

## Capítulo

# 1

## Humanos no ciclo de comunicação: facilitadores das redes de próxima geração

Rafael Lima Costa (INRIA/UFBA/Université Paris-Saclay), Aline Carneiro Viana (INRIA), Artur Ziviani (LNCC), Leobino Nascimento Sampaio (UFBA)

### *Abstract*

*Next-generation mobile networks (including its models, architectures, protocols, types of communication and related technologies) shall take human-behavior into account to predict situations and shape dynamically requirements to be provided. This short-course aims to unravel and explore the “human-aware” paradigm including human characteristics such as mobility, personality traits, traffic profile, routines and social interactions. In addition to discussing the subject, relations with future network-concepts, informations for experiments and evaluation, research challenges and additional lessons from other areas in the same context are presented.*

### *Resumo*

*As redes móveis do futuro (incluindo seus modelos, arquiteturas, protocolos, tipos de comunicação e tecnologias relacionadas) deverão levar em conta o comportamento humano para prever situações e moldar dinamicamente os requisitos a serem fornecidos. Esse minicurso objetiva desvendar e explorar o paradigma “ciente do humano”, que engloba características humanas como mobilidade, traços de personalidade, perfil de tráfego, rotinas e interações sociais. Além de discutir o tema, serão evidenciadas as relações com conceitos de redes do futuro, apresentadas informações para avaliação e experimentação, desafios de pesquisa e lições adicionais de outras áreas no mesmo contexto.*

### **1.1. Introdução**

Este minicurso explora e desvenda o paradigma “ciente do humano” no contexto de redes móveis, de forma abrangente e atualizada. Nesta seção, primeiramente expomos a contextualização, motivações e relevância do tema do minicurso. Em seguida, a evolução

dos paradigmas de comunicação em direção ao “ciente do humano” é analisada bem como alguns cenários de aplicação são discutidos. Por fim, são apresentados o objetivo e a organização do restante do texto.

### 1.1.1. Contextualização, motivações e relevância

A visão de computação ubíqua (ou computação pervasiva), em que a informática se tornaria onipresente no cotidiano das pessoas já é uma realidade. Isso tem acontecido, dentre outros fatores, através da disseminação de aparelhos móveis e das redes sem-fio. Ademais, o surgimento, implementação e popularização de tecnologias como Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), equipamentos vestíveis, redes veiculares, aplicações de *big data analytics* e plataformas multimídia “famintas por banda” trazem desafios na perspectiva de redes de computadores.

Relatório da Ericsson [eri, 2017] de junho/2017 prevê mais de 1 milhão de novas adesões às redes móveis por dia nos próximos cinco anos, alcançando 29 bilhões de nós conectados (62% relativos à *IoT*) até 2022. Já a Cisco [cis, 2017a] prevê tráfego IP global de 3.3 *zettabytes/ano* até 2021 (3 vezes maior em relação a 2016), sendo cerca de 63% do total originado por *smartphones*. Investimentos de bilhões de dólares em infraestrutura não estão sendo suficientes para suprir a demanda e outras alternativas passaram a ser buscadas, dentre elas o *offloading* de dados através de equipamentos dos usuários [Rebecchi et al., 2015]. De acordo com [cis, 2017b], em 2016, 60% do tráfego móvel foi descarregado via *WiFi* ou *femtocells*. Ainda assim, as redes móveis estão sobrecarregadas, possuem limitações de espectro e alto custo de atualização infraestrutural. A partir desses estudos, podemos inferir que se tais técnicas de *offloading* não fossem buscadas, as redes móveis entrariam em colapso. Além do problema de sobrecarga, em padrões de redes móveis anteriores como o LTE, a preocupação maior sempre foi com parâmetros da rede e não com os objetivos de cada usuário. Isso fez com que requisitos-chave de desempenho tivessem implementações sub-ótimas [Lauridsen et al., 2017].

A comunicação centrada no usuário (do inglês *user-centric communication*) [Afrasiabi e Guérin, 2016] apareceu como uma das primeiras soluções para *offloading de dados* e aumento de capilaridade com foco nas características de uso da rede do utilizador. Em paralelo, a abstração “centrada no usuário” (onde soluções dependem da participação do mesmo) ganhou força em diversos tópicos de pesquisa na áreas de redes, incluindo Redes Definidas por Software e Redes Sociais Móveis. Ultimamente, o paradigma *user-centric* tem avançado em direção ao que é chamado de *human-aware* (ciente do humano) ou *human-behavior leveraging* e a novos padrões como 5G, Redes Veiculares, Redes Ultra-Densas, *IoT* e novas aplicações baseadas em interações diretas entre dispositivos [Panwar et al., 2016, Chen et al., 2016, Iosifidis et al., 2017, Li et al., 2017]. Isso tem acontecido devido à preocupação recente da comunidade científica de observar características do usuário como um ser humano e não apenas como um nó da rede.

A arquitetura das redes móveis do futuro será cada vez mais centrada nos requisitos comportamentais dos usuários. Ou seja, nas características ou hábitos rotineiros do ser humano por trás de um dispositivo de comunicação, de forma a melhor servi-lo. Sendo assim, o estudo do comportamento humano [Thilakarathna et al., 2017] tem sido essen-

cial ao avanço de pesquisas na área. Um indivíduo possui características como mobilidade, personalidade, interações sociais, caráter, humor e rotinas que podem ser estudadas para oferecer um serviço de rede mais adequado [Oliveira et al., 2016, Oliveira et al., 2017, Chen et al., 2017b]. Historicamente, diversos trabalhos examinaram características do usuário como a mobilidade [Lau et al., 2017, Xia et al., 2018]. No entanto, pouco foi feito no sentido de tentar utilizar essas informações para identificar determinadas rotinas e prever o comportamento futuro do humano como usuário de um dispositivo. É importante ressaltar que o perfil de cada pessoa no contexto de redes móveis é ditado por diversos fatores do seu comportamento humano. Dessa forma, para aproximar mais as redes e os seus usuários, cada vez mais se faz necessário estudar suas características.

O papel do usuário como um elemento ativo na rede rompe com o atual modelo fim-a-fim da Internet e será essencial para garantir requisitos de novos padrões de comunicação e aplicações, além de questões antes preteridas como a eficiência energética [I et al., 2014]. O objetivo da comunicação centrada no usuário é melhorar a experiência do mesmo independente do dispositivo, rede, recursos utilizados, localização, condições de mobilidade e sobretudo basear-se no seu contexto. Assim, os paradigmas *user-centric* e *human-aware* são vistos como essenciais nas redes do futuro e vão além em relação a outras soluções baseadas na participação dos usuários como *Mesh*, *Ad-hoc* e *MANETs* [Conti et al., 2015]. Pela definição e arquitetura dessas propostas anteriores, observamos que os usuários eram tratados como elementos de rede. No caso, eles serviam a objetivos específicos como o aumento da capilaridade ou encaminhamento de mensagens. Grande parte dos desafios dessas soluções, tais como roteamento, eficiência energética, mecanismos de incentivo e gerenciamento de recursos esbarraram justamente na ausência de um entendimento dos aspectos individuais de cada indivíduo como nó da rede. Já as soluções no contexto *user-centric* e *human-aware* caminham em direção a cenários de aplicação e mecanismos de incentivo bem definidos, dão suporte a novos modelos de negócio e sobretudo são do interesse das operadoras e de prestadoras de serviços. A implementação do “ciente do humano” evidencia uma situação vantajosa dos dois lados, possibilitando melhor *QoE* do usuário ao utilizar serviços da operadora, que por sua vez pode maximizar o lucro com menor custo, oferecer novos serviços e atrair novos clientes. Além disso, o entendimento dos aspectos humanos podem ser úteis para o dimensionamento das redes e para oferecer um serviço mais próximo do que o usuário espera naturalmente.

Levar em conta o comportamento dos usuários de redes baseado nas suas características humanas é um dos entendimentos necessários para as arquiteturas do futuro. O termo “centrado no usuário” é mais comumente encontrado na área de redes, no entanto, diversas pesquisas de outras áreas como física, sociologia e psicologia estudam o comportamento humano no contexto de telecomunicações e não utilizam o termo. Além de avançar em direção a novos padrões de comunicação, o “centrado no usuário” do futuro será orientado ao contexto e comportamento humano, dando início a esse novo paradigma “ciente do humano”. Um dos focos do minicurso é discutir como e porque o humano estará no centro das atenções das arquiteturas de redes de próxima geração. Ao longo do texto os termos *user-centric* (centrado no usuário) e *human-aware* (ciente do humano) serão usados para evidenciar a diferença e foco de cada um. No entanto, o elemento central é o “ciente do humano”, ou seja que engloba o estudo do comportamento humano como facilitador das redes de próxima geração, justificando o título do minicurso.

As operadoras passaram a ter interesse em padrões de comunicação centrados no usuário, tais como, o *D2D (Device-to-Device Communication)* [Gandotra et al., 2017] ao perceber que poderiam controlar e definir as regras da comunicação. Além do aumento da capilaridade a custo reduzido, novas aplicações e modelos de negócio, com modelos de comunicação cientes do humano é possível garantir requisitos como baixa latência e maior vazão, comuns a arquiteturas como 5G e V2V (Vehicle-to-Vehicle) [Xia et al., 2018]. Conforme citado em [Akyildiz et al., 2016], o D2D combinado com padrões, tecnologias e arquiteturas, como SDN, NFV, *Big Data* e Computação em Nuvem Móvel, pode ser usado para: (i) Garantir latência reduzida de 1 ms fim-a-fim; (ii) Reduzir em até 1000 vezes o consumo energético por bit; (iii) Obter maiores taxa de transmissão; (iv) Permitir o reuso eficiente do espectro; (v) Prover melhor conectividade para usuários na borda da rede. Sendo assim, a concepção de modelos de comunicação cientes do humano vem ganhando importância também em tecnologias como *IoT* [Kozioł et al., 2017] e *Machine-to-Machine Communication* [Cheng et al., 2015].

Tópicos de pesquisa atuais na área de redes como *SDN*, *NFV* e *IoT* apresentam trabalhos com soluções onde o usuário é um elemento central. O tema aparece em chamadas e publicações de conferências e periódicos relevantes, tais como *IEEE Communications Magazine*, *ACM Computer Communication Review*, *The International Journal for the Computer and Telecommunications Industry (Elsevier)*, *Elsevier Computer Networks*, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, *IEEE GLOBECOM* e *ACM SIGCOMM*. Já o *human-aware* é recente e tem sido encontrado em periódicos internacionais como *Nature*, *Pervasive and Mobile Computing (Elsevier)* e em conferências de *Mobile Networking*. Este minicurso apresenta o paradigma de comunicação orientada ao contexto e comportamento humano do usuário de forma abrangente e mostra como ele está relacionado com diversos temas atuais em redes de computadores e sistemas distribuídos.

### **1.1.2. Evolução de paradigmas de rede até o “ciente do humano”**

Ao longo do tempo, as redes de computadores foram sendo construídas através da perspectiva dos provedores, oferecendo um serviço chamado de “melhor esforço” (do inglês *best-effort*). O resultado disso foi a engenharia de protocolos e serviços voltados às aplicações e à conveniência dos provedores, porém distantes das expectativas reais dos usuários. Essa lacuna pode ser observada em técnicas de otimização de desempenho que buscam adaptar-se às condições da rede (ex: condições físicas dos links, mudanças de topologia) e são específicas em termos de protocolo ou serviço (ex: entrega de mensagens com sucesso, cobertura geográfica de rede). Portanto, é possível afirmar que as redes geralmente não se preocupam com o comportamento e necessidade dos usuários.

Soluções “centradas no usuário”, apesar de representarem uma mudança relativa ao tradicional “orientado ao provedor”, ainda enxergam o usuário mais como um elemento da rede do que como uma pessoa interagindo através de um dispositivo de comunicação. Dito isso, essas soluções consideram aspectos do usuário do ponto de vista de rede (tais como perfil de tráfego e possibilidade de compartilhar sua conexão), ignorando características do comportamento individual humano. A mudança de paradigma que esse minicurso chama atenção é a de uma rede construída para controlar, localizar e monitorar usuários para uma rede sensível às suas necessidades e capaz de se adaptar ao comportamento humano deles.

Atualmente, os usuários esperam muito mais das redes do que apenas um melhor desempenho. Revisitando a história recente das últimas gerações de redes móveis, observamos que a maximização ou minimização de alguns parâmetros de rede (ex: vazão, atraso, etc) foram as maiores preocupações. De acordo com [Akyildiz et al., 2016], ao contrário das gerações passadas, o 5G deverá suportar uma grande variedade de dispositivos, serviços e aplicações como veículos autônomos, *IoT*, comunicação dispositivo-a-dispositivo e equipamentos vestíveis. Já que as pessoas estão cada vez mais propensas a interagir através de dispositivos inteligentes, suas rotinas e comportamento humano estarão diretamente ligados a como elas irão requisitar recursos. A ‘inteligência’ dos dispositivos e das redes deverá ser justamente no sentido de levar em conta essas informações para entregar soluções e serviços de comunicação mais eficientes e sensíveis ao comportamento humano, assim como já acontece de certa forma com sistemas de recomendação.

As redes ciente do humano podem ser definidas precisamente como *redes que levam em conta o comportamento humano para prever necessidades e ações conscientes e inconscientes das pessoas, se adaptando à incerteza e heterogeneidade do que pode ser predito e sendo capaz de oferecer uma melhor qualidade de experiência*. Dados a serem utilizados na arquitetura de redes do futuro podem ser obtidos através dos próprios dispositivos dos usuários. Atualmente, os mesmos já são equipados com uma série de sensores capazes de traduzir com acurácia vários fenômenos físicos na forma de dados. Isso vai muito além das tradicionais medições de padrões de uso e métricas de rede. Além de microfone, *GPS*, câmera e giroscópios, espera-se no futuro a incorporação de sensores de pressão, monitores de ar e de saúde (ex: batimentos cardíacos), etc. Esses sensores se tornam ferramentas capazes de identificar a atividade humana no momento. Consequentemente, uma grande quantidade de dados sensoriais do contexto humano (*big data*) pode ser coletada e processada. Isso dá a oportunidade de inferir interações e comportamento numa escala global, já que a população de usuários de dispositivos inteligentes cresce a cada dia. Se usados corretamente, esses dados sensoriais podem alavancar os serviços de redes a um patamar jamais visto antes.

Os primeiros avanços no estudo do comportamento humano em redes de computadores foram relativos à análise de mobilidade [CC et al., 2016]. Grande parte dos trabalhos nesse contexto exploram particularidades dos contatos entre usuários como frequência e tempo entre eles, porém não levam em conta outras características humanas da mobilidade como interação com o ambiente e a forma como os caminhos são escolhidos. Outras peculiaridades como rotinas, o comportamento relativo à traços de personalidade individuais, necessidades, tipo de ambiente e interesses particulares podem ser utilizadas para personalizar serviços e aplicações de rede. O entendimento do comportamento subjetivo de cada ser humano irá guiar novas soluções e arquiteturas de rede futuras. Do ponto de vista evolutivo, o “centrado no usuário” se move em direção ao “ciente do humano”, conforme linha do tempo apresentada na Figura 1.1. Na Figura estão destacados fatos relacionados a pesquisas relevantes realizadas de 2008 até o presente momento, além do que pode ser esperado num futuro próximo. Nos limitaremos a trazer referências dos trabalhos mais recentes, por questões óbvias de espaço e também pela maior relevância para futuras pesquisas.

Em meados dos anos 2000, a mobilidade humana já era estudada pela comunidade de Redes Tolerantes ao Atraso (do inglês *Delay-Tolerant Networks*) [Mtibaa et al., 2006,

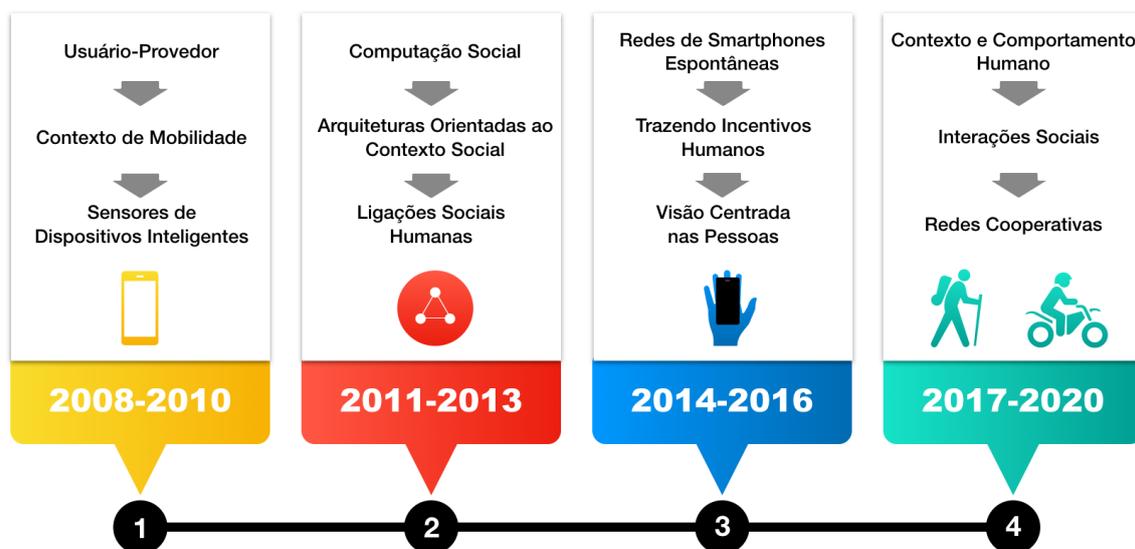


Figura 1.1. Linha do Tempo mostrando a evolução da visão do paradigma “centrado no usuário” em direção ao “ciente do humano”.

Conan et al., 2007]. Em 2008, a comunicação centrada no usuário apareceu como solução para extensão de capacidade e *offloading* de dados. A ideia era o compartilhamento de conectividade e serviços do usuário aplicado em cenários específicos como desastres, alta densidade de pessoas e borda da rede. Desafios foram identificados e parcialmente solucionados, porém a maior parte das discussões continuaram a ser de uma perspectiva de rede, onde o usuário era visto como um nó compartilhador.

Durante 2009, a mobilidade foi estudada no contexto de modelos centrados no usuário e *frameworks* de gerenciamento baseados em redes sociais móveis foram propostos. Ademais, a visão futura de uma Internet voltada ao usuário foi introduzida. Já em 2010, foi observada a importância da coleta de dados dos sensores presentes em dispositivos inteligentes para auxiliar modelos e arquiteturas de rede do futuro. Surgiram também as primeiras propostas centradas no usuário para o 4G e redes veiculares.

No ano de 2011, aspectos sociais humanos passaram a ser considerados em gerenciamento de confiabilidade e modelagem de mobilidade. Aplicações baseadas na comunicação direta entre dispositivos e modelos centrados no usuário para 5G surgiram. Ao longo de 2012, observamos trabalhos baseados em arquiteturas orientadas a aspectos sociais, incorporando princípios e comportamento, sobretudo de usuários em redes sociais. Ideias de roteamento contemplando as rotinas dos usuários também foram propostas. Em 2013, surgiram iniciativas baseadas em interações sociais humanas, incluindo gerenciamento com *SDN*, modelos de confiabilidade e sistemas de reputação.

Já no ano de 2014, foi observado o grande potencial de redes oportunísticas criadas a partir de *smartphones* para tecnologias como 5G, redes veiculares e *IoT*, além de requisitos como eficiência energética. Alguns trabalhos chamaram a atenção sobre a grande quantidade de informação do contexto humano que pode ser coletada e extraída para modelos e arquiteturas de rede do futuro.

