.

Encaminhamento de IVs por Minimização de Distâncias Salto-a-Salto: O objetivo dessa estratégia é restringir o número de APs aos quais os IAPs são encaminhados, e consequentemente diminuir o número de APs onde um conteúdo solicitado é inserido na estrutura de pedidos pendentes da Internet. A redução de encaminhamentos ocorre devido à ausência de réplicas e devido a essa estratégia encaminhar IAPs para no máximo uma interface. Ao receber um IV pela interface sem fio, a partir da posição do destino do usuário, o AP escolhe a qual AP ele vai encaminhar o IAP com o IV encapsulado. Para isso, o AP seleciona o seu vizinho cuja distância até o destino é a menor. Se o vizinho

selecionado estiver mais perto do destino que o próprio AP, o IAP é encaminhado ao vizinho selecionado. Caso contrário, o processo de encaminhamento termina. Um AP ao receber um IAP encaminhado realiza o mesmo procedimento para continuar ou parar o encaminhamento. Diferentemente da estratégia de encaminhamento do triângulo de cobertura, todos os nós que recebem o IAP inserem o IV encapsulado na estrutura de dados que armazena as solicitações pendentes de conteúdos da Internet.

3.3. Recebimento e Encaminhamento de IVs e Recebimento de Conteúdos da Internet pelos APs

Um AP pode receber uma parte de um conteúdo pela interface sem fio, caso ele escute a transmissão, ou ainda, caso um usuário com a parte do conteúdo esteja ao alcance do AP no momento que o IV é retransmitido pelo AP. Além disso, um AP pode solicitar e receber partes de conteúdos da Internet. Para ambos os casos o AP ao receber o uma parte de conteúdo realiza o fluxograma apresentado na Figura 2.



Figura 2. Fluxograma do processo de recebimento de uma parte de conteúdo pelo AP.

Vale ressaltar que para uma entrada na PIT para uma parte de conteúdo existir, um IV deve ter sido enviado ao AP diretamente por um veículo. Os IVs encaminhados dentro dos IAPs, apesar de serem solicitados à Internet, não criam entradas na PIT. Nesses casos quem cria a entrada na PIT é o IAP de encaminhamento que encapsula o IV. Isso é feito para que as partes de conteúdo que sejam recebidas da Internet em pontos onde não é garantido que o veículo esteja não sejam transmitidas no meio sem fio. Dessa forma, as estratégias de cache proativo utilizadas recebem os conteúdos nos APs antes que o usuário chegue lá, mas para que o usuário receba o conteúdo, ainda é necessário que ele envie um IV diretamente a um AP ou veículo que possua o conteúdo solicitado. Na Seção 4 as propostas são avaliadas em dois cenários veiculares.

4. Resultados

As estratégias de encaminhamento propostas foram implementadas no simulador ndnSIM e avaliadas em dois cenários veiculares, criados no software SUMO (*Simulation of Urban MObility*). As propostas foram comparadas com o CCN modificado para atuar no cenário veicular, sendo o encaminhamento de IVs a única diferença entre a proposta e o CCN usado. As vias possuem velocidade máxima de 50 km/h em ambos os cenários. O cenário rodoviário é composto de duas pistas duplas de 6 km de comprimento em sentidos opostos. Entre as pistas há um espaço de 100 metros, no qual os APs são uniformemente distribuídos ao longo da via. O cenário urbano é formado por uma matriz 15 por 15 de quarteirões de 150m x 150m, totalizando 2.250 metros x 2.250 m. Os APs são distribuídos uniformemente formando uma malha igualmente espaçada nos eixos X e Y.

