

# Uma Métrica para Classificação Dinâmica de Nós em Redes Sem Fio Comunitárias

Diego Américo Guedes, Éder dos Santos Silva e Kleber Vieira Cardoso

**Resumo**—Em redes sem fio comunitárias, há topologias que favorecem o surgimento de nós com maior importância que outros. Essa importância pode ser atribuída a fatores como a posição do nó na rede ou o volume do tráfego encaminhado. Na teoria de Redes Complexas, a importância pode ser tratada como centralidade, havendo várias métricas para seu cálculo. Este trabalho mostra que as métricas atuais não são capazes de classificar adequadamente os nós de redes sem fio comunitárias em malha. Neste trabalho, apresentamos também uma nova métrica que é avaliada com dados reais e exibe resultados superiores aos das demais métricas comparadas.

**Palavras-Chave**—Métricas de centralidade, redes sem fio comunitárias, redes sem fio em malha, redes complexas dinâmicas.

**Abstract**—Wireless community networks may be organized in topologies in which nodes have different levels of importance. This importance can be related to issues such as the node position in the network or the amount of routed traffic. In the theory of Complex Networks, this importance can be treated as centrality and there are several metrics for its computation. This paper shows that the current metrics are not able to properly classify the nodes of community wireless mesh. In this paper, we also present a new metric that is evaluated with real data and shows better results than other metrics.

**Keywords**—Centrality metrics, wireless community networks, wireless mesh networks, dynamic complex networks.

## I. INTRODUÇÃO

Redes sem fio comunitárias foram originalmente motivadas por dois fatores principais. Um dos fatores foi o interesse de pesquisadores e entusiastas em utilizar tecnologias sem fio de baixo custo (como a IEEE 802.11) para criar redes sem fio comunitárias para realização de testes, avaliação de novos algoritmos, mecanismos, protocolos, etc. A chance de melhorar ou ampliar o acesso à Internet foi outro fator que motivou entusiastas e empresários a criar redes sem fio comunitárias. Na última década, surgiram vários exemplos de redes sem fio comunitárias [1], [2], [3] de diferentes tamanhos, topologias e motivações. Tecnologias mais recentes, como IEEE 802.11n, 802.16 e rádios cognitivos podem reforçar ou aumentar as motivações para uso de redes sem fio comunitárias.

A maioria das redes sem fio comunitárias foram criadas sem fins comerciais e utilizam uma topologia em malha [4], [5]. Em geral, essas características são responsáveis por algumas propriedades relevantes da rede. Em uma rede em malha sem fio é comum surgirem nós críticos, cuja remoção pode provocar

congestionamentos de caminhos ou ruptura da conectividade. Além disso, a topologia da rede pode mudar de maneira significativa ao longo do tempo devido a eventos como entrada ou saída de nós e estabelecimento ou rompimento de enlaces. Essas alterações podem levar a mudanças na classificação relativa dos nós quanto a sua importância, ou seja, quão críticos são os nós para a rede como um todo. Identificar, classificar (ou rotular) e monitorar os nós mais importantes de uma rede são ações que auxiliam os administradores desse tipo de infraestrutura. As informações sobre os nós importantes podem também ser utilizadas para automatizar tarefas como a prevenção de rupturas na rede ou o uso mais eficiente de múltiplos caminhos da rede.

Em redes sem fio comunitárias com topologia em malha, os nós podem funcionar como roteador apenas ou como roteador e ponto de acesso (AP – *Access Point*). Há também o nó do tipo cliente que não oferece acesso a outros e nem reencaminha pacotes. Por essa razão, esse tipo de nó não apresenta valor para a rede, embora atendê-lo apresente. Ou seja, tornar-se um nó AP implica aumentar sua importância dentro da rede [4]. Porém, a maior relevância é alcançada por encaminhar tráfego (ou fluxo) de outros nós roteadores e/ou APs. Além disso, os nós roteadores podem se tornar mais importantes quando se ligam também à Internet. Se apenas aspectos topológicos da rede forem levados em conta e a dinamicidade do ambiente for desprezada, há métricas de centralidade como PageRank [6], EVC (*Eigenvector Centrality*) [7] e LBC (*Localized Bridging Centrality*) [8] que podem classificar adequadamente os nós. No entanto, caso o volume efetivo de tráfego de pacotes e as alterações dinâmicas da rede precisem ser capturadas, essas métricas não são suficientes.