De 2014 a 2017, a visão do humano por trás de um dispositivo do usuário começou

a ser mais frequente [Thilakarathna et al., 2014, Barbera et al., 2014, Katsarakis et al., 2015, Afrasiabi e Guérin, 2016, Iosifidis et al., 2017, Zou et al., 2017]. Em 2014, houveram trabalhos de disseminação de conteúdo e *data offloading* baseados na noção de comportamento em redes sociais móveis. No segundo, houveram discussões da perspectiva do humano relacionada a mecanismos de incentivo e tarifação, segurança e privacidade. Já em 2016, termos como *people-centric* ou *people-to-people* passaram a ser mais comuns. Dito isso, o usuário passou a ser visto como um humano com características próprias, contrariando a visão antiquada do usuário apenas como portador de um dispositivo consumidor. Trabalhos relacionados à dinâmica de encontros, comunicação *multi-hop* baseada em aspectos sociais ou de mobilidade e outros foram propostos nesse período até 2017. Espera-se que num futuro próximo, surjam modelos e arquiteturas de rede cientes do humano. As gerações de rede do futuro deverão levar em conta o contexto, comportamento e outras características do humano, considerando aspectos como mobilidade, interações, perfil de tráfego, personalidade e conexões sociais. Os mesmos serão extensivamente discutidos nas seções a seguir, bem como exemplos de possíveis aplicações.

### 1.1.3. Cenários de aplicação

Nesta sub-seção, apresentamos cenários de aplicação do paradigma “ciente do humano”. Conforme o título do minicurso sugere, acreditamos que o papel dos humanos será o de facilitadores de redes de próxima geração. Sendo assim, o cenário de aplicação do paradigma “ciente do humano” é bastante amplo. Aspectos humano-comportamentais (apresentados a seguir, na Seção 1.2) como o contexto, interações sociais, perfil de tráfego, traços de personalidade, mobilidade, encontros e rotinas, podem ser aplicados na modelagem de soluções de redes. Arquiteturas, protocolos, tipos de comunicação e tecnologias relacionadas deverão ser “ciente do humano”. Dito isso, além de cenários tradicionais de redes e outros frequentes como desastres, falha da infraestrutura principal, grande concentração de pessoas, borda da rede, etc, o “ciente do humano” fomentará soluções em tecnologias promissoras. São exemplos delas *IoE/IoT*, Veículos Autônomos, *5G* e *6G*, Redes Ultra-densas e Dispositivos Vestíveis. Ao longo do minicurso apresentaremos exemplos e compartilharemos visões de como o paradigma poderá ser útil em cada caso.

Segundo [Aldini e Bogliolo, 2016], o sucesso de novos modelos para a Internet não seria o mesmo sem o envolvimento dos usuários no provisionamento de conteúdo, aplicações e serviços. A ideia central é de que eles possam ir muito além de consumir o que é disponibilizado pelos provedores. Essa visão participativa do usuário em novos modelos segue o caminho arquitetural evolucionário das redes móveis do futuro, presente também no conceito de Redes do tipo “Faça você mesmo” (do inglês *Do-it-Yourself - DiY Networks*). As soluções em redes *DiY* dependem da participação e engajamento dos indivíduos e antecederam a visão do humano por trás do dispositivo móvel. A importância do “ciente do humano” nos diferentes cenários citados acima é reforçada pela existência de uma grande infraestrutura disponível acessada por um número crescente de indivíduos portando dispositivos móveis e ao surgimento de diversas tecnologias para auxiliar no dia-a-dia das pessoas. Já que serviços de rede, aplicações e tecnologias relacionadas são destinadas aos humanos, podemos afirmar que suas expectativas podem ser melhor atendidas a partir do momento em que aspectos individuais do seu comportamento sejam levados em conta na arquitetura.

#### **1.1.4. Objetivo e organização do minicurso**

De acordo com o cenário exposto, este minicurso explora e desvenda o paradigma “ciente do humano” de forma abrangente e atualizada. Um dos objetivos é que os participantes se familiarizem com o tema, suas aplicações e desafios em diferentes áreas emergentes no domínio de redes. O minicurso também será importante para atualizar participantes sobre requisitos de tecnologias e modelos de comunicação do futuro, os quais oferecem diversas oportunidades de pesquisa.

O restante do texto está organizado conforme a seguir. Na Seção 1.2 serão discutidas particularidades essenciais do comportamento humano e social do usuário no contexto desse trabalho. Detalharemos cada aspecto do comportamento humano que pode influir no sucesso dos modelos de comunicação do futuro. Completando, o comportamento humano é relacionado com métodos de aquisição e processamento das informações de forma a auxiliar futuras arquiteturas de rede para melhor servir os usuários. A Seção 1.3 faz um paralelo do conceito com tipos de comunicação e discute como o paradigma aqui apresentado poderá satisfazer requisitos de tecnologias como *5G*, *IoT*, Redes Veiculares, Redes Ultra-Densas e Redes Centradas na Informação. Na Seção 1.4, modelos e soluções relacionados para *offloading de dados*, redes sociais *online*, segurança e privacidade. A Seção 1.5 traz detalhes de traces de usuários que podem ser utilizados para validação de pesquisas no contexto desse minicurso e *testbeds* de avaliação e experimentação. Já na Seção 1.6 serão apresentados diversos desafios identificados na literatura sobre o tema, fomentando novas oportunidades de pesquisa para estudantes. A Seção 1.7 apresentará lições adicionais com sugestões comentadas da literatura pertinente ao tema identificada em outras áreas como física, psicologia e sociologia. Por fim, na Seção 1.8 estão as considerações finais, e em seguida as referências bibliográficas.

#### **1.2. Influência do contexto e comportamento humano do usuário**

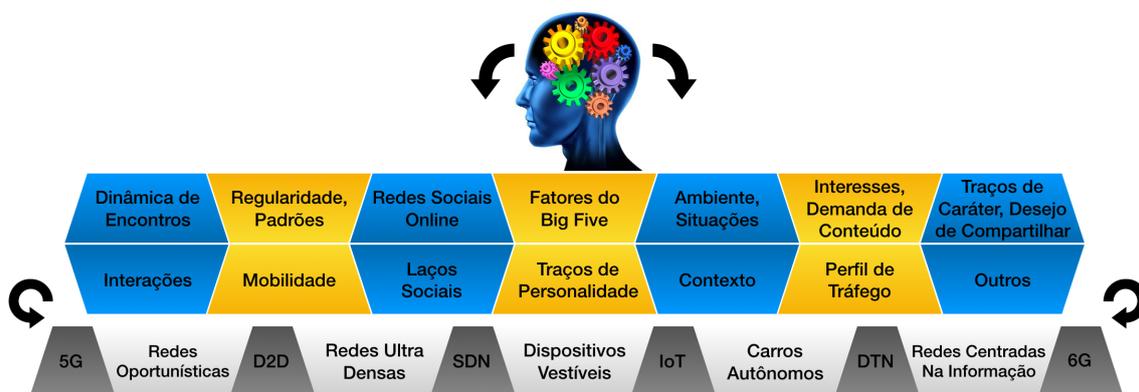
Conforme estatísticas apresentadas na Seção 1.1, num futuro próximo, espera-se cada vez mais portadores de dispositivos “inteligentes” como *smartphones* e aparelhos vestíveis. O comportamento de cada indivíduo irá impactar diretamente não só na forma como cada um requisitará recursos, mas também que tipos deles serão necessários em cada situação (contexto). Sendo assim, aspectos individuais do comportamento humano irão ditar exatamente como um indivíduo irá interagir como entidade da rede e também com outros usuários. Por isso, arquiteturas, modelos e soluções de redes do futuro deverão levar em conta aspectos do comportamento individual humano. Isso será motivado não apenas pelo oferecimento de melhor qualidade de experiência aos usuários, mas também pela otimização de parâmetros e aspectos de rede de uma forma mais natural.

A mobilidade foi um dos primeiros aspectos do comportamento dos usuários a ser identificado e explorado como potencial em soluções no âmbito de redes. Diversos trabalhos foram propostos, porém grande parte deles se restringiram a estudar particularidades específicas da mobilidade. Dentre elas, a repetitividade e frequência de contatos entre usuários e o tempo de ocorrência entre os mesmos. Pouco foi feito em relação à forma em que as pessoas instintivamente se movem, como os caminhos são escolhidos, que aspectos contextuais do ambiente ao redor podem influenciar, dentre outros fatores que podem impactar na mobilidade. Na perspectiva de rede, graças à ubiquidade dos dis-

positivos, os usuários se tornaram muito mais que uma entidade móvel. Individualmente, hoje uma pessoa gera e demanda uma grande quantidade de conteúdo, participa em redes sociais *online* e segue buscando constantemente por informações e serviços diversos que a mantenham cada vez mais “conectada”. Tudo isso é ligado a aspectos individuais que são relativamente estáveis ao longo da vida de um humano, influenciam diretamente no seu comportamento, e que variam em cada indivíduo. Interesses, necessidades, rotinas, ambiente, hábitos, traços de personalidade (de acordo com [McCrae e John, 1992], um elemento central para descrever uma pessoa), caráter, humor, dentre outros são determinantes não só para especificar o perfil de uma pessoa, mas também irão ditar que tipo de usuário de rede ela será. Sendo assim, o entendimento de padrões mais subjetivos do comportamento dos usuários, ou seja, o paradigma “ciente do humano” será essencial às soluções de rede do futuro.

O paradigma “ciente do humano” se refere ao objetivo de adicionar sentidos de percepção à rede, ligando-os com características humanas como interpretação, observação e reação relativas ao seu dia-a-dia e entidades que fazem parte dele. Sendo assim, uma rede “ciente do humano” do futuro será uma rede que leva em conta características comportamentais do ser humano para: (i) Prever necessidades conscientes ou subconscientes dos usuários; (ii) Se auto-adaptar à heterogeneidade e incerteza trazida pelo que é previsto; (iii) Ao mesmo tempo, oferecendo melhor qualidade de experiência.

A evolução dos dispositivos móveis permite a coleta de padrões de utilização de rede e outras informações dos usuários em qualquer momento ou local [Matarazzo et al., 2018]. Essas informações precisam ser correlacionadas com o comportamento humano e processadas. Com isso, será possível inferir e conhecer informações do comportamento e das interações em grande escala. A Figura 1.2 ilustra aspectos comportamentais diários dos humanos, relacionando com tecnologias e modelos de redes atuais e do futuro. A coleta, processamento e análise desses dados do comportamento humano irão alavancar tecnologias de redes como 5G, 6G, D2D, Redes Ultra-Densas, Carros Autônomos, dentre outras e também novas oportunidades de negócio.



**Figura 1.2. Representação do comportamento individual humano extraído à partir de aspectos multi-dimensionais como facilitadores de tecnologias de redes móveis do futuro.**

A partir do paradigma “ciente do humano”, sistemas e serviços de rede podem se adequar às expectativas dos seus usuários finais. Isso se dá pela oportunidade de extrair e

prever o comportamento inerente de humanos por trás de dispositivos de rede num espaço multi-dimensional de tempo, localização, conteúdo, desejos e interesses. A relação do comportamento humano com aspectos como ‘quando’, ‘onde’, ‘o que’, ou ‘por que’ dirá muito sobre cada usuário individualmente. Sendo assim, o primeiro objetivo é identificar e extrair conhecimento do contexto e comportamento humano. Na sequência, trazer esse conhecimento para uma perspectiva de rede, analisando como o mesmo pode ser útil em novas tecnologias, paradigmas, protocolos, modelos, dentre outros.

Os aspectos que serão levantados aqui são comportamentos ditados pelo fato de sermos humanos. Dentre alguns exemplos, podemos citar: (i) As pessoas agem habitualmente como entidades semi-rationais, interagindo e se movendo rotineiramente num espaço geográfico previsível [Oliveira et al., 2016]; (ii) Ao escolher um itinerário, um indivíduo geralmente segue o caminho mais curto para seu destino, ou seja, o caminho disponível mais próximo do que seria uma linha traçada entre os dois pontos, exceto em ocasiões específicas como por exemplo visitação turística; (iii) O conjunto de itinerários e pontos de interesse frequentes são caracterizados pelo confinamento. Ou seja, as pessoas tendem a construir sua rotina diária em áreas particulares que também podem estar relacionadas com sua personalidade ou ligações sociais [Oliveira et al., 2016]; (iv) Um indivíduo tende a encontrar as mesmas pessoas por conta de interesses, personalidade, ou ambientes em comum [de Melo et al., 2015]. Todos esses aspectos podem ser entendidos através do estudo da mobilidade e ligados com outras características e expressões do comportamento humano. A Tabela 1.1 resume aspectos multi-dimensionais do comportamento humano que poderão alavancar serviços e tecnologias de rede do futuro. Nas sub-seções a seguir, esses aspectos são discutidos detalhadamente.

### **1.2.1. Aspectos do comportamento humano**

Nessa seção discutiremos detalhadamente mobilidade, interações, traços de personalidade, perfil de tráfego, laços sociais, contexto e outros aspectos do comportamento humano capazes de alavancar arquiteturas de redes móveis. Na sequência apresentamos etapas pelas quais os dados do paradigma “ciente do humano” precisam passar para se tornarem úteis em soluções de redes do futuro e também em outras áreas.

#### **1.2.1.1. Mobilidade**

A popularização dos dispositivos móveis equipados com *GPS* abriu espaço para estudos mais profundos e granulares da mobilidade humana. Isso favoreceu a disponibilidade de *traces* de usuários e também as redes sociais baseadas em localização, das quais podem ser extraídas informações de mobilidade [Silva et al., 2016]. Os primeiros trabalhos a estudar trajetórias individuais mostraram que a mobilidade humana não é randômica, mas sim apresenta regularidade espacial e temporal [Gonzalez et al., 2008]. Dito isso, pessoas tendem a frequentar os mesmos lugares com duração temporal similar e com certa regularidade. Tudo isso acontece devido às rotinas diárias do comportamento humano, tornando a mobilidade algo previsível. Por exemplo, um funcionário que trabalha no escritório de uma empresa seguirá uma rotina onde pela manhã num determinado horário se deslocará de casa para o trabalho (utilizando sempre o menor caminho possível ou o de menor duração por conta de elementos externos como tráfego). Durante a permanência no

**Tabela 1.1. Aspectos Multi-Dimensionais do Paradigma “Ciente do Humano”.**

Aspecto	Descrição	Exemplos
Contexto	Contexto lógico ou físico no qual um indivíduo está inserido. Ambiente, situações vividas, padrões de visita, preferências (aplicações, áreas geográficas, ferramentas, interfaces) e outros.	Padrões utilizados como entrada para recomendação e disseminação de propaganda ou serviços direcionados; Uso do contexto para melhorar algoritmos de previsão [Jeong et al. 2016], [Cuttone et al. 2018].
Interações	Estudo dos encontros físicos com outros indivíduos, incluindo regularidade, duração e similaridade.	Estimular a utilização de aplicações específicas, data offloading, encaminhamento de dados e implantação de novos tipos de redes sociais.
Laços Sociais	Extração de laços sociais e encontros em redes sociais online, incluindo regularidade, duração, similaridade e encontros físicos.	Modelos de confiabilidade baseados em relações sociais humanas.
Mobilidade	Informação contextual da mobilidade humana. Localização, similaridade, pontos de interesse, perfil de deslocamento, detecção de rotinas, regularidade, confinamento, e outros.	Estimular comunicação D2D; Alocação de recursos na borda da rede; Alocação de recursos em redes celulares para lidar com heterogeneidade e incertezas; Melhorar implantação de infraestrutura de rede.
Perfil de Tráfego	Tipo de conteúdo de interesse e quantidade de tráfego associados ao perfil. Inclui aplicações, sites e outros para oferecer recomendações e modelar o serviço de rede.	Sistemas de recomendação e disseminação de conteúdo gastando menos recursos de rede; Alocação de recursos em redes celulares para lidar com heterogeneidade e incertezas; Melhorar implantação de infraestrutura de rede.
Traços de Personalidade	Influência dos traços de personalidade no uso da rede, dos dispositivos e no contexto social. Identificação de ações e comportamento baseados na personalidade para previsões.	Uma pessoa aberta a experiências tende a colaborar com compartilhamentos e possui mobilidade dinâmica, facilitando previsões.
Outros	Outros aspectos ainda carecem de identificação. Informações e dados importantes podem estar escondidos em diferentes hábitos ou rotinas inerentes à vida humana.	A frequente atitude de compartilhar (opiniões, amigos, fotos, etc) já vem sendo explorada por redes sociais online e empresas como Airbnb, Uber, etc; Traços de caráter podem ser analisados por provedores de serviços para estimular compartilhamento.

trabalho, a mobilidade é restrita. Ao fim do expediente o indivíduo retorna para casa, geralmente seguindo o mesmo caminho (ou um conjunto reduzido deles). Eventuais paradas em estabelecimentos próximos de casa (ex: supermercado) são características do confinamento, onde a pessoa dá preferência a locais próximos. Esses deslocamentos podem ser esperados, assim como é possível prever com grande taxa de acerto que diariamente, num determinado período não haverá mobilidade já que o usuário estará em casa dormindo.

Um dos pilares do paradigma “ciente do humano” em redes móveis é justamente utilizar o conhecimento do perfil de deslocamento individual dos usuários para prever e modelar dinamicamente os serviços de rede a serem oferecidos a eles. Complementarmente, o perfil de mobilidade pode ser associado com outros aspectos que serão discutidos a seguir e que também influenciam na forma como as pessoas se deslocam. A associação dessas informações dará origem a conjuntos de dados valiosos e mais ricos dos que os já disponíveis nos últimos anos.

### 1.2.1.2. Interações

No contexto humano, o entendimento das interações físicas entre as pessoas pode alavancar uma série de serviços de rede e também novas aplicações e oportunidades de negócio. Por conta de aspectos diversos como o confinamento, movimentos repetidos, rotinas, personalidade, laços sociais, dentre outros, os humanos tendem a encontrar fisicamente (com uma certa repetição) determinados grupos de pessoas [Wang et al., 2009]. Isso se dá

por situações diversas, por exemplo ambiente de trabalho ou universidade em comum, ou por preferência de ambientes de lazer que são escolhidos de acordo com a personalidade individual.

No caso das interações, o estudo de aspectos como a regularidade, duração e similaridade são essenciais para arquiteturas de rede do futuro. Essas informações são úteis em diversas perspectivas do ponto de vista de rede, como para estimular comunicação D2D [Nunes et al., 2016], gerenciar recursos de rede, realizar *offloading* de dados [Chen e Yang, 2016], disseminar conteúdo direcionado a determinados grupos em comum, construir mecanismos de incentivo e reputação, dentre outros. Ao prever interações entre os usuários (e conseqüentemente entre os dispositivos que os mesmos carregam), recursos de redes móveis podem ser orquestrados mais eficientemente.

### 1.2.1.3. Traços de personalidade

Nos últimos anos, esforços de pesquisa estão sendo direcionados à um campo da psicologia capaz de trazer informações úteis às arquiteturas de redes móveis do futuro - o estudo dos traços de personalidade. O entendimento desses aspectos já vem sendo usado em outras áreas como redes sociais e aplicações móveis, sistemas de recomendação, interação humano-computador e processamento de vídeo. O modelo *Big Five* [McCrae e John, 1992], dividiu traços de personalidade humana em cinco dimensões: (i) Neuroticismo (*Neuroticism* ou Instabilidade Emocional): tendência a ser preocupado, vulnerável e temperamental; (ii) Extroversão (*Extraversion*): ser comunicativo, enérgico, afirmativo; (iii) Agradabilidade (*Agreeableness*): ser bondoso, afetivo, simpático, disposto a ajudar; (iv) Nível de Consciência (*Conscientiousness*): um indivíduo que gosta de fazer planos ao invés de ser espontâneo, organizado; (v) Abertura à Experiência (*Openness to Experience*): pessoa com interesses amplos, imaginativa.

Os traços de personalidade das pessoas estão ligados, dentre outros aspectos, aos seus gostos, hábitos e rotinas [Kopacz, 2005], tipos de ambientes favoritos, relações sociais, desempenho intelectual e profissional [Judge et al., 2006], expressões faciais comuns [Teijeiro-Mosquera et al., 2015], capacidade de lidar com emoções (ansiedade, stress, etc) [Orzeck e Lung, 2005], liderança ou passividade [De Hoogh et al., 2005], aspectos culturais [Favaretto et al., 2017] e até ao perfil de mobilidade e lugares que elas visitam [Courneya e Hellsten, 1998]. Por exemplo, uma pessoa extrovertida e aberta a experiências irá gostar de lugares mais movimentados e barulhentos como bares e restaurantes, terá a tendência de buscar novos ambientes e sair após o trabalho ou durante os finais de semana. Por outro lado, pessoas mais reservadas e introvertidas irão a locais mais acolhedores e calmos ou irão preferir permanecer em casa assistindo um filme.