As interfaces de rede sem fio utilizadas na simulação são do padrão 802.11a operando no modo ad hoc na taxa de 24 Mb/s com modulação OFDM, em substituição ao

padrão 802.11p não presente no simulador usado. O canal sem fio é configurado com modelo de atraso de propagação de velocidade constante, modelo de propagação três-log-distância e o modelo de propagação Nakagami-m. As interfaces ponto-a-ponto entre os APs possuem taxa de 5 Mb/s e atraso constante de 2 ms. Cada AP está conectado à Internet com um enlace de 256 kb/s. Os IVs possuem TTL igual a 1 para evitar o *broadcast storm* em conjunto com o temporizador de [Wang et al., 2012a] que evita colisões. Além disso, os IVs expiram após 10 segundos na PIT e são retransmitidos pela aplicação após 11 segundos, caso não tenham sido satisfeitos. Na simulação existem 1.000 conteúdos que são divididos em partes de 1.500 bytes. Os usuários solicitam um novo conteúdo em média a cada 10 segundos de acordo com uma variável aleatória exponencial [Chlebus e Brazier, 2007]. Os conteúdos solicitados seguem uma distribuição Zipf com parâmetro 0,8, essa distribuição representa a popularidade dos conteúdos de acordo com as análises de traços empíricos em [Breslau et al., 1999]. Todos os nós da rede realizam cache promíscuo armazenando conteúdos mesmo sem interesses registrados. Contudo, somente os APs com a proposta realizam cache proativo, solicitando conteúdos à Internet ao longo da rota dos usuários.

Nos gráficos, a sigla EMD se refere ao encaminhamento por minimização de distâncias, a sigla ET ao encaminhamento em área triangular e CCN é o CCN modificado para o cenário veicular sem encaminhamento. Nos gráficos onde o número de APs varia, a legenda é apresentada no formato “sigla - número de APs”. Já nos gráficos onde o tamanho dos conteúdos é variado, a legenda segue o formato “sigla - tamanho do conteúdo” em kB. É utilizada a média de 30 experimentos com intervalo de confiança de 95%.

4.1. Cenário Rodoviário

Os APs possuem uma estrutura de dados que regula a requisição de conteúdos da Internet. No cenário rodoviário, a proposta utiliza uma fila com prioridade, enquanto o caso convencional utiliza uma fila comum. Quando o encaminhamento de IVs é utilizado, mais solicitações de conteúdo vão chegar a um AP, já que além dos pedidos dos usuários em seu alcance ele ainda recebe os encaminhados. A fila com prioridade serve para orquestrar as solicitações de conteúdos à Internet, sendo a prioridade definida como o menor horário estimado de chegada até o AP (HCAP). Assim, os pedidos de um usuário que deve chegar mais cedo ao AP terão maior prioridade. O HCAP é estimado a partir das informações contidas no IV da seguinte forma:

$$HCAP = \left[\left(\frac{dist(pU, pAP)}{dist(pU, pDest)} \right) * (hDest - hAtual) \right] + hAtual, \quad (1)$$

onde pU é a posição atual do usuário, $pDest$ seu destino, $hDest$ o horário estimado de chegada do usuário ao destino, $hAtual$ o horário atual no AP, pAP a posição do AP e $dist()$ uma função que calcula a distância entre dois pontos. Se em algum momento um pedido possuir HCAP inferior à hora atual ele é removido da fila de pedidos do AP, pois provavelmente o usuário interessado já passou. Vale notar que como o cenário define uma rota obrigatória em linha reta para os veículos, não existe a possibilidade de um usuário não passar por um AP onde seu conteúdo foi agendado. Dessa forma, as competições entre IVs solicitados por um usuário no alcance do AP e IVs encaminhados afetam menos o número de IVs satisfeitos.

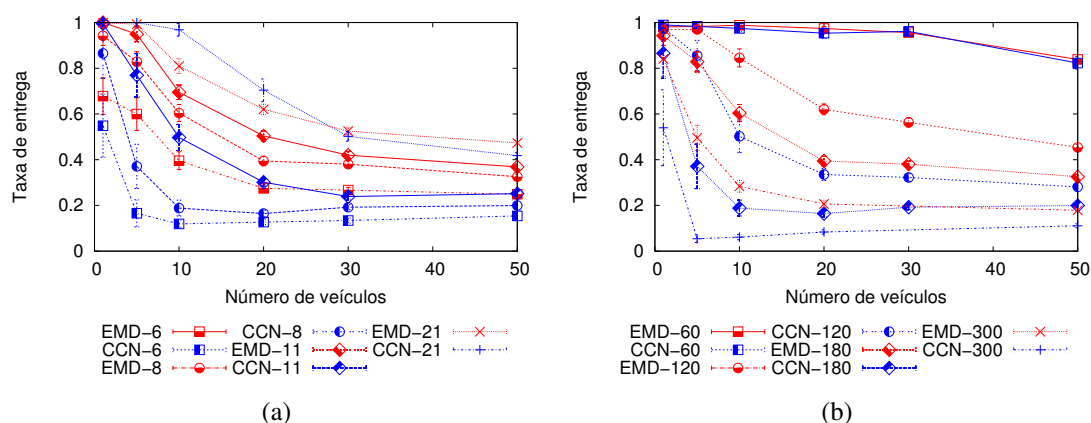


Figura 3. Taxa de entrega de conteúdos completos: (a) Diferente número de APs com conteúdos de tamanho 180 kBytes; (b) Diferente tamanho dos conteúdos com 8 APs na via.

Como as estratégias de encaminhamento propostas obtêm o mesmo resultado devido à topologia do cenário, somente um resultado é mostrado. Na Figura 3 compara-se a taxa de entrega de conteúdos completos da proposta com o CCN sem encaminhamento para diferentes números de veículos na via: 1, 5, 10, 20, 30, 50. Na Figura 3(a) o número de APs distribuídos na via varia mantendo o mesmo número de veículos, já que quanto maior o número de APs na via, maior a taxa de entrega em ambos os casos. Na Figura 3(b) o tamanho dos conteúdos solicitados pelos usuários varia e nota-se que mantido o mesmo número de veículos, quanto maiores os conteúdos menores são as taxas de entrega em ambos os casos. Observando as Figuras 3(a) e 3(b) também nota-se que aumentando somente o número de veículos a taxa de entrega diminui. Todos esses resultados podem ser explicados através da relação entre capacidade e carga da rede. Ao aumentarmos a capacidade da rede de receber conteúdos da Internet, por exemplo, aumentando o número de APs como na Figura 3(a), e mantendo a carga constante as taxas de entrega tendem a aumentar. Similarmente, se a carga da rede aumenta, com o número de veículos ou tamanho dos conteúdos, e a capacidade se mantém, as taxas de entrega tendem a diminuir. Apesar disso, percebe-se pelas Figuras 3(a) e 3(b) que o uso da estratégia de encaminhamento faz a taxa de entrega ser menos suscetível ao aumento na carga da rede, portanto quanto maior a carga na rede, mais benéfico o uso do encaminhamento. Um exemplo disso está na Figura 3(a). Na curva de 21 APs, o cenário se aproxima de um cenário totalmente coberto, e a taxa de entrega do CCN modificado começa maior, contudo com o aumento do número de veículos o uso do encaminhamento torna-se a melhor opção.

4.2. Cenário Urbano

Diferente do cenário rodoviário, no cenário urbano existem múltiplas rotas entre dois pontos, de forma que é possível que um usuário não passe por um AP onde seu conteúdo foi agendado. Assim, competições entre IVs solicitados por um usuário no alcance do AP e IVs encaminhados não são desejáveis. Para evitar que esta competição ocorra, a estrutura de dados que regula o acesso à Internet é dividida em duas com prioridades distintas: a estrutura de maior prioridade armazena os IVs recebidos pela interface sem fio, e a de menor prioridade os IVs encaminhados. A estrutura de maior prioridade, dos IVs recebidos diretamente, é similar a uma pilha, contudo caso a estrutura fique cheia

o descarte é realizado no fundo da estrutura. A ideia em utilizar uma pilha é atender primeiro os pedidos mais recentes, pois é mais provável que quem os pediu ainda esteja no alcance. Já a estrutura de menor prioridade é uma fila de prioridade idêntica a do cenário anterior. Para escolher o próximo item a ser solicitado à Internet, o AP escolhe primeiro os itens da estrutura de maior prioridade. Somente no caso dessa estrutura estar vazia é que os itens da estrutura de menor prioridade são agendados para recebimento. No entanto, caso um pedido seja adicionado à fila de maior prioridade durante o recebimento de um pedido da estrutura de menor prioridade, o recebimento em curso não é interrompido.