O que podemos tirar dos traços de personalidade é a possibilidade de melhorar significativamente os serviços e tecnologias para cada tipo individual de personalidade, aumentando o grau de satisfação. Por exemplo, sugestões de novos amigos em redes sociais móveis baseadas na afinidade de personalidade e interesses, aplicativos de recomendação que sugerem lugares e experiências mais adequadas, dentre outros. Ao ligar traços de personalidade com perfis de mobilidade, uma grande variedade de informações sobre tendências ou rotinas de uma pessoa no contexto de rede pode ser alavancada. Pesqui-

sas na área de psicologia relacionam a personalidade a uma série de comportamentos que podem ser previstos, tanto individualmente como na interação social do indivíduo. Apresentaremos alguns exemplos e referências na Seção 1.7

#### **1.2.1.4. Perfil de tráfego**

Na visão das arquiteturas de redes, o perfil de tráfego dos usuários sempre foi relacionado com parâmetros e métricas de desempenho, tais como vazão (mínima/média/máxima), requisitos de atraso, taxas de *download* e *upload*, dentre outras. No entanto, o perfil de tráfego de um usuário de rede está ligado diretamente com características humanas [Oliveira et al., 2016, Chen et al., 2017a]. Dentre elas, os traços de personalidade (que pode determinar por exemplo aplicações, sites ou tipo de conteúdo favoritos), idade, gênero, contexto em que se encontram ou outros possíveis como o humor ou o quanto ele gosta de “compartilhar”. O correlacionamento entre aspectos humanos e o perfil de tráfego pode alavancar e auxiliar em desafios de rede, além de fomentar novas aplicações. Por exemplo, estímulo à disseminação de conteúdo baseada no conhecimento do perfil de tráfego em determinado ambiente.

#### **1.2.1.5. Laços sociais**

A disseminação dos dispositivos móveis e das redes sociais online favorecem o entendimento dos laços sociais humanos. Diversos estudos de outras áreas como sistemas de recomendação já tratam informações de redes sociais móveis (ex: informação de *check-in*) para prever deslocamento de usuários e recomendar pontos de interesse [Wagih et al., 2017]. No contexto de redes, a extração de informações dos encontros e laços sociais, incluindo regularidade, duração, similaridade e encontros físicos pode auxiliar em diversos desafios. Dentre eles, dimensionamento das redes e gerenciamento de recursos, estabelecimento de conexões baseadas na confiabilidade dos laços sociais, estimulação de comunicação *D2D* [Nunes et al., 2016], *data offloading* [Thilakarathna et al., 2017] protocolos de roteamento orientados aos encontros, dentre outros.

#### **1.2.1.6. Contexto**

Informações do contexto em que uma pessoa se encontra estão diretamente ligadas à forma como ela irá demandar recursos e que tipos de requisitos de redes irá precisar [Feki et al., 2016]. Dentre as informações que podem ser consideradas, estão o tipo de ambiente físico, o padrão de mobilidade ou tipo de deslocamento no momento e as preferências individuais (determinados pontos de interesse, ferramentas, aplicações, etc). O correlacionamento de informações de contexto com outras características do comportamento humano irá servir para prever como a rede deverá se comportar para oferecer melhor qualidade de experiência. Em áreas geográficas remotas por exemplo (na borda da rede), interações e compartilhamento podem ser encorajados. Um determinado tipo de atividade (ex: deslocamento em automóvel) pode ser previsto para moldar os requisitos da rede ou estimular comunicação *D2D* [Ren et al., 2015].

### 1.2.1.7. Outros

Acreditamos que outros aspectos do comportamento humano ainda poderão ser identificados e relacionados com a forma na qual os usuários interagem através de seus dispositivos móveis. Aspectos como humor, traços de caráter, desejo de compartilhar informações, dados sócio-demográficos, dentre outros podem representar fontes de dados a serem levadas em conta em diversas camadas de rede.

### 1.2.2. Aquisição e processamento de informações do contexto humano

Na seção anterior foram discutidos quais aspectos do comportamento humano podem ser úteis às arquiteturas e modelos de rede do futuro. A seguir, serão apresentadas as etapas (coleta, armazenamento/processamento, modelagem, extração de conhecimento, análise e validação) que esses dados precisam passar até se tornarem úteis nesse contexto. A Figura 1.3 resume os passos necessários que são discutidos detalhadamente a seguir.

Primeiramente, é necessária a aquisição dos dados do contexto e comportamento do usuário. As fontes (discutidas detalhadamente na Seção 1.5) são variadas e incluem redes sociais online, formulários de pesquisa e sensores de dispositivos como *smartphones*. Aplicações, APIs específicas ou *crawlers* são os métodos mais comuns para coletar dados nesse cenário. No caso das APIs, as informações podem ser coletadas quase em tempo real ou através de requisições (sob-demanda). Redes sociais como *Facebook*, *Twitter* e *Foursquare* disponibilizam APIs [fac, 2018] para o desenvolvimento de aplicações que podem acessar dados compartilhados pelos seus usuários. Já quando não há um meio pré-definido (como no caso das APIs) para requisitar os dados, são utilizados *crawlers* capazes de minerar informações de interesse de páginas web (ex: analisando tags HTML ou XML [Almendros-Jiménez e Becerra-Terón, 2015]). Outros métodos são possíveis, como o do *OpenStreetMap*, onde os dados são selecionados através de uma interface web e baixados num arquivo *zip* contendo as coordenadas. Já no caso de dados relativos aos traços de personalidade, o formulário do *Big Five* [Goldberg, 1999] desenvolvido por psicólogos é bastante utilizado.



**Figura 1.3. Etapas pelas quais os dados do contexto e comportamento humano precisam passar para serem utilizados posteriormente em soluções de redes do futuro e também em outras áreas.**

Sequencial à aquisição, os dados precisam ser processados (em alguns casos, enriquecidos) e armazenados. Dada a potencial grande quantidade de informação gerada, plataformas de armazenamento seguras, escaláveis e tolerante a falhas devem ser utilizadas. Esse é um dos pontos críticos, já que envolve a privacidade dos usuários e também é preciso ser capaz de lidar com múltiplas requisições de sistemas baseados nesse produto.

A depender dos tipos de dados (publicações em redes sociais, coordenadas geográficas obtidas por *GPS*, tomadas de decisão, etc), associações e agrupamento entre eles poderão ser necessários para que informações mais ricas sejam disponibilizadas. De forma complementar, em alguns casos, os dados apresentam lacunas, erros semânticos e inconsistência. Portanto, talvez seja necessário tratar as falhas, normalizar e preencher informações ausentes. Por fim, como os dados representam um agregado de diversas dimensões e tipos heterogêneos, antes da análise, as características desejadas precisam ser selecionadas.

Finalizando a etapa de gerenciamento dos dados (representada pelas 3 primeiras sub-etapas da Figura 1.3), é necessária a modelagem num formato onde possam ser extraídas informações espaço-temporais ou da relação entre componentes heterogêneos desses dados. No caso da modelagem de comportamento espaço-temporal humano relacionados com contexto ou interações (ex: laços sociais), os grafos são o método mais utilizado [Das et al., 2017]. Nesse caso, os vértices representam usuários numa rede ou lugares que eles visitaram, enquanto as arestas conectam os vértices na ocorrência de encontros ou quando lugares são visitados sequencialmente. Séries temporais de pontos ordenados cronologicamente ou trajetórias espaço-temporais também são exemplos de modelagem. Por exemplo, um perfil de mobilidade com coordenadas geográficas modelado como um conjunto de trajetórias espaço-temporais representando o deslocamento de um indivíduo.

Após a modelagem e anterior à validação (produto final), é necessário extrair conhecimento e analisar os dados. Essas etapas são essenciais para obter uma melhor visão das informações disponíveis. Na extração de conhecimento são avaliadas as propriedades dos dados e que tipos de problemas podem ser tratados. Isso é essencial para que as técnicas de análise e identificação de padrões sejam escolhidas propriamente. Dentre elas, podemos citar mineração de dados e análise estatística ou visual. Quando se trata de informações do contexto e comportamento humano (ou seja, informações espaço-temporais diversas), há diversos desafios na associação dos dados [Quintero et al., 2016]. Descobrir relação e associação entre conjuntos heterogêneos de dados, detectar objetos anormais e classificá-los não são tarefas triviais. Na extração de conhecimento, técnicas de aprendizado de máquina podem ser utilizadas. Citando um exemplo de redes sociais online, textos de publicações de usuários podem ser relacionados com seus traços de personalidade ou emoções para prover um conjunto de dados valioso para arquiteturas de redes móveis [Alsadhan e Skillicorn, 2017]. Para isso, são necessárias técnicas de mineração de dados textuais e processamento de linguagem. Conforme mostrado na Figura 1.3, a extração de conhecimento e análise podem ser repetidas até a validação. Com isso, surgem adaptações, novas ideias sobre os dados e também identificação de erros.

Por fim, a validação dos dados é realizada cruzando as informações obtidas com o que é chamado de *ground truth*, que podem ser dados oficiais obtidos tradicionalmente ou *traces* detalhados com informações mais precisas que permitam validar uma estratégia. Estatísticas oficiais ou pesquisas com baixa margem de erro [Pentland, 2012] são um exemplo de *ground truth*. Em alguns casos, a depender do tipo de informação presente no conjunto final gerado, esses dados oficiais não estarão disponíveis. Com isso, são necessários experimentos, simulação ou emulação em diversos cenários de condições variáveis para que a validação seja feita. Com o produto final da validação, espera-se o desenvolvimento “ciente do humano” de serviços, arquiteturas, aplicações, tecnologias

relacionadas, dentre outros.

### 1.3. Redes móveis e o papel da comunicação “ciente do humano”

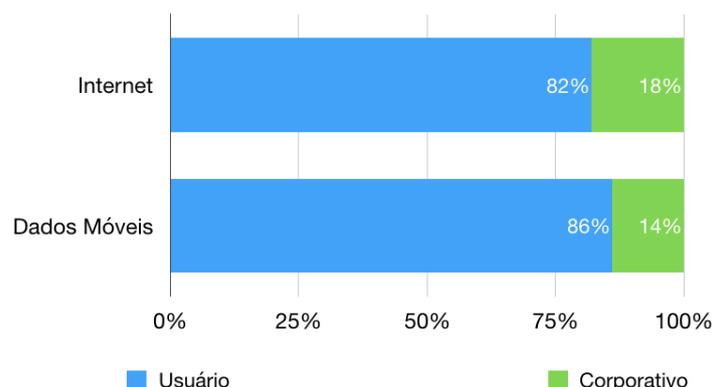
Nessa seção, o paradigma “ciente do humano” é relacionado com tipos de comunicação fundamentais na evolução das redes móveis como *Mesh*, *MANETs*, *DTNs* e Redes Centradas no Usuário. Ademais, desafios tradicionais nesse contexto são abordados sob o ponto de vista “ciente do humano”. Completando a seção, o paradigma foco do minicurso é discutido diante de conceitos, tecnologias e modelos de comunicação de redes móveis, dentre eles *5G*, *IoT* e Redes Veiculares.

#### 1.3.1. O paradigma “ciente do humano” e tipos de comunicação

Em redes móveis, diversos tipos de comunicação como Redes *Mesh*, *MANETs*, Redes Tolerantes ao Atraso (*DTNs*), Redes Oportunísticas, Dispositivo-a-Dispositivo (*D2D*) e Redes Centradas no Usuário foram apresentados ao longo dos anos [Conti et al., 2015, Aldini e Bogliolo, 2016, Akyildiz et al., 2016]. As principais motivações, foram a redução de sobrecarga nas redes, aumento de capilaridade, melhor reuso do espectro, fomento de novos tipos de aplicações, e atuação em cenários específicos (ex: desastres, na borda da rede ou alta densidade de nós). Cada proposta contribuiu com ideias relevantes e evolucionárias, no entanto, houveram dificuldades na adoção, disseminação e implementação, sobretudo por parte da indústria [Haus et al., 2017]. Em alguns casos, isso aconteceu por complicações com segurança e privacidade, falta de alternativas de código aberto, ausência de incentivos específicos e de modelos de negócio bem definidos, ou por estarem distantes da expectativa dos usuários.

Por exemplo, as redes *ad hoc* que surgiram há cerca de 30 anos não foram utilizadas massivamente. Isso se deu por falta de incentivos claros tanto aos usuários como organizações para que elas fossem criadas. Com isso, modelos mais simplificados, como as redes *MESH*, surgiram [Aldini e Bogliolo, 2016]. Porém, da mesma forma, a falta de uma percepção clara sobre os incentivos sociais, econômicos e técnicos não sugeriram como a adoção das redes *MESH* poderia prosseguir. No caso da comunicação centrada nos usuários, requisitos dos mesmos passaram a ser uma preocupação, mas as discussões seguiram focadas em atributos de rede [Aldini e Bogliolo, 2016]. Aspectos de mobilidade ou das interações sociais (característicos do comportamento humano) foram utilizados, porém mais no contexto de distribuição de credenciais de acesso ou de mecanismos de *handover*. Esse cenário promete mudar com a disseminação dos dispositivos móveis e com a percepção das soluções passando a considerar outros fatores além da perspectiva de rede, geralmente focada no desempenho.

Nos dias de hoje, os usuários finais se conectam à internet por uma variedade de métodos de acesso. Geralmente, o segmento final (última milha) é provido por tecnologias de curto alcance (ex: *WiFi*), cada vez mais utilizadas nos dispositivos móveis. De acordo com a Cisco [cis, 2017b], até 2021 haverá cerca de 5.5 bilhões (71% da população mundial) de usuários de dispositivos móveis, sendo *smartphones* mais de 50% do número global. A Figura 1.4 prova a representatividade individual dos usuários, dada previsão que num futuro próximo os mesmos irão gerar e consumir cerca de 4 vezes mais tráfego que corporações e governo. Com o surgimento de novos paradigmas como as



**Figura 1.4. Panorama geral de tráfego previsto até o fim de 2021 evidenciando a representatividade do usuário na Internet. Dados provenientes de [cis, 2017b]**

Redes Definidas por Software, e o *WiFi Direct*, essa crescente população de usuários de dispositivos móveis poderá alavancar a adoção massiva de tipos de comunicação como o *D2D* e favorecer aplicações como veículos autônomos. Simultaneamente, será possível atacar problemas antigos como a sobrecarga nas redes móveis, alcançar objetivos de tipos de comunicação anteriores e fomentar o surgimento de aplicações e redes sociais baseadas na interação direta entre dispositivos [Pambudi et al., 2017]. Ressaltamos que um dos pontos-chave para que isso ocorra é o estudo do comportamento humano e a incorporação de aspectos do mesmo nas soluções para redes móveis do futuro.

Não é novidade que as redes móveis disponíveis hoje foram criadas para atender as pessoas. No entanto, nem sempre percebemos que os anseios desses indivíduos foram levados em conta na arquitetura da rede. Quando se trata de tipos de comunicação, o sucesso de modelos atuais ou futuros dependerá diretamente da personalização dinâmica do serviço, ou seja, ele deve ser capaz de se adaptar ao perfil do usuário (humano) para melhor atendê-lo. Dito isso, a noção que o paradigma “ciente do humano” traz é que *as redes (através de suas soluções) deverão levar em conta aspectos dos usuários (humanos) em diversas camadas do modelo OSI*. Os tipos de comunicação do futuro deverão usar técnicas de predição do comportamento e rotinas do usuário para garantir uma melhor qualidade de experiência. Avanços nessa questão do humano por trás do dispositivo não apenas beneficiam os usuários (através de uma melhor experiência) mas também os provedores, já que a satisfação com o serviço atrai mais consumidores.

Nos trabalhos de pesquisa com propostas relativas aos tipos de comunicação (mais antigos ou recentes) em redes móveis, os desafios identificados se repetem em muitos casos [Aldini e Bogliolo, 2016]. A seguir, relacionamos desafios identificados nesse contexto com aspectos do paradigma “ciente do humano” e mostramos como os mesmos podem auxiliar no sucesso desses tipos de comunicação.

- **Eficiência Energética** - Apesar da coleta de informação, do processamento e da capacidade de comunicação e armazenamento dos dispositivos móveis vir melhorando ao longo dos anos, ainda faltam estudos para que tais atividades sejam realizadas levando em conta o baixo consumo [Masucci et al., 2017]. A eficiência energética em tipos de comunicação baseados na participação do usuário está di-

retamente ligada a tarefas que consomem muito recursos. Dentre elas, a coleta de informação de mobilidade, o encaminhamento e armazenamento de mensagens, o *lookup* de outros dispositivos e redes, e o roteamento (muitas vezes adaptado de algoritmos de redes convencionais). Em todos os casos, informações do contexto humano podem ser úteis para prever situações e otimizar o consumo de energia. Por exemplo, utilizando o conhecimento da dinâmica de encontros de um usuário para encaminhar as mensagens a outros dispositivos que tenham mais chance de levá-las ao destino final (reduzindo o *overhead* na rede). Já o *lookup* pode ser realizado em momentos específicos, ao identificar mobilidade do usuário, prevenindo que o mesmo irá em breve necessitar de *handover*. A coleta de informações de mobilidade de usuários pode também ser reduzida com a identificação de hábitos rotineiros dos mesmos, reduzindo a frequência de amostragem do *GPS*, que tende a drenar rapidamente a bateria de um dispositivo móvel [Katsikouli et al., 2017].

- Mecanismos de Incentivo e Reputação - Um dos grandes desafios em tipos de comunicação baseados na participação do usuário são os mecanismos de incentivo e reputação [Aldini e Bogliolo, 2016]. Nesse cenário, cada indivíduo possui um dispositivo com recursos limitados, dentre eles banda, bateria e memória. Por conta dessas limitações, a colaboração precisa ser estimulada de alguma forma, já que o sucesso desses tipos de comunicação é diretamente proporcional à adesão de usuários. Trabalhos anteriores como [Mantas et al., 2017] resumem benefícios propostos como os financeiros e de reciprocidade. No entanto, os incentivos podem funcionar de forma mais natural “imitando” o comportamento social e humano. Efetivamente sabemos que humanos tendem a cooperar uns com os outros quando há algo em comum. Por exemplo, as interações sociais e a dinâmica de encontros podem ser utilizadas para criar mecanismos de incentivo entre usuários que naturalmente compartilhem similaridades no seu dia-a-dia. O mesmo vale para sistemas de reputação, já que usuários que possuem características em comum tendem a não agir de forma gananciosa com os seus semelhantes (no mundo *P2P*, os conhecidos *leechers*).
- Mobilidade - Como o alcance das redes sem fio depende de fatores como obstáculos, potência dos transmissores e também de interferências externas, em redes móveis a mobilidade é um ponto chave a ser considerado. Em trabalhos anteriores, a mobilidade foi estudada e associada com tarefas orientadas à rede, como *handover* [Zang et al., 2017] e eleição de nós provedores. No entanto, a mobilidade no contexto humano é uma característica que tende a seguir rotinas e também ser associada a uma dinâmica de encontros [Gonzalez et al., 2008, Oliveira et al., 2016]. Essas informações podem ser utilizadas para prever requisitos de rede e oferecer melhor qualidade de experiência. Por exemplo, ao prever o caminho no qual um determinado usuário irá seguir num horário, a rede pode alocar dinamicamente os recursos necessários [Oliveira e Viana, 2014].
- Roteamento - Em tipos de comunicação de redes móveis, o roteamento é um dos tópicos que mais possui contribuições. Mais recentemente, estratégias de roteamento estão se aproximando do comportamento humano, sobretudo no que diz respeito ao estudo de mobilidade [Altahrawi et al., 2017]. Características e informações

da rotina dos usuários podem ser exploradas para otimizar a taxa de entrega de mensagens e diminuir o *overhead* da rede [Nunes et al., 2016]. Por exemplo, roteamento baseado nos interesses do usuário e realizado de forma oportunística para alguns tipos de aplicações.