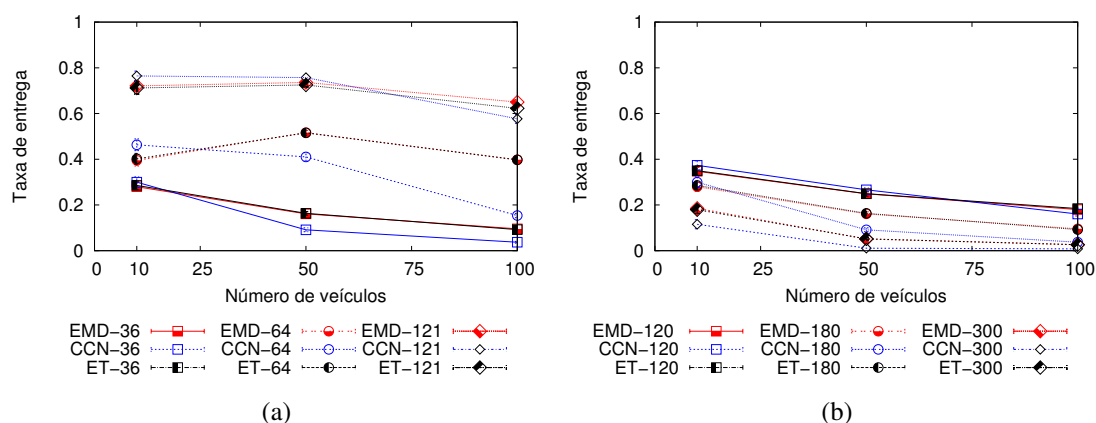


Figura 4. Taxa de entrega de conteúdos completos: (a) Diferente número de APs com conteúdos de tamanho 180 kBytes; (b) Diferente tamanho dos conteúdos com 36 APs na via.

Nas Figuras 4(a) e 4(b) observa-se o mesmo comportamento do cenário rodoviário: quanto maior a relação carga capacidade na rede mais benéfico é o encaminhamento. Analisando os valores da taxa de entrega isoladamente, poderia-se concluir que o número de APs a ser usado deveria ser igual ou superior a 121 para oferecer o serviço aos usuários. Contudo, vale notar que os APs na cidade devem ser apenas uma das opções para prover o acesso à Internet aos usuários e não a única. Assim, vale a pena avaliar a influência da proposta na fração de IVs satisfeitos, já que outras formas de comunicação poderiam auxiliar na recepção dos IVs dos usuários não satisfeitos pelos APs.

Na Figura 5(a) verifica-se que apesar da taxa de entrega com 36 APs, conteúdos de 180 kB e 100 veículos estar bem abaixo de 20%, a fração de IVs satisfeitos utilizando qualquer encaminhamento ultrapassa os 60%, enquanto a fração de IVs satisfeitos sem o encaminhamento permanece em torno de 40%. Isto representa um ganho de 50% com o uso do encaminhamento proposto, o que permite que menos APs sejam utilizados para prover uma mesma qualidade de serviço aos usuários, reduzindo os custos e consequentemente as barreiras para que a conectividade no cenário veicular seja alcançada. Vale notar que os mesmos comportamentos para a taxa de entrega são observados variando o número de APs ou o tamanho dos conteúdos, como pode ser visto nas Figuras 5(a) e 5(b).

Para avaliar a velocidade com que IVs são satisfeitos, na Figura 6 o número de APs é fixado em 36 e o tamanho dos conteúdos em 180 kB e avalia-se a distância entre os pontos do primeiro envio de um IV e o ponto onde ele é satisfeito. A Figura 6 reúne os IVs satisfeitos nas 30 rodadas de cada proposta para efetuar a comparação. Na Figura 6(a), nota-se que o número de IVs satisfeitos é superior com o uso de qualquer en-

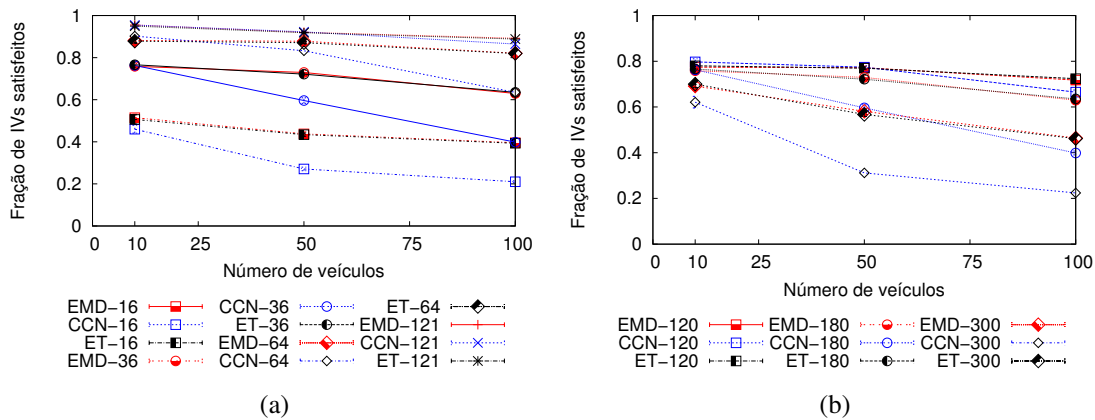


Figura 5. Fração de IVs atendidos: (a) Diferente número de APs com conteúdos de tamanho 180 kBytes; (b) Diferente tamanho dos conteúdos com 36 APs na via.

caminhamento. Nota-se ainda que o encaminhamento em área triangular por incluir mais APs que o encaminhamento por minimização de distâncias satisfaz um maior número de IVs. Já pelo gráfico normalizado na Figura 6(b), pode-se avaliar a velocidade com que IVs são satisfeitos. Com 10 veículos, observa-se que com o uso dos encaminhamentos uma fração maior de IVs é satisfeita para uma mesma distância. Já para o caso de 100 veículos, a CCN satisfaz uma fração maior de IVs para distâncias até aproximadamente 800 metros. Esse comportamento ocorre, pois o uso do encaminhamento permite que mais IVs sejam satisfeitos a longas distâncias devido ao agendamento pela trajetória, ao passo que o CCN puro não é capaz de satisfazer esses IVs, satisfazendo menos IVs em absoluto (Figura 6).