- **Segurança, Privacidade e Confiabilidade** - A rotatividade de usuários conectados à uma rede móvel e a grande quantidade de informação que trafega por ela também traz desafios relativos à segurança e privacidade dos dados dos usuários. Mecanismos de autenticação e autorização para garantir que indivíduos mal intencionados não interfiram também precisam ser desenvolvidos nesse sentido [Aldini e Bogliolo, 2016]. No caso do gerenciamento de confiabilidade, a noção de interações em redes sociais móveis já vem sendo utilizada [Wang et al., 2018]. Redes e círculos de confiança podem ser formados oportunisticamente a partir de encontros de grupos de pessoas com interesse comum, como estudantes numa sala de aula por exemplo. A confiabilidade pode ser propagada de forma direta ou indireta entre os usuários. Tudo isso deve ser feito se preocupando com a privacidade dos usuários, evitando que suas informações pessoais sejam utilizadas maliciosamente.
- **Gerenciamento de Recursos** - O gerenciamento e alocação de recursos em redes móveis também pode ser favorecido pelo conhecimento de padrões e rotinas do comportamento humano aliado a tecnologias como SDN e NFV. Por exemplo, um estudo de frequência de usuários num determinado ponto de interesse em espaços temporais distintos fornece dados úteis para gerência dinâmica de recursos [Oliveira e Viana, 2014]. Dados de status do dispositivo do usuário como tempo de bateria, largura de banda disponível ou qualidade do sinal também podem ser obtidas ou previstas para auxiliar em decisões nesse contexto. Em [Ning et al., 2016], os autores consideram laços sociais dos usuários para melhorar a conectividade, serviço e qualidade de experiência, gerenciando recursos com SDN.

### 1.3.2. Conceitos e redes móveis

Essa seção discute a comunicação “ciente do humano” diante de conceitos, tecnologias e modelos de comunicação de redes móveis. São eles: *5G*, *IoT*, Redes Veiculares, Redes Ultra-Densas e Redes Centradas na Informação.

#### 1.3.2.1. 5G

O *5G*, a próxima geração de redes móveis surgiu com a premissa de prover acesso a um número crescente de usuários num cenário atual de sobrecarga e limitações. Os desafios vão desde alocação de espectro (reutilização mais eficiente e alocação de novo espectro) à oferecer suporte a novas aplicações e tipos de dispositivos.

Em [Akyildiz et al., 2016], os autores relacionam dez tecnologias facilitadoras para que objetivos do *5G* sejam alcançados, mantendo ainda compatibilidade com gerações anteriores. São elas: (i) Redes Móveis Definidas por Software (*WSDN*); (ii) Virtualização de Funções de Rede (*NFV*); (iii) Comunicação em Espectro de Altas Frequência (*Millimeter Wave Communications*); (iv) *MIMOs* (*Multiple Input Multiple Output*) Simultâneos

(utilização de *streamings* de dados simultâneos para alcançar maiores taxas de transmissão); (v) Ultra-densificação; (vi) Computação Móvel em Nuvem; (vii) Internet das Coisas; (viii) Comunicação Dispositivo-a-Dispositivo (*D2D*); (ix) Comunicação Verde (sustentável) e (x) Técnicas de *Radio-Access*. A intuição é que no futuro (tanto no 5G como no 6G), informações do contexto e comportamento humano sejam combinadas com tecnologias como as citadas para chegarmos mais próximos da especificação, evitando soluções sub-ótimas como no LTE [Lauridsen et al., 2017]. No caso do 5G, na Figura 1.5 são resumidos alguns dos requisitos potencialmente possíveis de atingir com soluções “ciente do humano”. A seguir são discutidos quais aspectos do comportamento humano podem ser aproveitados nesse contexto e como.

No 5G, espera-se uma redução de consumo energético na ordem de 1000 vezes por bit transmitido [Akyildiz et al., 2016]. Essa meta está relacionada não apenas com as limitações de bateria de dispositivos tradicionais, mas outros ainda mais restritos como sensores de *IoT*. Nesse sentido, por exemplo, o “ciente do humano” pode ser estudado para favorecer comunicação dispositivo-a-dispositivo com gerência de recursos mais eficiente. Além de consumir menos energia (já que as conexões são de curto alcance), com o *D2D* também é possível atingir maiores taxas de transmissão (requisito do 5G). De fato o *D2D* já vem sendo utilizado em *IoT*, *V2V* e dispositivos vestíveis [Kozioł et al., 2017]. O *D2D* ciente do humano ainda é capaz de influenciar na diminuição da latência (requisito do 5G), dos atuais *15ms* para cerca de *1ms* e melhorar a conectividade de usuários na borda da rede (requisito do 5G) [Akyildiz et al., 2016]. Nesse caso, ideias de compartilhamento de conexão propostas em redes centradas no usuário são úteis, favorecendo o aumento da capilaridade na borda. Além das intuições citadas, o *D2D* “ciente do humano” é capaz de estimular melhor reuso do espectro. Já que as conexões nesse contexto possuem alcance reduzido, há um ganho (diminuição) também no número de saltos. A disseminação da comunicação dispositivo-a-dispositivo é útil em cenários diferentes como *offloading* de dados, mas também fomenta novas aplicações em arquiteturas de redes do futuro. O

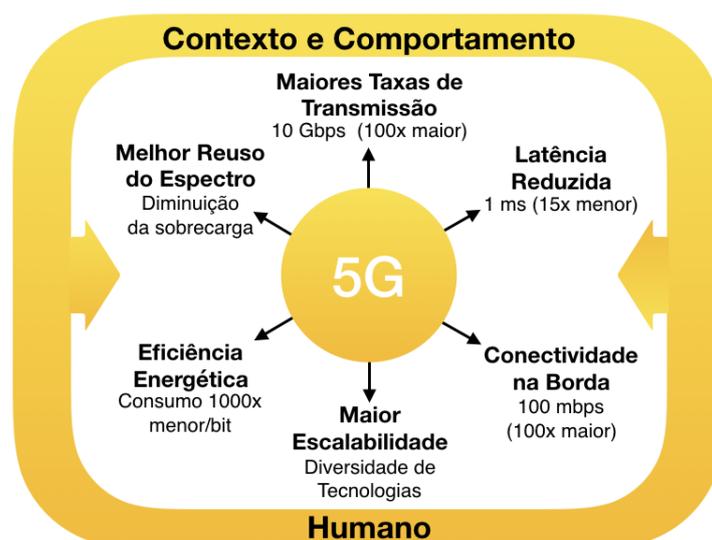


Figura 1.5. Requisitos do 5G que podem ter soluções favorecidas pelo conhecimento de informações do Contexto Humano combinadas com tecnologias de redes móveis do futuro.

cenário do 5G é de uma crescente quantidade de dispositivos (com requisitos diferentes) sendo conectados à rede, da qual espera-se também uma maior escalabilidade. *IoT*, Redes Veiculares, Veículos Autônomos, dentre outras tecnologias, trazem desafios que irão demandar modificações nas camadas de rede [Akyildiz et al., 2016]. Por exemplo, na camada física, utilização de informações do perfil de tráfego do usuário e do contexto (ex: tipo de ambiente em que ele se encontra) para melhor aproveitamento do espectro. Nesse caso surgem mecanismos de transmissão de dados e sinalização “cientes do humano” mais eficientes, já que os recursos são melhores orquestrados à medida em que se conhece o usuário (e as suas intenções) do serviço. Nas camadas de rede e de transporte, algoritmos de roteamento levando em conta aspectos como mobilidade, traços de personalidade e outros podem oferecer melhor taxa de entrega e menor *overhead*. Para usuários em deslocamento, o histórico de mobilidade fornece dados para prever situações como de *handover* ao longo de rotas prováveis, onde recursos devem ser reservados.

Em termos de gerenciamento, apesar do SDN já ser uma tecnologia um pouco mais consolidada, o WSDN ainda requer muitos avanços [Akyildiz et al., 2016]. No mesmo trabalho citado anteriormente, os autores reforçam a necessidade de um *framework* de gerenciamento capaz de gerenciar a mobilidade, interação entre protocolos e tecnologias e garantir *QoS* e serviços móveis. Nesse caso, uma intuição é que aspectos humanos relacionados às interações sociais ou relações de confiança no contexto social servem como parâmetro para garantir qualidade de serviço e experiência.

### 1.3.2.2. Internet das coisas (IoT)

Do ponto de vista de redes de computadores, há uma série de desafios a serem solucionados relativos à implementação de serviços de dados para *IoT* (do inglês *Internet of Things*) [Tayeb et al., 2017, Hejazi et al., 2018]. Uma das premissas desses serviços é que eles estejam disponíveis sob-demanda aos seus usuários, em qualquer momento e independente da localização. A *IoT* tem uma forte ligação com aspectos do comportamento humano, já que em muitos casos, sensores de *IoT* são utilizados para obter informações de contexto. Por esse motivo, é natural que o paradigma “ciente do humano” em redes seja útil para modelar os serviços de comunicações que atendem aos objetivos de uma infraestrutura de *IoT*. Nesse caso, o “ciente do humano” além de ser útil na perspectiva de serviços de rede, é capaz de auxiliar a modelagem de soluções de *IoT* que englobem dados sensoriais do contexto e/ou comportamento de um indivíduo.

De acordo com [Barnaghi e Sheth, 2016], num futuro próximo, a *IoT* funcionará como uma extensão das redes atuais. Cada objeto irá interagir através de uma infraestrutura de rede e interoperar com serviços de dados e comunicações, recursos disponíveis e outros objetos. Dessa forma, a grande quantidade de dados gerados e de novos dispositivos conectados causará impactos nas redes. A análise dos dados e a resposta aos eventos em muitos casos precisará ser em tempo real. Com isso, redes eficientes, sensíveis ao contexto e de alta velocidade são essenciais para o futuro da *IoT*.

As arquiteturas de rede que servem à *IoT* são heterogêneas e incluem modelos como o *WiFi*, Redes *Mesh*, Comunicação Dispositivo-a-Dispositivo, Redes Móveis (3G/4G/5G) e Redes de Sensores. Na literatura, alguns trabalhos estudam propostas de

protocolo de roteamento específicos para *IoT*. Em [Qiu et al., 2018], os autores apresentam uma arquitetura de *IoT* baseada em camadas. A camada de rede serve para a comunicação entre os sensores (ex: som, temperatura, movimento) e também para transferir os dados coletados à uma camada superior de computação em nuvem. Ainda na camada de rede, modelos de topologia são criados para encaminhar os dados, como por exemplo através de um nó *relay* central. Nesse contexto, surgem os desafios de redes, muitos presentes em outros cenários. Dentre eles, a eficiência energética, maximização da vazão dos dados e segurança contra ataques maliciosos. Espera-se que esses tipos de comunicação citados sirvam não apenas para ligar dispositivos individuais dos usuários, mas também favoreça a comunicação M2M (machine-to-machine) [Qiu et al., 2018]. O paradigma “ciente do humano” é capaz de alavancar a *IoT* utilizando dados em alguns casos produzidos pelos próprios sensores para favorecer tipos de comunicação (*D2D*, *V2X*, etc). O estudo do perfil de mobilidade e rotinas de usuários presentes nas proximidades serve para eleição de quais nós tem maior potencial de encaminhar dados dos sensores (ou de um nó *relay* que reúne as informações dos sensores) de *IoT* até a nuvem. Já existem trabalhos relacionados a tipos de comunicação ou agendamento de recursos que levam em conta o contexto social, mobilidade e outras informações [Wang et al., 2017, Name et al., 2017].

Aspectos humanos como os laços sociais (extraídos por exemplo das redes sociais *online*) servem para o estabelecimento de relações de confiança e como métrica de qualidade de serviço na comunicação e composição de dados oriundos de sensores de usuários diferentes. O estudo da rotina individual pode ser utilizado para prever os melhores momentos para capturar e/ou compartilhar dados de determinados sensores, mantendo-os em modo de espera em certas janelas de tempo, favorecendo a eficiência energética. Outro exemplo inclui situações de perigo, identificadas a partir de sensores de *IoT* coletando dados do contexto humano que servem como base para estimular comunicação oportunística na falha da infraestrutura principal de rede.

De acordo com os exemplos citados, concluímos que a aproximação do paradigma “ciente do humano” da *IoT* favorece não apenas uma nova perspectiva de redes, mas alavancará soluções que auxiliarão no dia-a-dia das pessoas num futuro próximo.

### 1.3.2.3. Redes veiculares (VANETs)

Com as Redes Veiculares (*VANETs*), uma série de aplicações para maior eficiência no tráfego, segurança dos passageiros, assistência ao motorista, dentre outras, estão sendo incorporadas em veículos modernos. Informações em tempo-real sobre congestionamentos, perigo e acidentes na rota, condições climáticas e sugestão de pontos de interesse prometem revolucionar os transportes urbanos.

As *VANETs* são consideradas como um caso especial de *MANETs*, onde veículos com dispositivos de comunicação e processamento de dados podem criar redes oportunísticas e espontâneas enquanto se movem. O padrão de comunicação *C-V2X* (*Cellular Vehicle to Everything*) vem emergindo com grande potencial e permite que usuários em deslocamento por estradas se comuniquem através de padrões como o *LTE* e futuramente *5G* [MacHardy et al., 2018]. Através de informações sensoriais (ex: condições climáticas

e da estrada, estado do veículo), os veículos serão capazes de ajudar seus motoristas a tomar decisões. Na Figura 1.6, são ilustradas visões de como dados do paradigma “ciente do humano” podem favorecer a tecnologia V2X.

Apesar da dinâmica dessas redes, alguns aspectos são recorrentes e ligados ao comportamento ou contexto individual dos seus usuários. A mobilidade por exemplo é constante, porém restrita, pois os veículos se restringem a trafegar por estradas ou ruas específicas e são submetidos a certas condições como tráfego, sinais, locais de travessia de pedestres. etc. Sendo assim, com o estudo do padrão de mobilidade de um usuário, é possível prever posições futuras em que o veículo irá se encontrar e até prever situações de *handover*. A dinâmica de encontros, apesar de possuir grande rotatividade de nós, pode ser útil para identificar grupos que estão seguindo uma determinada rota e que são capazes de interagir entre eles para formar redes oportunísticas e compartilhar dados. Na



**Figura 1.6. Dados do comportamento humano que podem ser extraídos no cenário de Redes Veiculares V2X e que servirão para prever situações, favorecer interações, gerenciar recursos, criar mecanismos de incentivo, estabelecer confiabilidade, dentre outros.**

camada de rede, os protocolos de roteamento devem implementar estratégias para prover comunicação constante. Esses protocolos dependem diretamente de fatores como mobilidade, tráfego de dados e também os formatos das estradas. A análise da mobilidade de usuários pode ajudar a identificar pontos comuns de troca de tráfego e dados, na intersecção de estradas por exemplo. No futuro, espera-se que outros sensores sejam incorporados a dispositivos do usuário, incluindo monitores de saúde. Alarmes sobre o estado de saúde do indivíduo podem sugerir mudanças de rotas (direcionamento a um hospital no caso de um veículo autônomo) ou a interrupção do veículo em caso de risco temporário.

#### 1.3.2.4. Redes ultra-densas

De acordo com [López-Pérez et al., 2015], de 1950 a 2000, o desempenho das redes móveis aumentaram 25 vezes por conta da implementação de frequências de espectro mais largas, 10 vezes devido a avanços em técnicas de modulação e codificação e 2700 vezes por causa da diminuição dos tamanhos das células e conseqüentemente da distância de comunicação entre os pares. Dessa forma, a implantação das redes móveis tem migrado das tradicionais macro-células, para redes híbridas heterogêneas, onde além das macro-

células, células menores são densamente distribuídas na área de cobertura - as chamadas Redes Ultra-Densas (do inglês *Ultra-Dense Networks - UDNs*). Uma Rede ultra-densa é formada pelos seguintes componentes: (i) Pequenas células implantadas em grande densidade; (ii) Macro Estações-base; (iii) Nós-móveis (que podem ser de redes veiculares por exemplo); (iv) Controle da rede (potencialmente através de *SDN*) e (v) Dispositivos dos usuários finais.

As Redes Ultra-Densas são essenciais às próximas gerações de redes móveis como o *5G* e *6G*. Associadas com o paradigma “ciente do humano”, diversas soluções e requisitos podem ser alcançados. De acordo com [Yu et al., 2016], os principais desafios das Redes Ultra-Densas são: (i) Controle de Interferência; (ii) Mobilidade e (iii) Gerenciamento de Recursos (incluindo questões energéticas). A mobilidade em *UDNs* é estudada do ponto de vista de rede, no caso da seleção/re-seleção de uma estação-base (*handover/handoff*). A análise de mobilidade de indivíduos pode servir para prever situações de *handover/handoff* e também auxiliar na alocação de recursos de rede. Já na borda da rede, a comunicação *D2D multi-hop* “ciente do humano” pode aumentar a capilaridade, garantir o encaminhamento das mensagens e auxiliar no *offloading* de dados. Outros aspectos como a concentração de pessoas em janelas de tempo e espaço físico similares, a dinâmica de encontros e o contexto, podem ser usados para otimização no posicionamento das micro-células e para prever necessidade de alocação de recursos em grandes concentrações de pessoas. A redução do congestionamento das macro-células também pode ser feita através de técnicas de *offloading* de dados baseada na comunicação *D2D* “ciente do humano”. Ainda de acordo com [Yu et al., 2016], a maior parte do consumo nas redes móveis de celulares é relativo às estações-base (cerca de 60% a 80%). A regularidade e os padrões de uso dos usuários podem ser estudados para o dimensionamento dinâmico de capacidade das estações-base, assim como já se faz em data-centers, aumentando a eficiência energética [Araújo et al., 2017].

### **1.3.2.5. Redes centradas na informação**

Arquiteturas de Redes Centradas na Informação (do inglês, *Information-Centric Networking – ICN*) são baseadas num modelo de consumo/requisição centralizado no detentor do conteúdo e encaminhamento baseado em nomes. As *ICNs* oferecem suporte nativo à mobilidade, segurança ao nível do conteúdo, comunicação não orientada à conexão e realização de *caching* na camada de rede [Jacobson et al., 2009, Xylomenos et al., 2014, Zhang et al., 2014]. Por conta dessas características, informações do comportamento humano oferecem novas possibilidades para a oferta de um melhor serviço de rede em *ICNs* a partir: (i) da identificação de padrões de comportamento de produtores de conteúdo, buscando minimizar efeitos do *handoff*; (ii) do uso de políticas de cache de acordo com contexto dos usuários; (iii) da escolha de localização de cache a partir das suas rotinas diárias. Cada uma dessas possibilidades são discutidas a seguir.

Alguns dos desafios de mobilidade em *ICN* estão ligados ao deslocamento dos nós consumidores e também ao *handoff* de produtores, que podem acarretar dentre outros problemas, na indisponibilidade de conteúdo [Lehmann et al., 2016, Araújo e Sampaio, 2017]. Trabalhos como [Lehmann et al., 2016, Farahat e Hassanein, 2016, Ge et al., 2016]

buscam resolver o problema da mobilidade de produtores à partir da alteração da característica reativa da rede, enquanto outras iniciativas buscam a cooperação dos nós na borda da rede [Panwar et al., 2017, Rehman e Kim, 2017, Hahm et al., 2017]. Por outro lado, esse problema pode ser mitigado a partir de um modelo de ICN em que dados do comportamento humano sejam utilizados para prever o deslocamento do produtor. Com isso, seria possível implementar técnicas de armazenamento oportunista na rede e priorizar o armazenamento e manutenção no domínio daqueles conteúdos do produtor móvel, a partir de uma política de *cache* específica.

Em estratégias como [Chen e Kountouris, 2015, Hajri e Assaad, 2016] é sugerida a adoção de *ICN* em redes celulares, buscando manter os conteúdos mais populares em estações-base na borda da rede e agrupando usuários com interesses similares. Apesar dos ganhos nas taxas de acerto com a adoção de grupos de usuários afins, as mesmas políticas de *cache* são adotadas, independentemente do padrão de requisição dos usuários. O desempenho nesse cenário pode variar a depender do perfil dos usuários de demanda por conteúdo [Ioannou e Weber, 2016]. Ou seja, padrões de comportamento do humano podem auxiliar as propostas na escolha das políticas de *cache* mais apropriadas para atender agrupamentos e, assim, aumentar a taxa de acerto de conteúdo em geral.