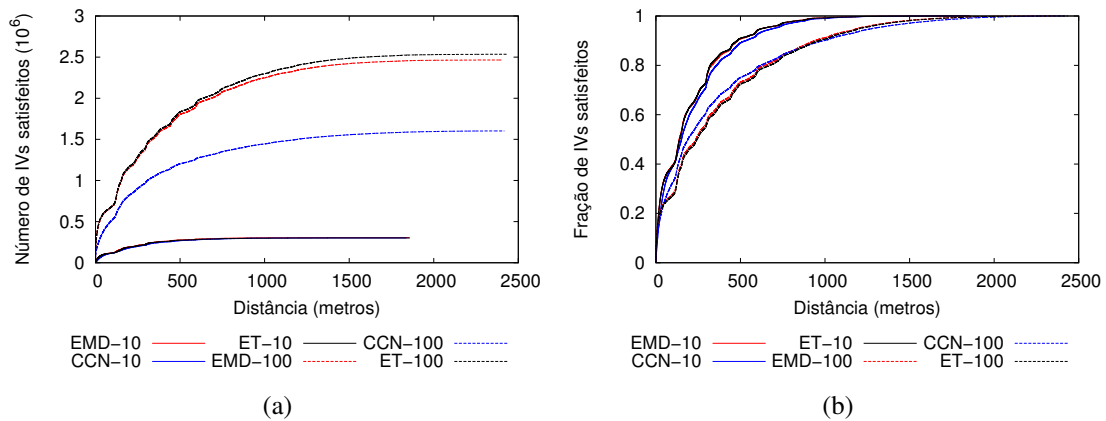


Figura 6. IVs satisfeitos de acordo com a distância: (a) Não normalizado; (b) Normalizado pelo número de IVs satisfeitos.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho propôs o uso de cache proativo nos APs para aumentar a probabilidade de entrega de conteúdos no cenário veicular. Para isso, foram propostas duas estratégias geográficas de encaminhamento de interesses veiculares entre os APs e um

protocolo de descoberta de vizinhança. As estratégias de encaminhamento foram avaliadas em dois cenários veiculares quanto à fração de interesses atendidos, a taxa de entrega e a distância necessária para que um interesse seja atendido. Os resultados mostram que, com o aumento da carga da rede, as estratégias de encaminhamento aumentam ainda mais seus benefícios. Com ganhos de até 50% no número de interesses veiculares atendidos, o uso das estratégias de encaminhamento permite que menos APs sejam utilizados para prover a mesma qualidade de serviço aos usuários, facilitando o provimento de conectividade no cenário veicular.

Como trabalhos futuros planeja-se estender os testes para cidades reais, para ver se haveria uma maior diferença nos resultados das estratégias propostas. Além disso, pretende-se avaliar como alguns parâmetros, como o enlace dos APs com a Internet e o ângulo α do triângulo de cobertura, influenciam os resultados.

Referências

- Amadeo, M., Campolo, C. e Molinaro, A. (2012a). Content-centric networking: Is that a solution for upcoming vehicular networks? Em *ACM VANET'12*, p. 99–102.
- Amadeo, M., Campolo, C. e Molinaro, A. (2012b). Crown: Content-centric networking in vehicular ad hoc networks. *IEEE Communications Letters*, 16(9):1380–1383.
- Amadeo, M., Campolo, C. e Molinaro, A. (2013). Enhancing content-centric networking for vehicular environments. *Computer Networks*, 57(16):3222 – 3234.
- Bai, F. e Krishnamachari, B. (2010). Exploiting the wisdom of the crowd: localized, distributed information-centric VANETs. *IEEE Communications Magazine*, 48(5):138–146.
- Breslau, L., Cao, P., Fan, L., Phillips, G. e Shenker, S. (1999). Web caching and Zipf-like distributions: Evidence and implications. Em *IEEE INFOCOM*, volume 1, p. 126–134.
- Chlebus, E. e Brazier, J. (2007). Nonstationary poisson modeling of web browsing session arrivals. *Inf. Process. Lett.*, 102(5):187–190.
- da Silva, V. B., da Silva, F. O., Campista, M. E. M. e Costa, L. H. M. K. (2013). Roteamento baseado na trajetória para redes veiculares desconectadas com múltiplos gateways. *SBRC*, p. 1038–1051.
- de Brito, G. M., Velloso, P. B. e Moraes, I. M. (2012). Redes orientadas a conteúdo: Um novo paradigma para a internet. *Minicursos do SBRC*, p. 211–264.
- Jacobson, V., Smetters, D. K., Thornton, J. D., Plass, M. F., Briggs, N. H. e Braynard, R. L. (2009). Networking named content. Em *ACM CoNEXT*, p. 1–12.
- Prates, A. A. e Moraes, I. M. (2014). Geozone: Um framework eficiente de difusão de interesses em redes veiculares orientadas a conteúdo. *SBRC*, p. 163–176.
- Wang, L., Afanasyev, A., Kuntz, R., Vuyyuru, R., Wakikawa, R. e Zhang, L. (2012a). Rapid traffic information dissemination using named data. Em *ACM NoM*, p. 7–12.
- Wang, L., Wakikawa, R., Kuntz, R., Vuyyuru, R. e Zhang, L. (2012b). Data naming in vehicle-to-vehicle communications. Em *IEEE NOMEN*, p. 328–333.