A localização dos *caches* numa topologia de rede também pode influenciar consideravelmente a taxa de acerto e, conseqüentemente, a qualidade do serviço de rede oferecida. Diversos trabalhos na literatura têm explorado informações de rotinas diárias dos usuários para prever por onde os mesmos devem passar e, assim, disponibilizar conteúdos em locais estratégicos visando aumentar a taxa de acerto. Nesta mesma linha, propostas são apresentadas em cenários de redes veiculares, implementando *caches* proativos em locais estratégicos da rede tendo, visando distribuição de conteúdos [da Silva et al., 2016]. Os maiores desafios para tais propostas é que dados de monitoramento e análise de tráfego não são suficientes para tomada de decisão sobre localização ótima de *caches* e de réplicas de conteúdos em cenários nos quais *caches* são armazenados na rede (i.e., *on-path caching*). Em cenários de mobilidade fortemente caracterizados por ambientes altamente dinâmicos, esse problema torna-se ainda mais evidente. Por tais motivos, é necessário o uso de informações contextuais de curto prazo, envolvendo não somente disponibilidade de nós e popularidade do conteúdo, mas também outras relacionadas ao hábitos e rotinas dos usuários.

## **1.4. Modelos e soluções**

A seguir, são apresentados modelos e soluções em redes móveis relacionados a *offloading* de dados, redes sociais *online*, segurança e privacidade. Nesse contexto, aspectos do comportamento humano são relacionados com trabalhos propostos nos últimos anos nessas áreas, reforçando a progressiva presença do “ciente do humano” nas soluções.

### **1.4.1. Descarregamento (offloading) de dados**

Conforme discutido na Seção 1.1, o aumento de tráfego nas redes móveis é um grande desafio para as operadoras que nem sempre estão preparadas para enfrentar a demanda. O descarregamento de dados (do inglês *data offloading*) surgiu como uma das formas de enfrentar esse panorama. Em [Zhou et al., 2018], os autores classificam o descarregamento

de dados em quatro categorias: (a) *Small cells* - micro, pico ou femto-células são distribuídas pela infraestrutura para descarregar o tráfego; (b) *WiFi* - pontos de acesso *WiFi* são “espalhados” em áreas congestionadas como alternativa às redes celulares; (c) Oportunística - estimula comunicação oportunística entre os dispositivos dos usuários, e; (d) Heterogêneas - combina técnicas anteriores tentando minimizar os problemas individuais de cada uma.

Ainda segundo [Zhou et al., 2018], apesar da popularidade de estratégias de *offloading* baseadas em *small cells* e *WiFi*, ambas dependem de instalação e manutenção de infraestrutura e se limitam a uma determinada área de cobertura. Sendo assim, o descarregamento de dados através de comunicação oportunística é uma alternativa promissora, dada a grande presença de dispositivos de usuários em áreas urbanas congestionadas. Por exemplo, o tipo de deslocamento que uma pessoa utiliza, seja ele a pé, de bicicleta ou de ônibus implica em trajetórias e também em interações (contatos) diferentes com outras pessoas em ambientes urbanos. Aspectos como esses são capazes de revelar ideias fundamentais em termos de utilização da rede e por conseguinte, servem a novas técnicas de *offloading* de dados. Através de tipos de comunicação como o *D2D*, essas técnicas de *offloading* podem se basear em informações dos usuários. Mobilidade, dinâmica de contatos, laços sociais, dentre outros aspectos são informações úteis para solucionar desafios como a eleição de nós para distribuição do conteúdo ou escolha do tipo de conteúdo direcionado a um perfil de usuário. Além disso, é sabido que os dispositivos dos usuários possuem capacidade limitada de recursos incluindo bateria, memória, processamento e alcance de transmissão. Esse tipo de informação individual também pode ser levado em consideração nas técnicas de *offloading* oportunísticas. Complementarmente, essas informações do contexto e comportamento humano são úteis também em soluções das outras três classes de *offloading*. Por exemplo, o histórico de mobilidade e utilização dos usuários serve para as operadoras identificarem os melhores pontos de instalação de *small cells* ou *APs WiFi* [Oliveira e Viana, 2014]. A seguir, citamos alguns trabalhos da literatura relacionados com o paradigma “ciente do humano” ordenados cronologicamente, estabelecendo uma relação com a linha do tempo apresentada na Seção 1.1.

Em [Whitbeck et al., 2011], os autores buscaram maximizar o *offloading* de dados estudando *quantas* cópias de um conteúdo deveriam ser injetadas na rede, *quando* e para *quais* nós. O terceiro desafio foi solucionado baseado em aspectos do usuário como a mobilidade obtida através de coordenadas GPS e obtenção de lista de contatos vizinhos. Já em [Chuang e Lin, 2012], a estratégia de *offloading* é baseada não apenas na frequência de contatos, mas também no relacionamento social entre os nós. Essa ideia tem o intuito de distribuir o conteúdo a usuários que participam de comunidades diferentes, garantindo assim que uma maioria dos nós tenham acesso ao objeto. Simulações com *traces* reais de usuário mostram que o esquema proposto tem desempenho muito superior comparado a outras alternativas apenas baseadas nos contatos.

No trabalho [Ding et al., 2013], os autores propuseram uma técnica de *offloading* heterogênea agregando operadoras, provedores de *WiFi* e usuários finais. A solução é baseada em informações como localização e mobilidade, utilizando as mesmas para prever aspectos do descarregamento de dados. Em [Al-Kanj et al., 2014], os autores também utilizam estudos de mobilidade dos nós para promover descarregamento de dados oportunístico em três cenários: (a) disseminação de dados *multi-hop*; (b) transmissão

*multi-cast* entre nós móveis, e (c) cooperação levando em conta restrições de consumo de energia entre os nós móveis.

O comportamento dos usuários em redes sociais também pode fornecer informações importantes à modelagem de técnicas de *offloading*. Justamente, em [Li et al., 2014], os autores analisam características de redes sociais para melhorar o desempenho de descarregamento de sua proposta. Informações como laços sociais, comunidades sociais, centralidade social e pontes sociais foram utilizadas nessa solução. Outro exemplo de utilização de redes sociais pode ser encontrado em [Wang et al., 2014]. Os autores propuseram um *framework* para descarregamento de dados da rede de celular baseado no impacto de disseminação de conteúdo dos nós em uma rede social e também nos seus padrões de mobilidade. Essas informações serviram para escolha dos nós disseminadores do conteúdo. Outros trabalhos como [Thilakarathna et al., 2014, Thilakarathna et al., 2017] levam em conta características sociais para escolher os disseminadores dos dados.

Em [Zhang et al., 2017], os autores utilizam noções de participação móvel através da mobilidade e de características sociais entre grupos de usuários, propondo um esquema chamado de “ciente do humano”. A solução se baseia na noção de interesse social similar advinda do fenômeno da homofilia (estudado em sociologia), que descreve que pessoas com atributos similares mantêm contato mais frequentemente que com estranhos.

#### **1.4.2. Redes sociais online**

As Redes Sociais Online (do inglês *Online Social Networks - OSNs*) favorecem a interação entre indivíduos com interesses ou objetivos similares através dos seus dispositivos móveis [Hu et al., 2015]. Aplicações, modelos, arquiteturas de redes, tecnologias relacionadas, etc podem se basear no “conhecimento” das *OSNs* para estimular colaboração, oferecer serviços, promover interação social oportunística, compartilhar informação, dentre outros. Ao contrário de redes sociais tradicionais, as *OSNs* podem tirar proveito de informações do contexto e comportamento humano, tais como as que podem ser capturadas através dos sensores dos dispositivos móveis (*GPS*, acelerômetro, câmera, etc). Complementarmente, as *OSNs* servem como fonte de dados. Por exemplo, interações, dinâmica de encontros, mobilidade e laços sociais podem ser inferidos através de dados provenientes das *OSNs*. Sendo assim, há uma forte ligação entre *OSNs* e o escopo desse minicurso. A seguir, apresentaremos alguns trabalhos relacionados.

O surgimento de serviços baseados na localização tem sido favorecido pela disseminação dos dispositivos móveis com *GPS* e estudos de mobilidade. Dentre esses serviços, estão as Redes Sociais Baseadas em Localização (*LBSNs*), que permitem estudo do comportamento individual *online* e *offline*, englobando modelos de mobilidade, análise comportamental e de anonimização, recomendações de relacionamentos sociais, dentre outros. Em abril de 2014 o *Facebook* lançou um serviço chamado “Amigos Próximos”, que permite aos usuários encontrar amigos através das suas coordenadas geográficas. O potencial desse tipo de serviço é grande, segundo [Thilakarathna et al., 2016], já que novos relacionamentos podem surgir baseados na localização em tempo real. No trabalho citado, é analisada a estrutura social de uma rede nesse contexto com foco na relação entre comunidades, usuários e outras redes. Os autores identificaram que os usuários mesmo tendo um alto padrão de atividade nessas redes, regularmente estão confinados

nos mesmos espaços geográficos (ressaltando a noção de rotina do comportamento humano). Adicionalmente, resultados mostram que é possível contactar mais de 50% dos usuários em até 3 dias através de aproximadamente 15% das localizações, abrindo oportunidades para redes de cache, comunicação *D2D* e *DTNs*. Por fim, foi descoberta uma grande similaridade de trajetórias em pessoas de mesmas comunidades, o que pode ser explicado pelo contexto social e humano.

A seleção e associação de pares em comunicação cooperativa dispositivo-a-dispositivo (*D2D*) é um dos desafios nessa tecnologia, já que desconexões ocorrem frequentemente (devido à mobilidade e curto alcance das conexões). Em [Meng et al., 2017], os autores avaliam métodos de seleção ótimos de Estações-Base ou pares colaborativos baseados na noção das interações sociais. A ideia é extrair vantagens das redes móveis para enriquecer as redes sociais e também utilizar o conhecimento dos relacionamentos sociais entre usuários para melhorar a eficiência da comunicação. Dentre as métricas avaliadas nesse contexto estão o histórico de contatos, similaridade social e histórico de contribuição (quando um usuário age como *relay* para dados de outro). Em trabalhos como [Thilakarathna et al., 2014, Wang et al., 2015, Thilakarathna et al., 2017], os autores apresentam soluções para *offloading* de dados oportunístico, baseado em noções obtidas de redes sociais móveis, incluindo aspectos sociais e mobilidade.

Usuários de redes sociais frequentemente enfrentam problemas como excesso de informação e falta de interação entre as suas redes, que ainda agravam o primeiro com publicações e publicidade repetidas. Em [Vu et al., 2015], os autores propuseram um esquema de filtragem de publicações, primeiro agregando dados de diferentes redes sociais, e depois apresentando resultados baseados nos interesses dos usuários, definidos pelos mesmos através da análise dos seus perfis. Essa solução também leva em conta o uso de informações do contexto humano para oferecer serviços direcionados aos usuários finais.

### **1.4.3. Segurança e privacidade**

A disseminação de serviços baseados em localização e outros dados multidimensionais do comportamento humano traz preocupações à segurança e privacidade dos dados dos usuários [Hubaux e Juels, 2016]. Isso acontece pois esses dados podem revelar a identidade dos indivíduos, então a aplicação de mecanismos de privacidade é necessária antes, durante e após o envio às plataformas para garantir a privacidade dos usuários. Violações são observadas constantemente, como o recente vazamento de dados de cerca de 50 milhões de usuários do *Facebook* para utilização na campanha presidencial do norte-americano *Donald Trump* [tru, 2018].

Assim como a mobilidade foi o primeiro aspecto humano que passou a ser considerado em aplicações e arquiteturas de rede, a segurança e privacidade nesse contexto possui uma série de propostas. Uma pesquisa realizada por [Fawaz e Shin, 2014] com 180 usuários de *smartphones* revela que 78% acreditam que aplicativos que acessam sua localização representam ameaças à privacidade e 85% se importam com quem acessa esse tipo de dado. O estudo de regularidade e rotinas em dados de localização pode levar ainda a outras informações confidenciais como a inferência do local de trabalho, casa, preferência sexual, religiosidade, preferência política, identificação dos familiares, etc. Conforme chamamos atenção anteriormente, os dados do contexto e comportamento

humano são úteis em várias áreas, no entanto eles contêm características privadas dos usuários que podem causar consequências desastrosas se utilizados maliciosamente. À seguir, apresentamos trabalhos relacionados à segurança e privacidade de dados do contexto e comportamento humano, tanto com propostas de soluções como identificação de falhas.

Em [Chatzikokolakis et al., 2015], os autores propuseram uma definição formal de privacidade, chamada geo-indistinguibilidade. Ela permite ao usuário divulgar informações suficientes para obter o serviço desejado, ao mesmo tempo mantendo a privacidade. Por exemplo, alguém no centro de uma cidade gostaria de obter informações sobre restaurantes próximos mantendo sua privacidade. Para garantir isso, é empregada a chamada “ofuscação”, que consiste em fornecer uma localização aproximada ao invés da exata. De acordo com uma pesquisa em [Fawaz e Shin, 2014], apenas 18% rejeitariam prover uma localização imprecisa. O estudo mostra que usuários se preocupam em manter privada sua localização, mas não sua identidade, aceitando autenticar-se em serviços confiáveis para obter recomendações personalizadas por exemplo.

Em segurança e privacidade, a anonimização dos dados, historicamente é um dos assuntos mais discutidos. No entanto, no caso de dados espaço-temporais, o trabalho [de Montjoye et al., 2013a] prova que é possível identificar indivíduos correlacionando conjuntos de dados de mobilidade com outras informações externas obtidas facilmente (ex: dados de um perfil numa rede social). Um *dataset* anonimizado não contém nome, endereço, telefone ou outros identificadores pessoais óbvios, mas se o perfil do usuário for distinto o suficiente, é possível fazer inferências sobre os dados e identificá-lo. Assim como uma impressão digital, a mobilidade humana possui unicidade, e esse trabalho estima o número de pontos necessários para identificar um indivíduo dentro de um *trace* de mobilidade enriquecido com informações externas. A pesquisa foi feita com um conjunto de dados anonimizado de uma operadora móvel com cerca de 1,5 milhões de usuários.

Para conectar a um ponto de acesso *WiFi*, nossos dispositivos enviam periodicamente requisições buscando as redes disponíveis. Essas requisições contêm informações como o endereço *MAC* (identificador do dispositivo) e do lado do provedor, os *SSIDs* (identificadores das redes) estão repletos de informação semântica. Em [Luzio et al., 2016], os autores mostram como essas requisições aparentemente banais podem ser utilizadas para descobrir aspectos da vida humana que nada têm a ver com tecnologia. Dentre eles, relacionamentos entre pessoas, previsão de encontros, preferência política e até a origem de pessoas presentes em grandes aglomerações.

Atualmente, nossos cartões de crédito, *smartphones*, navegadores e até carros geram informações que dizem muito a respeito de quem nós somos, como nos movemos, quem contactamos ou quanto gastamos. Os cientistas têm comparado essa disponibilidade de dados comportamentais com a invenção do microscópio e chamado à atenção sobre a sensibilidade dessas informações. Em [de Montjoye et al., 2015], os autores estudam transações de cartões de crédito de 1,1 milhão de pessoas anônimas e mostram como informações espaço-temporais são suficientes para reidentificar 90% dos indivíduos. O conhecimento do preço da transação é o ponto que mais aumenta o risco de reidentificação (na ordem de 22%). O trabalho ainda mostra que mesmo em conjunto de dados com informações bem esparsas, a anonimização pode ser quebrada através da correlação de

valor, local e tempo. Curiosamente, o trabalho mostra que mulheres são cerca de 1.214 vezes mais reidentificáveis que homens em transações de cartão de crédito. Isso reforça o fato que características humanas são aspectos-chave para entender como as pessoas se comportam e agem.

A privacidade de dados sensíveis dos usuários é geralmente invadida de duas formas: obtendo dados de servidores considerados confiáveis, mas que possuem vulnerabilidades de segurança; ou, correlacionando dados espaço-temporais anonimizados, conforme trabalhos mencionados anteriormente. Em [Ren et al., 2018], os autores aplicam um novo método chamado de privacidade diferencial local, onde algoritmos são utilizados para variar a forma como os dados são anonimizados em cada serviço, dificultando a correlação. Com isso, serviços baseados nesses dados podem ser desenvolvidos enquanto a privacidade dos usuários não é colocada em risco.

## 1.5. Avaliação e experimentação

Nessa seção são relacionadas e detalhadas as fontes de dados identificadas para informações do contexto e comportamento humano. Exemplos de *traces* e *datasets* também são trazidos, buscando instrumentar futuras pesquisas na área. Completando, comentaremos sobre alguns ambientes de avaliação e experimentação em redes móveis.

### 1.5.1. Fontes de dados

Para alavancar futuras arquiteturas de rede “cientes do humano”, dados do contexto e comportamento dos indivíduos devem ser adquiridos ou gerados. A Figura 1.7 resume fontes de dados e a seguir, apresentamos detalhadamente cada uma delas.



**Figura 1.7. Fontes e Tipos de Dados do Contexto e Comportamento Humano que podem ser utilizados em pesquisas facilitadoras de arquiteturas de redes do futuro.**

- Sensores físicos - instalação de sensores dedicados a objetivos específicos, como por exemplo monitorar a qualidade do ar, obter níveis de ruído ou rastrear carros (ex: *GPS* em frota de táxis). Os desafios nesse cenário são o alto custo de instalação, e em alguns casos necessidade de autorizações para o uso, além da adaptação de veículos ou usuários.
- Dados de Infraestrutura: obtenção de dados de serviços públicos. Dentre eles, sistemas de transporte como ônibus e metrô e infraestrutura de telefonia. A dificuldade

nesse caso é o acesso, já que geralmente esses conjuntos de dados são fornecidos apenas para certas empresas ou universidades. Em [par, 2018] há um exemplo de fonte de dados de infraestrutura da cidade de Paris/França.

- Estatísticas - engloba estudos estatísticos populacionais (ex: índices de saúde, índices demográficos e aspectos sociais), dados de dinâmica urbana (preços de moradia e localização), segurança (taxas de criminalidade), energia (consumo de eletricidade ou gás), dentre outros. Esse tipo de fonte de informações está se popularizando com iniciativas governamentais de disponibilização como *data.gov*. Ainda assim, os dados podem não estar disponíveis para o local onde o estudo deseja ser conduzido. Outro desafio é agregar esses dados, devida à variedade de formatos nos quais eles são disponibilizados incluindo tabelas, gráficos, mapas, formulários, etc.
- Redes Sociais Baseadas em Localização - aplicações ou serviços que combinam redes sociais com informações espaço-temporais. Rotinas e preferências de indivíduos podem ser extraídas. Geralmente envolve participação voluntária dos usuários que determinam como, quando, o que e onde compartilhar dados. Esses serviços se popularizaram com a disseminação dos *smartphones*. Essa fonte de dados é uma das mais poderosas, já que técnicas tradicionais como censo, recrutamento voluntário e dados de GPS não estão disponíveis com o mesmo alcance global. Dentre os exemplos de Redes Sociais Baseadas em Localização, estão: *Foursquare*, que permite o compartilhamento de informações sobre lugares visitados; *Waze*, onde usuários compartilham informações de trânsito em tempo real e *Twitter*, onde indivíduos compartilham atualizações pessoais por texto até 140 caracteres.

Além dos métodos citados acima, pesquisas podem ser baseadas em *traces* (conjuntos de dados com informações dos usuários) já disponíveis. Idealmente, esses dados devem cobrir populações (ex: pessoas de uma cidade, país ou de uma universidade) e por um tempo (semanas a meses) que permita observar hábitos e rotinas dos indivíduos. Populações apresentam diversidade de comportamento e dão suporte a soluções mais abrangentes - que devem ser validadas através de fontes de dados diferentes para reduzir o risco de conclusões restritas. Os *traces* são obtidos geralmente através de duas formas, conforme a seguir:

- Coleta de Tráfego Móvel (do inglês *Mobile Traffic Gathering* - baseada nos *logs* de tráfego de redes móveis de operadoras. A grande quantidade de dispositivos móveis interagindo continuamente com a rede da operadora permite que informações temporais e geo-espaciais sejam armazenadas, servindo não apenas para o gerenciamento da rede e tarifação dos usuários.
- *Crowdsensing* Móvel (do inglês *Mobile Crowdsensing*) - consiste em extrair dados sensoriais multi-dimensionais diretamente dos dispositivos móveis por aplicações específicas. Os usuários dessas aplicações agem como voluntários colaborando geralmente com alguma pesquisa. Esses aplicativos são capazes de obter diversos dados dos sensores dos dispositivos (ex: aceleração, coordenadas geográficas do

*GPS*, conexões a redes *WiFi* e *Bluetooth*, força do sinal, nível de bateria e rotação). Nessa modalidade de *traces*, apesar da diversidade de informações disponíveis, geralmente a população de usuários é bem mais reduzida, pela dificuldade de abranger comunidades maiores.

No caso dos *datasets* de operadoras, os mais conhecidos são os chamados *CDR* (*Charging Data Records* ou *Call Detail Record*) [Blondel et al., 2015, Silveira et al., 2016, Marques-Neto et al., 2018]. Os registros *CDR* são gerados quando transações (ex: ligação telefônicas ou *SMS*) ocorrem na rede de uma operadora móvel. Dentre as informações armazenadas, estão os identificadores dos envolvidos na transação, tempo de início, duração, status (sucesso ou falhas detectadas), localização da antena de onde a transação foi iniciada, rota que a transação seguiu, etc. A vantagem dos *CDRs* oferecidos pelas operadoras são a quantidade de registros e o tempo de cobertura. Alguns chegam a ter milhões de usuários que produziram bilhões de registros e se deslocaram por milhares de antenas. No entanto, esses dados podem ser esparsos e nesse caso carecem de métodos para completar as lacunas antes de serem utilizados.

A seguir citamos exemplos de conjuntos de dados obtidos através de *Crowdsensing Móvel*. O *Geolife* [Zheng et al., 2009] foi um dos primeiros *datasets* públicos a disponibilizar informações de mobilidade. Ele fornece dados espaço-temporais de 182 pessoas (maior parte delas de *Beijing*, capital chinesa), obtidos por *GPS* entre abril de 2007 e agosto de 2012. Uma das deficiências desse *trace* são as lacunas temporais, já que nem todos usuários apresentam dados suficientes para serem analisados. Sendo assim, critérios precisam ser estabelecidos para selecionar os usuários em qualquer tipo de análise que vier a ser feita.

A aplicação *MACACO* foi desenvolvida no projeto Europeu CHIST-ERA [mac, 2015], focado em comunicação adaptativa ao conteúdo e baseada no contexto. Dentre os dados coletados, estão tráfego (*download/upload*), coordenadas geográficas, redes disponíveis (*WiFi*, *Bluetooth*), status de bateria e memória do dispositivo, aceleração, histórico do navegador e aplicativos instalados. As informações são requisitadas a cada 5 minutos e contemplam uma população de cerca de 180 usuários de diferentes países, dentre eles pesquisadores, professores e estudantes de universidades. Os usuários também são convidados a preencher um questionário não obrigatório que coleta informações sobre os traços de personalidade e as preferências de aplicação das pessoas. O *trace* do *MACACO* não está disponível publicamente, mas é um exemplo de como aplicações podem ser desenvolvidas para auxiliar na obtenção de dados.

Outro *trace* bastante utilizado é o *Friends and Family* do projeto Reality Mining do MIT [Eagle e (Sandy) Pentland, 2006], que contempla uma população de 100 usuários observados por 9 meses. Dentre as informações coletadas estão *logs* de chamadas, outros dispositivos *bluetooth* próximos, identificadores das torres de celular, localização, status do telefone (carregando ou ocioso), consumo de mídia e padrões de difusão de comportamento. Os participantes também responderam pesquisas em intervalos regulares: as pesquisas mensais incluem perguntas sobre a autopercepção de relacionamentos, afiliação de grupo, interações e teste de personalidade, o *Big-Five*; Pesquisas diárias incluem perguntas como humor, sono e outros registros de atividades.

O *CRAWDAD* [Kotz et al., 2009] é uma comunidade de disponibilização de *traces* para a comunidade de pesquisa. Diversos tipos de dados são oferecidos para propósitos de pesquisa diferentes, incluindo modelagem de comportamento humano, serviços de localização, conectividade oportunística e estudo de mobilidade. Por exemplo, recentemente (fevereiro/2018) foi disponibilizado um *trace* de mobilidade de ônibus na cidade do Rio de Janeiro. Dados de localização em tempo real de mais de 12.000 ônibus são reportados a cada minuto, incluindo horário, identificação do veículo, linha, coordenadas geográficas e velocidade.

O *OpenCellID* [ope, 2018] é um projeto comunitário colaborativo que busca documentar torres de celular e *APs WiFi* ao redor do mundo, juntamente com sua localização. A comunidade tem mais de 75.000 colaboradores, contribuindo com novas medições (na ordem de milhões) diariamente. O projeto disponibiliza também uma lista de aplicações que podem ser usadas para permitir a coleta.

Como o *OpenCellID*, o *OpenStreetMap* [Almendros-Jiménez e Becerra-Terón, 2015] é um projeto colaborativo com mais de 1,9 milhões de usuários registrados. Um dos recursos é a possibilidade dos usuários enviarem suas trajetórias georreferenciadas para melhorar o mapeamento de localidades no mundo inteiro. Cada trajetória detalhada do *GPS* do usuário é um conjunto de pontos georreferenciados classificados de maneira ascendente por instante de tempo (*timestamp*).

Já o *Device Analyzer* [Wagner et al., 2014] é uma aplicação projetada pela Universidade de *Cambridge* que coleta informações de *smartphones* de voluntários para fins científicos. Dentre os dados coletados, estão aplicações utilizadas, quando o usuário faz uma ligação ou envia *SMS*, localização (baseada na rede), e redes *WiFi* ou dispositivos *bluetooth* disponíveis.

Além dos exemplos citados, o *Google Maps* (versão *Android*) permite que o usuário registrado baixe o seu próprio conjunto de dados de deslocamento, incluindo coordenadas geográficas associadas à informações temporais. Com os avanços do paradigma “ciente do humano”, a intuição é que a variedade e disponibilidade de *traces* de usuários aumente ao longo dos próximos anos.

### **1.5.2. Ambientes de avaliação e experimentação**

Historicamente, sempre houve uma escassez de plataformas de avaliação e experimentação flexíveis e de código aberto para validar soluções em diferentes camadas das redes móveis. De acordo com [Banerjee et al., 2015], a mudança começou imposta pela disponibilidade de novas tecnologias para gerenciar recursos nas redes como *SDN*, *NFV* e Computação em Nuvem e também pela diversidade de novos dispositivos a serem conectados. Com isso, alguns *testbeds* e ambientes experimentais de redes sem fio têm surgido, tais como o *PhantomNet* [Cho et al., 2016].

O *PhantomNet* é um *testbed* de redes móveis com um conjunto de recursos que desenvolvedores podem utilizar para desenvolver, avaliar e experimentar propostas de mobilidade. Dentre os recursos disponíveis e que podem ser instanciados através de uma interface *web* e terminais, estão interfaces *OpenEPC*, *OpenLTE* e *Open Air*, pontos de acesso de *hardware*, dispositivos móveis de usuários, nós virtuais e muitos outros ele-

mentos da infraestrutura do *Emulab* (ambiente de emulação de redes desenvolvido pelo mesmo grupo do *PhantomNet*). Além dos recursos, o *PhantomNet* disponibiliza diretivas de configuração e *scripts* para auxiliar pesquisadores com seus experimentos de mobilidade. Há uma série de exemplos disponíveis que podem ser modificados, além da possibilidade de introduzir propostas totalmente novas (*clean-slate*) no núcleo de funcionamento. Para utilizar o *Phantomnet*, o pesquisador deve efetuar um registro gratuito no portal do projeto.

Quando se trata de avaliação de desempenho, experimentação e validação de protocolos, mecanismos de *handover*, ou outras estratégias de redes, os ambientes de simulação e emulação são bastante utilizados. De acordo com [Fontes et al., 2015], no caso de experimentos em redes móveis com gerenciamento *SDN*, apenas alguns simuladores estão disponíveis (tais como o *NS-32* e *OMNet++*). Por conta da carência de um ambiente de emulação nesse contexto, os autores desenvolveram o *Mininet-WiFi*, uma extensão do emulador *Mininet* para prototipar, testar e avaliar novos protocolos, arquiteturas e aplicações de redes móveis. Com o *Mininet-WiFi* é possível emular uma rede móvel com *APs* e estações ou dispositivos, introduzindo parâmetros de mobilidade.

Conforme evidenciamos durante o texto, há uma série de informações do contexto e comportamento humano que podem ser correlacionadas com dados espaço-temporais. Sendo assim, plataformas de avaliação mais completas nesse sentido ainda são escassas.

## 1.6. Desafios de pesquisa

À medida em que mais dispositivos inteligentes ganham mercado, impactos têm sido observados na vida das pessoas. As arquiteturas de Internet do futuro irão conectar uma série de entidades distintas que causarão mudanças na forma como interagimos com as redes de computadores. Para que elas estejam preparadas para essa transição de paradigma, será necessário ir além de lidar com aspectos tecnológicos, mas entender o comportamento das pessoas e utilizá-lo nas soluções. Juntamente com essa noção do “ciente do humano”, surgem diversos desafios e direções de pesquisa.

Primeiramente, é preciso mudar as práticas de modelagem de soluções de rede. Apesar de muitas aplicações ou serviços serem direcionados ao usuário final, a preocupação com sua qualidade de experiência geralmente está associada com métricas e focada em condições da rede (ex: adaptação de taxa de transmissão) ou ligada à percepção do usuário do desempenho da rede. Para colocar o humano em destaque é preciso: (i) envidar esforços de análise de *big data* relacionado a informações do contexto e comportamento humano, e; (ii) trazer conhecimento sobre o comportamento humano às soluções de rede combinando ideias e métodos de diferentes áreas como aprendizado de máquina, psicologia, sociologia, redes de computadores, *data science* e estatística. Isso envolve ainda questões de disponibilidade de grandes quantidades de informação e métodos de processamento que permitam coletar, extrair e inferir comportamento humano. Ao longo do tempo, o correlacionamento desses dados será utilizado para analisar rotinas e prever situações e comportamentos [Gonzalez et al., 2008, de Montjoye et al., 2013b, Jeong et al., 2016, Silveira et al., 2016, Alsadhan e Skillicorn, 2017, Nedunchezian e Jacob, 2017, Cuttone et al., 2018]. No contexto de redes, esse tipo de informação será utilizado para melhor orquestrar como a rede deverá se comportar e para que os recursos sejam gerenciados de

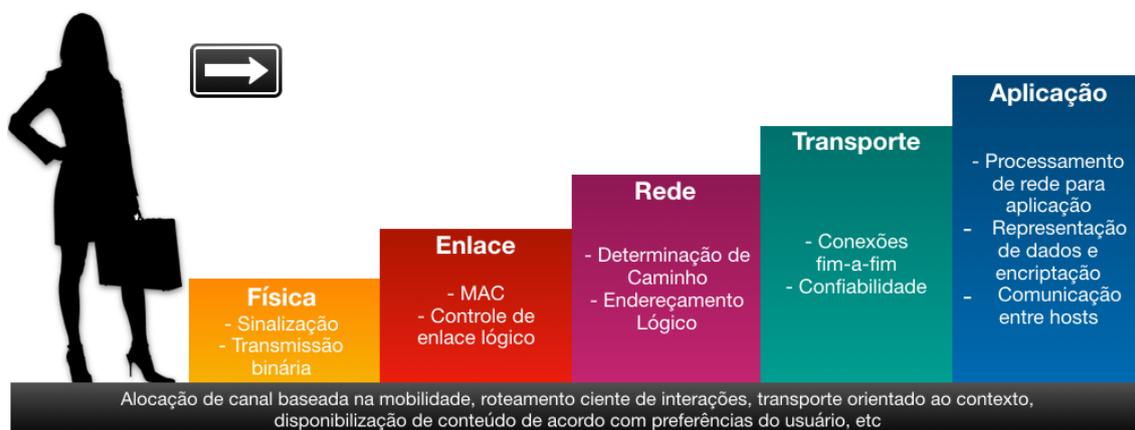
forma mais eficiente. A falta de dados adequados é um dos obstáculos para um entendimento mais completo dos aspectos humanos [Naboulsi et al., 2016]. A análise deve ser estendida a um conjunto maior de características de locais, de recursos tecnológicos, dentre outros que podem ser obtidos através de dispositivos como os *smartphones*. Esses dados também precisam abranger populações maiores, preferencialmente de regiões metropolitanas completas.

Segundo, serão necessárias mudanças substanciais no modelo de comunicação tradicional. A emergência de novas aplicações, massificação de serviços de *cloud*, implantação da *IoT*, comunicação *Machine-to-Machine*, dentre outras tecnologias, contribuem com o congestionamento na borda da Internet [Akyildiz et al., 2016]. Além disso, à medida em que os dispositivos inteligentes vêm se tornando mais poderosos e ubíquos, mais pessoas estarão envolvidas e conectadas. Esse aumento de tráfego (conforme discutido na Seção 1.1) traz uma série de desafios ao núcleo e borda da Internet. Os modelos centralizados de comunicação de redes móveis em produção (ex: *4G* ou *LTE*) serão confrontados com essa crescente demanda, portanto uma mudança de paradigma é esperada na direção de soluções centradas nas rotinas e contexto das pessoas para uma gerência de recursos mais eficiente. Neste contexto, a novidade estará nos algoritmos projetados que utilizarão o conhecimento resultante do comportamento dos usuários, da heterogeneidade da rede e da incerteza existente no ambiente (seja esta trazida pelo comportamento humano ou condições físicas da rede).

Apesar das grandes taxas de crescimento do tráfego nos últimos anos, os protocolos de comunicação seguem limitados e em muitos casos baseados em estratégias desenvolvidas no passado, onde não se esperava um cenário como o atual, muito menos o futuro. Ainda há uma compreensão limitada das características que os protocolos devem levar em conta, dentre elas, aspectos do tráfego transportado e o contexto no qual o mesmo é gerado. Sendo assim, serão necessários protocolos inteligentes capazes de transportar as informações solicitadas com o menor custo possível para a rede, simultaneamente oferecendo qualidade de serviço e de experiência para os usuários [Yu et al., 2016]. Uma das características das arquiteturas de rede do futuro é que elas serão utilizadas não apenas para acessar informações, mas também para processá-las de forma distribuída. Por exemplo, bilhões de dispositivos *IoT* que serão conectados através de conexões sem fio na borda da rede necessitarão lidar com a incerteza e inconfiabilidade do meio sem fio. Boa parte desses dispositivos terão também limitações de processamento, bateria e memória, sendo assim a pilha de protocolos de rede executada nos mesmos deverá ser repensada, bem como as plataformas de *software* que serão utilizadas.

Mesmo com uma vasta literatura disponível, ainda há lacunas na predição do comportamento humano sob influência de fatores psicológicos, sociais, demográficos, dentre outros que devem impactar em modelos de predição [Subrahmanian e Kumar, 2017]. São necessários estudos quantitativos para desvendar um grau ou precisão esperada dessas predições, quais técnicas são mais adequadas para prever o comportamento de um indivíduo, e como fatores como os mencionados acima interferem na acurácia. Métodos de predição propostos na literatura requerem um grande histórico de dados e alta regularidade de eventos, o que reforça a necessidade de disponibilização de *datasets*.

As camadas de funções e protocolos da Internet possuem soluções que em cenários atuais com diversidade de dispositivos, comportamentos e requisitos não são ótimas [Nu-



**Figura 1.8. Informações do Contexto e Comportamento Humano deverão ser extraídas e incorporadas em soluções de diversas camadas da Internet.**

nes et al., 2016]. Um dos desafios será identificar que tipo de informação do contexto e comportamento humano pode ser extraída para ser aplicada em novas soluções em cada uma das camadas para favorecer o gerenciamento de recursos e a qualidade de serviço e experiência dos usuários. Esse cenário é ilustrado na Figura 1.8.

Com o surgimento de tecnologias de gerenciamento e virtualização de rede como *SDN* e *NFV*, há uma progressiva mudança no paradigma de gerência de redes [Medhat et al., 2017]. Sendo assim, tornou-se possível a criação de redes virtuais fim-a-fim, possibilitando aos provedores de serviço acesso e controle total da rede que eles utilizam. Com isso, recursos de rede podem ser melhor gerenciados de acordo com o que os usuários requisitam. A utilização de dados do contexto e comportamento humano podem tornar essa gerência de recursos ainda mais eficiente, fornecendo a esses sistemas informações para prever a demanda dos usuários.

## 1.7. Lições adicionais

Ao longo desse minicurso foi mostrado como arquiteturas de rede, conceitos e tecnologias relacionadas estão se aproximando de aspectos do comportamento humano nas suas soluções. Isso ocorre também em outras áreas e essa seção traz alguns exemplos como lições adicionais. Esses estudos mostram que além das telecomunicações, setores como lazer, *marketing*, finanças, governo, saúde, comércio e propaganda podem se beneficiar de informações multi-dimensionais capazes de serem obtidas através de dispositivos dos usuários ou outras fontes (conforme mostradas na Seção 1.5).

No relatório [lic, 2015], os autores chamam a atenção das vantagens que as operadoras têm em relação a outros modelos de negócio, podendo alavancar oportunidades bilionárias (sobretudo relativas ao *marketing*) baseadas em conjuntos de dados do comportamento humano. O argumento é que essas empresas deveriam primeiro procurar oferecer serviços que compartilhem “visões” sobre a localização de usuários para outros clientes corporativos, ao invés de focar em serviços de localização orientados ao consumidor e que exigem recursos adicionais. Os chamados serviços baseados em localização permitem que uma empresa forneça um determinado serviço ou apresente algo mais relevante e direcionado ao seu cliente. A identificação de padrões e repetitividade na mobilidade

de usuários ao longo do tempo (informação espaço-temporal) permite uma compreensão maior do consumidor em termos de comportamento e motivação, e também evidencia uma imagem mais clara do perfil do visitante. As operadoras *Orange* [flu, 2016] e *Telefonica* [tel, 2017] já fornecem esse tipo de serviço. Corporações contratantes podem visualizar informações estatísticas de tráfego, origem e rotas que os seus consumidores estão seguindo no seu ponto de interesse. Os dados dos clientes são anonimizados.

Em sistemas de transporte inteligentes (*ITSs*), informações sobre condições do tráfego podem ser obtidas de diversas fontes. Esses dados geralmente apresentam lacunas, e o preenchimento das mesmas é um dos grandes desafios nesse contexto. Em [Asif et al., 2016], os autores apresentam métodos de preenchimento dessas lacunas baseados na extração de padrões globais de tráfego encontrados nos dados. Esses métodos são analisados em diferentes cenários (categorias de estradas) e divididos por dia da semana (ou seja, observando a rotina e comportamentos diferentes em cada dia).

No campo da Interação Humano-Computador (*IHC*), auxiliar os usuários a realizarem suas tarefas é um dos desafios. Em [Czibula et al., 2009], os autores propuseram um auxiliar pessoal inteligente capaz de descobrir hábitos, habilidades, preferências e metas de um indivíduo, antecipando suas intenções. Esse assistente é capaz de aprender continuamente sobre o usuário baseando-se nas suas experiências e ações anteriores que cumpriram uma determinada tarefa.

O uso de *Big Data* também pode ser aplicado na melhoria de qualidade de serviço e experiência de redes. Em [Zheng et al., 2016], os autores exploram diversos meios de *Big Data Analytics* para otimização de redes, baseados em dados coletados tanto de equipamentos dos usuários como das redes móveis. Os dados dos usuários são relacionados ao seu perfil e comportamento, localização, mobilidade e padrões de comunicação pessoais. Dentre os dados do usuário obtidos através do núcleo da rede, estão: desempenho, chamadas completadas e índices de utilização por aplicação.

O comportamento humano é formado por uma série de características individuais e que interagem entre si. Anteriormente citamos os traços de personalidade, aspectos identificados em trabalhos na área de psicologia [Digman, 1990], [Goldberg, 1993] que são geralmente estabelecidos no início da vida adulta e permanecem relativamente estáveis ao longo do tempo. Por exemplo, usuários com personalidade neurótica tendem a ser menos móveis (confinados), enquanto que indivíduos extrovertidos e com traços de agradabilidade apresentam e mantêm mais contatos [de Montjoye et al., 2013a], [Chittaranjan et al., 2011]. Além dos traços de personalidade, pesquisas da área de economia e sociologia apontam relação do comportamento humano com características sócio-demográficas. Dentre elas, idade, sexo, escolaridade e status sócio-econômico [DonaldJ.Bogue, 2009]. De acordo com [Mcpherson et al., 2006], mulheres tendem a manter um menor e menos diverso número de contatos; indivíduos nascidos mais recentemente e com status educacional e sócio-econômico superiores apresentam um perfil mais móvel, tendem a possuir um número maior e diverso de contatos e são mais confortáveis com o uso de tecnologia. Defendemos que aspectos como os citados deverão ser avaliados para melhor entender o comportamento humano do usuário e levados em consideração nas redes do futuro. Alguns trabalhos como [Aharony et al., 2011], [de Montjoye et al., 2013a] já mostram como certas características interferem no perfil de mobilidade e comunicação

dos usuários.

Em [Sabharwal e Veeraraghavan, 2017], os autores citam evidências que ligam o comportamento humano à saúde e bem estar. Há um crescimento de evidências que determinados comportamentos trazem benefícios à saúde (ex: alimentação saudável e prática de exercícios). Desde 2000, um grande número de trabalhos se dedicaram a identificar em como a biologia molecular influencia no comportamento de um indivíduo e vice-versa. A partir disso, surgiu o que é chamado de *Bio-Behavioral Sensing*, ou seja a captura de informações de saúde e comportamento. Isso se tornou uma realidade com a disseminação de dispositivos vestíveis (ex: *Fitbit* e *Apple Watch*), antes artefatos apenas de pesquisas mas que hoje já estão disponíveis ao alcance de usuários finais. Por exemplo, dados obtidos por esses dispositivos podem servir para correlacionar o tipo e quantidade de uma atividade física com métricas diferentes de saúde (ex: peso, pressão arterial). Já em [Torous, 2017], os autores citam como o *Big Data* irá revolucionar o tratamento de doenças como depressão e esquizofrenia. Isso se tornará possível com a já esperada incorporação de outros tipos de sensores em *smartphones* e dispositivos vestíveis. Por exemplo, informações como diferenças na linguagem, diminuição do nível de certas atividades e problemas com o sono de uma pessoa poderão ser observadas. Essas informações processadas por *software* especializado auxiliarão no diagnóstico de doenças como depressão e a sugerir tratamento médico ao paciente, além de manter monitoração pós-ocorrido.

Muitas corporações passaram a enxergar as redes sociais como fonte de dados que podem ser úteis em cenários diferentes. De acordo com [Nedunchezian e Jacob, 2017], na perspectiva do usuário, perfis cooperativos ou não, são influenciados pela personalidade. Sendo assim, o comportamento humano tem sido colocado como aspecto diretamente ligado à influência social de um indivíduo [Gillen et al., 2017]. Para modelar características humanas complexas, pesquisadores têm utilizado técnicas de mineração de dados, aprendizado de máquina e mecanismos de extração de informação. Ainda em [Nedunchezian e Jacob, 2017], são citados alguns aspectos do comportamento humano: (a) Contexto - comportamento baseado em características espaço-temporais; (b) Conteúdo - referente ao ato de gostar ou não de um conteúdo; (c) Intenção - classificação de comportamento legítimo ou malicioso; e (d) Social - impacto causado pela atividade de terceiros.

## 1.8. Considerações finais

À medida em que os humanos ficam cada vez mais íntimos e conectados com seus dispositivos móveis, as futuras arquiteturas de rede terão que entender suas necessidades e expectativas. Sendo assim, conforme discutido neste minicurso, a compreensão do comportamento humano é essencial não apenas para projetar futuras redes móveis e tecnologias relacionadas, mas também para novos modelos de negócios.

Este minicurso abrangeu o paradigma “ciente do humano”, explicando por que e como os seres humanos estarão nos holofotes dos futuros padrões de comunicação. Inicialmente contextualizamos o tema diante do cenário de sobrecarga das redes móveis, disseminação de dispositivos móveis e tecnologias relacionadas. Revisamos a pesquisa relacionada por meio de uma linha do tempo, mostrando como há cerca de uma década a visão centrada no usuário tem caminhado em direção ao “ciente do humano”. Apresenta-

mos aspectos do contexto e comportamento já identificados e que poderão ser utilizados em futuros modelos e arquiteturas de redes móveis. Propusemos uma estrutura para o gerenciamento e a análise de aspectos humanos, contemplando coleta, armazenamento, modelagem, extração de conhecimento, análise e validação. Sequencialmente, contextualizamos e exemplificamos como o “ciente do humano” pode alavancar arquiteturas como *5G*, *IoT*, Redes Veiculares, Redes Ultra-Densas e Redes Centradas na Informação e também modelos/soluções como *Offloading* de dados, Redes Sociais *Online*, Segurança e Privacidade. Finalmente, apresentamos uma seção de avaliação e experimentação com fontes de dados do contexto e comportamento humano, ambientes de validação, desafios de pesquisa e lições adicionais de outras áreas.

Para que o paradigma “ciente do humano” progrida e, assim, a rede se torne mais próxima do humano, há a necessidade de mais análises e extração de conhecimento do “*big data*” dos indivíduos. Estes são essenciais para capturar aspectos comportamentais humanos do usuário da rede e possibilitar propostas com consciência humana. Além disso, há uma demanda por mais pesquisas inter-domínio, agrupando estudos e colaborações de psicologia, estatística, sociologia, redes, aprendizado de máquina, e assim por diante.

## Agradecimentos

Agradecemos ao apoio da CAPES, STIC-AmSud, INRIA Saclay, Equipe Associada do INRIA EMBRACE, UFBA, CNPq, FAPERJ e INCT em Ciência de Dados (INCT-CiD).

## Referências

- [lic, 2015] (2015). Fast-tracking operator plans to win in the \$5bn location insights market. Disponível em: <https://stlparkers.com/research/fast-tracking-operator-plans-to-win-in-the-5bn-location-insights-market/>.
- [mac, 2015] (2015). Mobile context-adaptive caching for content-centric networking. Disponível em: <http://macaco.inria.fr/>.
- [flu, 2016] (2016). Get to know your customers better with flux vision data. Disponível em: <https://www.orange-business.com/fr/produits/flux-vision>.
- [cis, 2017a] (2017a). Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2016-2021, white paper. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html>.
- [cis, 2017b] (2017b). Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2016–2021 white paper. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.
- [eri, 2017] (2017). Ericsson mobility report. Disponível em: <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2017/ericsson-mobility-report-june-2017.pdf>.

- [tel, 2017] (2017). Transform your value proposition and business. Disponível em: <https://www.business-solutions.telefonica.com/en/products/big-data/business-insights/smart-steps/>.
- [fac, 2018] (2018). Facebook android sdk. Disponível em: <https://developers.facebook.com/docs/android/getting-started>.
- [par, 2018] (2018). Paris data. Disponível em: <https://opendata.paris.fr/page/home/>.
- [tru, 2018] (2018). Revealed: 50 million facebook profiles harvested for cambridge analytica in major data breach - whistleblower describes how firm linked to former trump adviser steve bannon compiled user data to target american voters. <https://www.theguardian.com/news/2018/mar/17/cambridge-analytica-facebook-influence-us-election>.
- [ope, 2018] (2018). The world's largest open database of cell towers. Disponível em: <https://opencellid.org/>.
- [Afrasiabi e Guérin, 2016] Afrasiabi, M. H. e Guérin, R. (2016). Exploring user-provided connectivity. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 24(1):542–554.
- [Aharony et al., 2011] Aharony, N., Pan, W., Ip, C., Khayal, I., e Pentland, A. (2011). Social fmri: Investigating and shaping social mechanisms in the real world. *Pervasive and Mobile Computing*, 7(6):643 – 659. The Ninth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2011).
- [Akyildiz et al., 2016] Akyildiz, I. F., Nie, S., Lin, S.-C., e Chandrasekaran, M. (2016). 5g roadmap: 10 key enabling technologies. *Computer Networks*, 106(Supplement C):17 – 48.
- [Al-Kanj et al., 2014] Al-Kanj, L., Poor, H. V., e Dawy, Z. (2014). Optimal cellular offloading via device-to-device communication networks with fairness constraints. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 13:4628–4643.
- [Aldini e Bogliolo, 2016] Aldini, A. e Bogliolo, A. (2016). *User-Centric Networking: Future Perspectives*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edition.
- [Almendros-Jiménez e Becerra-Terón, 2015] Almendros-Jiménez, J. M. e Becerra-Terón, A. (2015). Querying open street map with xquery. In *2015 1st International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM)*, pages 1–11.
- [Alsadhan e Skillicorn, 2017] Alsadhan, N. e Skillicorn, D. (2017). Estimating personality from social media posts. In *2017 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, pages 350–356.
- [Altahrawi et al., 2017] Altahrawi, M. A., Ismail, M., Mahdi, H., e Ramli, N. (2017). Routing protocol in a hybrid sensor and vehicular network for different mobility scenario. In *2017 IEEE 13th Malaysia International Conference on Communications (MICC)*, pages 113–118.

- [Araújo et al., 2017] Araújo, A. C. S., Sampaio, L. N., e Ziviani, A. (2017). BEEP: Balancing energy, redundancy, and performance in fat-tree data center networks. *IEEE Internet Computing*, 21(4):44–53.
- [Araújo e Sampaio, 2017] Araújo, F. R. C. e Sampaio, L. N. (2017). Mobilidade em NDN: Consumidores versus Produtores. In *XIII Workshop de Redes P2P, Dinâmicas, Sociais e Orientadas a Conteúdo (WP2P+)*, pages 8–13, Belém, PA. SBC.
- [Asif et al., 2016] Asif, M. T., Mitrovic, N., Dauwels, J., e Jaillet, P. (2016). Matrix and tensor based methods for missing data estimation in large traffic networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(7):1816–1825.
- [Banerjee et al., 2015] Banerjee, A., Cho, J., Eide, E., Duerig, J., Nguyen, B., Ricci, R., Van der Merwe, J., Webb, K., e Wong, G. (2015). Phantomnet: Research infrastructure for mobile networking, cloud computing and software-defined networking. *GetMobile: Mobile Computing and Communications*, 19(2):28–33.
- [Barbera et al., 2014] Barbera, M. V., Viana, A. C., de Amorim, M. D., e Stefa, J. (2014). Data offloading in social mobile networks through vip delegation. *Ad Hoc Networks*, 19:92 – 110.
- [Barnaghi e Sheth, 2016] Barnaghi, P. e Sheth, A. (2016). On searching the internet of things: Requirements and challenges. *IEEE Intelligent Systems*, 31(6):71–75.
- [Blondel et al., 2015] Blondel, V. D., Decuyper, A., e Krings, G. (2015). A survey of results on mobile phone datasets analysis. *EPJ Data Science*, 4(1):10.
- [CC et al., 2016] CC, S., Raychoudhury, V., Marfia, G., e Singla, A. (2016). A survey of routing and data dissemination in delay tolerant networks. *J. Netw. Comput. Appl.*, 67(C):128–146.
- [Chatzikokolakis et al., 2015] Chatzikokolakis, K., Palamidessi, C., e Stronati, M. (2015). Geo-indistinguishability: A principled approach to location privacy. In Natarajan, R., Barua, G., e Patra, M. R., editors, *Distributed Computing and Internet Technology*, pages 49–72, Cham. Springer International Publishing.
- [Chen e Yang, 2016] Chen, B. e Yang, C. (2016). Energy costs for traffic offloading by cache-enabled d2d communications. In *2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pages 1–6.
- [Chen et al., 2017a] Chen, G., Hoteit, S., Viana, A. C., Fiore, M., e Sarraute, C. (2017a). Spatio-temporal predictability of cellular data traffic. *Research Report - INRIA Saclay - Ile-de-France*, (0483).
- [Chen et al., 2017b] Chen, G., Hoteit, S., Viana, A. C., Fiore, M., Sarraute, C., undefined, undefined, undefined, e undefined (2017b). The spatiotemporal interplay of regularity and randomness in cellular data traffic. *2017 IEEE 42nd Conference on Local Computer Networks (LCN)*, 00:187–190.

- [Chen et al., 2016] Chen, S., Qin, F., Hu, B., Li, X., e Chen, Z. (2016). User-centric ultra-dense networks for 5g: challenges, methodologies, and directions. *IEEE Wireless Communications*, 23(2):78–85.
- [Chen e Kountouris, 2015] Chen, Z. e Kountouris, M. (2015). Cache-enabled Small Cell Networks with Local User Interest Correlation. In *IEEE 16th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, pages 680–684.
- [Cheng et al., 2015] Cheng, R.-S., Huang, C.-M., e Cheng, G.-S. (2015). A d2d cooperative relay scheme for machine-to-machine communication in the lte-a cellular network. In *2015 International Conference on Information Networking (ICOIN)*, pages 153–158.
- [Chittaranjan et al., 2011] Chittaranjan, G., Blom, J., e Gatica-Perez, D. (2011). Who’s who with big-five: Analyzing and classifying personality traits with smartphones. In *2011 15th Annual International Symposium on Wearable Computers*, pages 29–36.
- [Cho et al., 2016] Cho, J., Sundaresan, K., Mahindra, R., der Merwe, J. K. V., e Rangarajan, S. (2016). Demo: ACACIA – context-aware edge computing for continuous interactive applications over mobile networks. In *ACM MobiCom*.
- [Chuang e Lin, 2012] Chuang, Y. J. e Lin, K. C. J. (2012). Cellular traffic offloading through community-based opportunistic dissemination. In *2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pages 3188–3193.
- [Conan et al., 2007] Conan, V., Leguay, J., e Friedman, T. (2007). Characterizing pairwise inter-contact patterns in delay tolerant networks. In *Proceedings of the 1st International Conference on Autonomic Computing and Communication Systems, Autonomics ’07*, pages 19:1–19:9, ICST, Brussels, Belgium, Belgium. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- [Conti et al., 2015] Conti, M., Boldrini, C., Kanhere, S. S., Mingozi, E., Pagani, E., Ruiz, P. M., e Younis, M. (2015). From manet to people-centric networking: Milestones and open research challenges. *Computer Communications*, 71(Supplement C):1 – 21.
- [Courneya e Hellsten, 1998] Courneya, K. S. e Hellsten, L. (1998). Personality correlates of exercise behavior, motives, barriers and preferences: An application of the five-factor model. *Personality and Individual Differences*, 24:625–633.
- [Cuttone et al., 2018] Cuttone, A., Lehmann, S., e González, M. C. (2018). Understanding predictability and exploration in human mobility. *EPJ Data Science*, 7(1):2.
- [Czibula et al., 2009] Czibula, G., Guran, A. M., Czibula, I. G., e Cojocar, G. S. (2009). Ipa - an intelligent personal assistant agent for task performance support. In *2009 IEEE 5th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing*, pages 31–34.

- [da Silva et al., 2016] da Silva, V. B. C., Campista, M. E. M., e Costa, L. H. M. K. (2016). Trac: A trajectory-aware content distribution strategy for vehicular networks. *Vehicular Communications*, 5:18 – 34.
- [Das et al., 2017] Das, S., Leopold, J., Ghosh, S., e Das, S. K. (2017). Graph compaction in analyzing large scale online social networks. In *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1–6.
- [De Hoogh et al., 2005] De Hoogh, A., Den Hartog, D., e L. Koopman, P. (2005). Linking the big five-factors of personality to charismatic and transactional leadership; perceived dynamic work environment as a moderator. *Journal of Organizational Behavior*, 26:839 – 865.
- [de Melo et al., 2015] de Melo, P. O. V., Viana, A. C., Fiore, M., Jaffrès-Runser, K., Mouël, F. L., Loureiro, A. A., Addepalli, L., e Guangshuo, C. (2015). Recast: Telling apart social and random relationships in dynamic networks. *Performance Evaluation*, 87:19 – 36. Special Issue: Recent Advances in Modeling and Performance Evaluation in Wireless and Mobile Systems.
- [de Montjoye et al., 2013a] de Montjoye, Y.-A., Hidalgo, C. A., Verleysen, M., e Blondel, V. D. (2013a). Unique in the crowd: The privacy bounds of human mobility. *Nature Scientific Reports*, 3(1376).
- [de Montjoye et al., 2013b] de Montjoye, Y.-A., Quoidbach, J., Robic, F., e Pentland, A. (2013b). Predicting personality using novel mobile phone-based metrics. In Greenberg, A. M., Kennedy, W. G., e Bos, N. D., editors, *Social Computing, Behavioral-Cultural Modeling and Prediction*, pages 48–55, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- [de Montjoye et al., 2015] de Montjoye, Y.-A., Radaelli, L., Singh, V. K., e Pentland, A. “. (2015). Unique in the shopping mall: On the reidentifiability of credit card metadata. *Science*, 347(6221):536–539.
- [Digman, 1990] Digman, J. M. (1990). Personality structure: Emergence of the five-factor model. *Annual Review of Psychology*, 41(1):417–440.
- [Ding et al., 2013] Ding, A. Y., Han, B., Xiao, Y., Hui, P., Srinivasan, A., Kojo, M., e Tarkoma, S. (2013). Enabling energy-aware collaborative mobile data offloading for smartphones. In *2013 IEEE International Conference on Sensing, Communications and Networking (SECON)*, pages 487–495.
- [DonaldJ.Bogue, 2009] DonaldJ.Bogue (2009). Century of difference: How america changed in the last one hundred years by claude s. fischer and michael hout. *American Journal of Sociology*, 114(5):1534–1536.
- [Eagle e (Sandy) Pentland, 2006] Eagle, N. e (Sandy) Pentland, A. (2006). Reality mining: Sensing complex social systems. *Personal Ubiquitous Comput.*, 10(4):255–268.

- [Farahat e Hassanein, 2016] Farahat, H. e Hassanein, H. (2016). Optimal caching for producer mobility support in Named Data Networks. In *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1–6. IEEE.
- [Favaretto et al., 2017] Favaretto, R. M., Dihl, L., Musse, S. R., Vilanova, F., e Costa, A. B. (2017). Using big five personality model to detect cultural aspects in crowds. In *2017 30th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)*, pages 223–229.
- [Fawaz e Shin, 2014] Fawaz, K. e Shin, K. G. (2014). Location privacy protection for smartphone users. In *Proceedings of the 2014 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, CCS '14*, pages 239–250, New York, NY, USA. ACM.
- [Feki et al., 2016] Feki, A., Duarte, M., Valentin, S., e Rose, L. (2016). Exploiting geographical context in d2d communications. In *2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, pages 1–6.
- [Fontes et al., 2015] Fontes, R. R., Afzal, S., Brito, S. H. B., Santos, M. A. S., e Rothenberg, C. E. (2015). Mininet-wifi: Emulating software-defined wireless networks. In *2015 11th International Conference on Network and Service Management (CNSM)*, pages 384–389.
- [Gandotra et al., 2017] Gandotra, P., Jha, R. K., e Jain, S. (2017). A survey on device-to-device (d2d) communication: Architecture and security issues. *Journal of Network and Computer Applications*, 78(Supplement C):9 – 29.
- [Ge et al., 2016] Ge, J., Wang, S., Wu, Y., Tang, H., e E, Y. (2016). Performance improvement for source mobility in named data networking based on global–local FIB updates. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 9(4):670–680.
- [Gillen et al., 2017] Gillen, J. J., Freeman, M., e Tootell, H. (2017). Human behavior in online social networks. In *2017 IEEE International Symposium on Technology and Society (ISTAS)*, pages 1–6.
- [Goldberg, 1993] Goldberg, L. R. (1993). The structure of phenotypic personality traits. *American Psychologist*, 48:26–34.
- [Goldberg, 1999] Goldberg, L. R. (1999). A broad-bandwidth, public domain, personality inventory measuring the lower-level facets of several five-factor models. *I. Mervielde, I. Deary, F. De Fruyt and F. Ostendorf, Eds., Personality Psychology in Europe, Tilburg University Press, Tilburg*, pages 7–28.
- [Gonzalez et al., 2008] Gonzalez, M. C., Hidalgo, C. A., e Barabasi, A.-L. (2008). Understanding individual human mobility patterns. *Nature*, 453(7196):779–782.
- [Hahm et al., 2017] Hahm, O., Baccelli, E., Schmidt, T. C., Wählisch, M., Adjih, C., e Massoulié, L. (2017). Low-power Internet of Things with NDN & Cooperative Caching. In *Proceedings of the 4th ACM Conference on Information-Centric Networking, ICN '17*, pages 98–108, New York, NY, USA. ACM.

- [Hajri e Assaad, 2016] Hajri, S. E. e Assaad, M. (2016). Caching Improvement Using Adaptive User Clustering. *arXiv preprint arXiv:1605.09602*.
- [Haus et al., 2017] Haus, M., Waqas, M., Ding, A. Y., Li, Y., Tarkoma, S., e Ott, J. (2017). Security and privacy in device-to-device (D2D) communication: A review. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2):1054–1079.
- [Hejazi et al., 2018] Hejazi, H., Rajab, H., Cinkler, T., e Lengyel, L. (2018). Survey of platforms for massive iot. In *2018 IEEE International Conference on Future IoT Technologies (Future IoT)*, pages 1–8.
- [Hu et al., 2015] Hu, X., Chu, T. H. S., Leung, V. C. M., Ngai, E. C. H., Kruchten, P., e Chan, H. C. B. (2015). A survey on mobile social networks: Applications, platforms, system architectures, and future research directions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(3):1557–1581.
- [Hubaux e Juels, 2016] Hubaux, J.-P. e Juels, A. (2016). Privacy is dead, long live privacy. *Commun. ACM*, 59(6):39–41.
- [I et al., 2014] I, C. L., Rowell, C., Han, S., Xu, Z., Li, G., e Pan, Z. (2014). Toward green and soft: a 5g perspective. *IEEE Communications Magazine*, 52(2):66–73.
- [Ioannou e Weber, 2016] Ioannou, A. e Weber, S. (2016). A survey of caching policies and forwarding mechanisms in information-centric networking. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(4):2847–2886.
- [Iosifidis et al., 2017] Iosifidis, G., Gao, L., Huang, J., e Tassiulas, L. (2017). Efficient and fair collaborative mobile internet access. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 25(3):1386–1400.
- [Jacobson et al., 2009] Jacobson, V., Smetters, D. K., Thornton, J. D., Plass, M. F., Briggs, N. H., e Braynard, R. L. (2009). Networking named content. In *Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies*, pages 1–12. ACM.
- [Jeong et al., 2016] Jeong, J., Leconte, M., e Proutiere, A. (2016). Cluster-aided mobility predictions. In *IEEE INFOCOM 2016 - The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications*, pages 1–9.
- [Judge et al., 2006] Judge, T. A., Higgins, C. A., Thoresen, C. J., e Barrick, M. R. (2006). The big five personality traits, general mental ability, and career success across the life span. *Personnel Psychology*, 52:621 – 652.
- [Katsarakis et al., 2015] Katsarakis, M., Theodosiadis, V., e Papadopouli, M. (2015). Evaluation of a user-centric qoe-based recommendation tool for wireless access. In *Proceedings of the 2015 ACM SIGCOMM Workshop on Crowdsourcing and Crowdsharing of Big (Internet) Data, C2B(1)D '15*, pages 39–44, New York, NY, USA. ACM.

- [Katsikouli et al., 2017] Katsikouli, P., Viana, A., Fiore, M., e Tarable, A. (2017). On the sampling frequency of human mobility. In *Proceedings of the GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference*, pages 1–6. IEEE.
- [Kopacz, 2005] Kopacz, M. (2005). Personality and music preferences: The influence of personality traits on preferences regarding musical elements. *Journal of music therapy*, 42:216–39.
- [Kotz et al., 2009] Kotz, D., Henderson, T., Abyzov, I., e Yeo, J. (2009). CRAWDAD dataset dartmouth/campus (v. 2009-09-09). Downloaded from <https://crawdad.org/dartmouth/campus/20090909>.
- [Kozioł et al., 2017] Kozioł, D., Moya, F. S., Yu, L., Phan, V. V., e Xu, S. (2017). QoS and service continuity in 3gpp d2d for iot and wearables. In *2017 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)*, pages 233–239.
- [Lau et al., 2017] Lau, C. P., Alabbasi, A., e Shihada, B. (2017). On the analysis of human mobility model for content broadcasting in 5g networks. In *2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pages 1–7.
- [Lauridsen et al., 2017] Lauridsen, M., Gimenez, L. C., Rodriguez, I., Sorensen, T. B., e Mogensen, P. (2017). From lte to 5g for connected mobility. *IEEE Communications Magazine*, 55(3):156–162.
- [Lehmann et al., 2016] Lehmann, M. B., Barcellos, M. P., e Mauthe, A. (2016). Providing producer mobility support in NDN through proactive data replication. In *NOMS 2016 - 2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, pages 383–391. IEEE.
- [Li et al., 2017] Li, Y., Gao, Z., Huang, L., Du, X., e Guizani, M. (2017). Resource management for future mobile networks: Architecture and technologies. *Computer Networks*, 129:392–398.
- [Li et al., 2014] Li, Y., Wu, T., Hui, P., Jin, D., e Chen, S. (2014). Social-aware d2d communications: qualitative insights and quantitative analysis. *IEEE Communications Magazine*, 52(6):150–158.
- [Luzio et al., 2016] Luzio, A. D., Mei, A., e Stefa, J. (2016). Mind your probes: De-anonymization of large crowds through smartphone wifi probe requests. In *IEEE INFOCOM 2016 - The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications*, pages 1–9.
- [López-Pérez et al., 2015] López-Pérez, D., Ding, M., Claussen, H., e Jafari, A. H. (2015). Towards 1 gbps/ue in cellular systems: Understanding ultra-dense small cell deployments. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4):2078–2101.
- [MacHardy et al., 2018] MacHardy, Z., Khan, A., Obana, K., e Iwashina, S. (2018). V2x access technologies: Regulation, research, and remaining challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. Aceito para publicação.

- [Mantas et al., 2017] Mantas, N., Louta, M., Karapistoli, E., Karetsos, G. T., Kraounakis, S., e Obaidat, M. S. (2017). Towards an incentive-compatible, reputation-based framework for stimulating cooperation in opportunistic networks: a survey. *IET Networks*, 6(6):169–178.
- [Marques-Neto et al., 2018] Marques-Neto, H. T., Xavier, F. H. Z., Xavier, W. Z., Malab, C. H. S., Ziviani, A., Silveira, L. M., e Almeida, J. M. (2018). Understanding human mobility and workload dynamics due to different large-scale events using mobile phone data. *Journal of Network and System Management*. Aceito para publicação.
- [Masucci et al., 2017] Masucci, A. M., Elayoubi, S. E., e Gati, A. (2017). D2d-assisted sleep mode strategies for green mobile networks. In *2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pages 1–6.
- [Matarazzo et al., 2018] Matarazzo, T. J., Santi, P., Pakzad, S. N., Carter, K., Ratti, C., Moaveni, B., Osgood, C., e Jacob, N. (2018). Crowdsensing framework for monitoring bridge vibrations using moving smartphones. *Proceedings of the IEEE*, 106(4):577–593.
- [McCrae e John, 1992] McCrae, R. R. e John, O. P. (1992). An introduction to the five-factor model and its applications. *Journal of personality*, 60:175–215.
- [Mcpherson et al., 2006] Mcpherson, M., Smith-Lovin, L., e Brashears, M. (2006). Social isolation in america: Changes in core discussion networks over two decades. 71:353–375.
- [Medhat et al., 2017] Medhat, A. M., Carella, G. A., Pauls, M., e Magedanz, T. (2017). Extensible framework for elastic orchestration of service function chains in 5g networks. In *2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN)*, pages 327–333.
- [Meng et al., 2017] Meng, Y., Jiang, C., Chen, H. H., e Ren, Y. (2017). Cooperative device-to-device communications: Social networking perspectives. *IEEE Network*, 31(3):38–44.
- [Mtibaa et al., 2006] Mtibaa, A., Chaintreau, A., e Diot, C. (2006). Detail characterization of paths in pocket switched networks. In *Proceedings of the 2006 ACM CoNEXT Conference*, CoNEXT '06, pages 59:1–59:2, New York, NY, USA. ACM.
- [Naboulsi et al., 2016] Naboulsi, D., Fiore, M., Ribot, S., e Stanica, R. (2016). Large-scale mobile traffic analysis: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1):124–161.
- [Name et al., 2017] Name, H. A. M., Oladipo, F. O., e Ariwa, E. (2017). User mobility and resource scheduling and management in fog computing to support iot devices. In *2017 Seventh International Conference on Innovative Computing Technology (IN-TECH)*, pages 191–196.

- [Nedunchezian e Jacob, 2017] Nedunchezian, P. e Jacob, S. G. (2017). Social influence algorithms and emotion classification for prediction of human behavior: A survey. In *2017 Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM)*, pages 55–60.
- [Ning et al., 2016] Ning, Z., Xia, F., Kong, X., e Chen, Z. (2016). Social-oriented resource management in cloud-based mobile networks. *IEEE Cloud Computing*, 3(4):24–31.
- [Nunes et al., 2016] Nunes, I. O., de Melo, P. O. S. V., e Loureiro, A. A. F. (2016). Leveraging d2d multihop communication through social group meeting awareness. *IEEE Wireless Communications*, 23(4):12–19.
- [Oliveira et al., 2017] Oliveira, E. M. R., Viana, A., Naveen, K. P., e Sarraute, C. (2017). Mobile data traffic modeling: Revealing temporal facets. *Computer Networks*, 112:176–193.
- [Oliveira e Viana, 2014] Oliveira, E. M. R. e Viana, A. C. (2014). From routine to network deployment for data offloading in metropolitan areas. In *2014 Eleventh Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON)*, pages 126–134.
- [Oliveira et al., 2016] Oliveira, E. M. R., Viana, A. C., Sarraute, C., Brea, J., e Alvarez-Hamelin, I. (2016). On the regularity of human mobility. *Pervasive and Mobile Computing*, 33(Supplement C):73 – 90.
- [Orzeck e Lung, 2005] Orzeck, T. e Lung, E. (2005). Big-five personality differences of cheaters and non-cheaters. *Current Psychology*, 24:274–287.
- [Pambudi et al., 2017] Pambudi, S. A., Wang, W., e Wang, C. (2017). From isolation time to node resilience: Impact of cascades in d2d-based social networks. In *GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference*, pages 1–6.
- [Panwar et al., 2017] Panwar, G., Tourani, R., Mick, T., Mtibaa, A., e Misra, S. (2017). DICE: Dynamic Multi-RAT Selection in the ICN-enabled Wireless Edge. In *Proceedings of the Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture, MobiArch '17*, pages 31–36, New York, NY, USA. ACM.
- [Panwar et al., 2016] Panwar, N., Sharma, S., e Singh, A. K. (2016). A survey on 5g: The next generation of mobile communication. *Physical Communication*, 18, Part 2:64 – 84. Special Issue on Radio Access Network Architectures and Resource Management for 5G.
- [Pentland, 2012] Pentland, A. . (2012). Society’s nervous system: Building effective government, energy, and public health systems. *Computer*, 45(1):31–38.
- [Qiu et al., 2018] Qiu, T., Chen, N., Li, K., Atiquzzaman, M., e Zhao, W. (2018). How can heterogeneous internet of things build our future: A survey. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, PP(99):1–1.

- [Quintero et al., 2016] Quintero, D. M. M., Mejia, J. C. G., e Builes, J. A. J. (2016). Model of human knowledge extraction for a kbs using reasoning cases. *IEEE Latin America Transactions*, 14(3):1466–1472.
- [Rebecchi et al., 2015] Rebecchi, F., de Amorim, M. D., Conan, V., Passarella, A., Bruno, R., e Conti, M. (2015). Data offloading techniques in cellular networks: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(2):580–603.
- [Rehman e Kim, 2017] Rehman, R. A. e Kim, B. (2017). LOMCF: Forwarding and Caching in Named Data Networking Based MANETs. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(10):9350–9364.
- [Ren et al., 2018] Ren, X., Yu, C. M., Yu, W., Yang, S., Yang, X., McCann, J. A., e Yu, P. S. (2018). Lopub: High-dimensional crowdsourced data publication with local differential privacy. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, PP(99):1–1.
- [Ren et al., 2015] Ren, Y., Wang, C., Liu, D., Liu, F., e Liu, E. (2015). Applying lte-d2d to support v2v communication using local geographic knowledge. In *2015 IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC2015-Fall)*, pages 1–5.
- [Sabharwal e Veeraraghavan, 2017] Sabharwal, A. e Veeraraghavan, A. (2017). Bio-behavioral sensing: An emerging engineering area. *GetMobile: Mobile Comp. and Comm.*, 21(3):11–18.
- [Silva et al., 2016] Silva, T., Celes, C., Borges Neto, J., Mota, V., Felipe, C., Ferreira, A., Ribeiro, A., Vaz de Melo, P., Almeida, J., e Loureiro, A. (2016). Users in the urban sensing process: Challenges and research opportunities. In *Pervasive Computing: Next Generation Platforms for Intelligent Data Collection*, pages 45–95.
- [Silveira et al., 2016] Silveira, L. M., Almeida, J. M., Marques-Neto, H. T., Sarraute, C., e Ziviani, A. (2016). Mobhet: Predicting human mobility using heterogeneous data sources. *Computer Communications*, 95:54–68.
- [Subrahmanian e Kumar, 2017] Subrahmanian, V. S. e Kumar, S. (2017). Predicting human behavior: The next frontiers. *Science*, 355(6324):489–489.
- [Tayeb et al., 2017] Tayeb, S., Latifi, S., e Kim, Y. (2017). A survey on iot communication and computation frameworks: An industrial perspective. In *2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, pages 1–6.
- [Teijeiro-Mosquera et al., 2015] Teijeiro-Mosquera, L., Biel, J. I., Alba-Castro, J. L., e Gatica-Perez, D. (2015). What your face vlogs about: Expressions of emotion and big-five traits impressions in youtube. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 6(2):193–205.
- [Thilakarathna et al., 2014] Thilakarathna, K., Seneviratne, A., Viana, A. C., e Petander, H. (2014). User generated content dissemination in mobile social networks through infrastructure supported content replication. *Pervasive and Mobile Computing*, 11:132 – 147.

- [Thilakarathna et al., 2016] Thilakarathna, K., Seneviratne, S., Gupta, K., Kaafar, M. A., e Seneviratne, A. (2016). A deep dive into location-based communities in social discovery networks. *Computer Communications*, 100:78–90.
- [Thilakarathna et al., 2017] Thilakarathna, K., Viana, A. C., Seneviratne, A., e Petander, H. (2017). Design and analysis of an efficient friend-to-friend content dissemination system. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(3):702–715.
- [Torous, 2017] Torous, J. (2017). Digital psychiatry. *IEEE Spectrum*, 54(7):45–50.
- [Vu et al., 2015] Vu, X.-T., Abel, M.-H., e Morizet-Mahoudeaux, P. (2015). A user-centered and group-based approach for social data filtering and sharing. *Computers in Human Behavior*, 51:1012–1023.
- [Wagih et al., 2017] Wagih, H., Mokhtar, H., e Ghoniemy, S. (2017). Location recommendation based on social trust. In *2017 13th International Conference on Semantics, Knowledge and Grids (SKG)*, pages 50–55.
- [Wagner et al., 2014] Wagner, D. T., Rice, A., e Beresford, A. R. (2014). Device analyzer: Large-scale mobile data collection. *SIGMETRICS Perform. Eval. Rev.*, 41(4):53–56.
- [Wang et al., 2018] Wang, E. K., Li, Y., Ye, Y., Yiu, S. M., e Hui, L. C. K. (2018). A dynamic trust framework for opportunistic mobile social networks. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 15(1):319–329.
- [Wang et al., 2014] Wang, X., Chen, M., Han, Z., Wu, D. O., e Kwon, T. T. (2014). Toss: Traffic offloading by social network service-based opportunistic sharing in mobile social networks. In *IEEE INFOCOM 2014 - IEEE Conference on Computer Communications*, pages 2346–2354.
- [Wang et al., 2015] Wang, X., Li, X., e Leung, V. C. M. (2015). Tasa: traffic offloading by tag-assisted social-aware opportunistic sharing in mobile social networks. In *The 21st IEEE International Workshop on Local and Metropolitan Area Networks*, pages 1–6.
- [Wang et al., 2009] Wang, Y., Krishnamachari, B., e Valente, T. W. (2009). Findings from an empirical study of fine-grained human social contacts. In *2009 Sixth International Conference on Wireless On-Demand Network Systems and Services*, pages 153–160.
- [Wang et al., 2017] Wang, Z., Sun, L., Zhang, M., Pang, H., Tian, E., e Zhu, W. (2017). Propagation- and mobility-aware d2d social content replication. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(4):1107–1120.
- [Whitbeck et al., 2011] Whitbeck, J., Amorim, M., Lopez, Y., Leguay, J., e Conan, V. (2011). Relieving the wireless infrastructure: When opportunistic networks meet guaranteed delays. In *2011 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, pages 1–10.

- [Xia et al., 2018] Xia, F., Wang, J., Kong, X., Wang, Z., Li, J., e Liu, C. (2018). Exploring human mobility patterns in urban scenarios: A trajectory data perspective. *IEEE Communications Magazine*, 56(3):142–149.
- [Xylomenos et al., 2014] Xylomenos, G., Ververidis, C. N., Siris, V. A., Fotiou, N., Tsiolopoulos, C., Vasilakos, X., Katsaros, K. V., e Polyzos, G. C. (2014). A survey of information-centric networking research. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(2):1024–1049.
- [Yu et al., 2016] Yu, W., Xu, H., Zhang, H., Griffith, D., e Golmie, N. (2016). Ultra-dense networks: Survey of state of the art and future directions. In *2016 25th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*, pages 1–10.
- [Zang et al., 2017] Zang, S., Bao, W., Yeoh, P. L., Chen, H., Lin, Z., Vucetic, B., e Li, Y. (2017). Mobility handover optimization in millimeter wave heterogeneous networks. In *2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, pages 1–6.
- [Zhang et al., 2014] Zhang, L., Afanasyev, A., Burke, J., Jacobson, V., Crowley, P., Papadopoulos, C., Wang, L., Zhang, B., et al. (2014). Named data networking. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 44(3):66–73.
- [Zhang et al., 2017] Zhang, X., Guo, L., Li, M., e Fang, Y. (2017). Motivating human-enabled mobile participation for data offloading. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, PP(99):1–1.
- [Zheng et al., 2016] Zheng, K., Yang, Z., Zhang, K., Chatzimisios, P., Yang, K., e Xiang, W. (2016). Big data-driven optimization for mobile networks toward 5g. *IEEE Network*, 30(1):44–51.
- [Zheng et al., 2009] Zheng, Y., Zhang, L., Xie, X., e Ma, W.-Y. (2009). Mining interesting locations and travel sequences from gps trajectories. In *Proc. of the WWW, WWW '09*, pages 791–800. ACM.
- [Zhou et al., 2018] Zhou, Z., Yu, H., Xu, C., Zhang, Y., Mumtaz, S., e Rodriguez, J. (2018). Dependable content distribution in d2d-based cooperative vehicular networks: A big data-integrated coalition game approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(3):953–964.
- [Zou et al., 2017] Zou, Y., Liu, W., Wu, K., e Ni, L. M. (2017). Wi-fi radar: Recognizing human behavior with commodity wi-fi. *IEEE Communications Magazine*, 55(10):105–111.