Em [9], os autores propõem a métrica LLBC (*Localized Load-aware Bridging Centrality*) que incorpora à métrica LBC o tráfego de pacotes. O LLBC foi avaliado em uma pequena rede em malha com oito nós, apresentando alguns resultados promissores. No entanto, identificamos algumas deficiências nessa métrica. Conforme apresentaremos posteriormente, sob algumas condições convencionais da própria rede avaliada, a métrica leva à classificação inadequada dos nós. Além disso, conforme descrito pelos autores, a métrica considera apenas o histórico recente da rede após a última medição realizada. Em nossa avaliação, observamos que essa abordagem leva a oscilações severas na rotulação dos nós ao longo do tempo, o que não reflete corretamente o comportamento observado na rede.

A partir do LLBC, desenvolvemos uma nova métrica chamada DyLaN – *Dynamic Labeling of Nodes*. Nossa métrica também utiliza a *egocentric betweenness centrality* para iden-

Diego Américo Guedes, Éder dos Santos Silva e Kleber Vieira Cardoso. Instituto de Informática (INF), Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia-GO, Brasil. E-mails: {diegoguedes, edersilva, kleber}@inf.ufg.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq No. 590022/2011-3, CAPES e FAPEG Proc. No. 200910267000343.

tificar a importância topológica de um nó dentro da sua vizinhança. No entanto, o cálculo utilizado para estimar o impacto do tráfego de pacotes na importância do nó é alterado para refletir a relevância do encaminhamento de informação para terceiros. Além disso, o histórico de longo prazo passa a ser contabilizado na nossa métrica. Inicialmente, mostramos que a nossa métrica é mais adequada que a LLBC em sua rede original que foi recriada de maneira sintética. Posteriormente, avaliamos as duas métricas com dados coletados de uma grande rede sem fio comunitária. Novamente, a métrica DyLaN mostra uma rotulação mais adequada dos nós, sobretudo quando é aplicada de maneira dinâmica.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção II, apresentamos uma breve descrição das métricas de centralidade aplicáveis ao problema proposto. Descrevemos a métrica DyLaN em detalhes na Seção III. Na Seção IV, apresentamos a avaliação das métricas LBC, LLBC e DyLaN. Por fim, na seção V, realizamos as considerações finais e comentamos algumas perspectivas para os trabalhos futuros.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

A importância relativa dos nós em uma rede qualquer é um tema estudado há bastante tempo [10]. Na teoria de Redes Complexas ou Ciência de Redes, o conceito de importância relativa pode ser mensurado através de métricas de centralidade. Apesar de existir uma grande quantidade de métricas de centralidade [6], [7], [11], [12], a dinamicidade inerente a determinados tipos de rede começou a ser abordada de maneira mais efetiva a menos de uma década [13]. Em redes dinâmicas, uma métrica de centralidade precisa levar em conta pelo menos um fator que altere a classificação dos nós ao longo do tempo. Dentre esses fatores estão o volume real de tráfego, os caminhos utilizados efetivamente na rede e as alterações topológicas.

Redes sem fio comunitárias organizadas em uma topologia em malha são exemplos de redes dinâmicas nas quais diferentes características se alteram ao longo do tempo, refletindo em mudanças no nível de importância dos nós. Embora existam outros tipos de redes sem fio que utilizam topologia em malha, como redes de sensores e redes em malha para *smart grids*, as redes sem fio comunitárias apresentam algumas peculiaridades. Em geral, as redes comunitárias utilizam dispositivos de baixo custo e há pouca homogeneidade de hardware, levando a enlaces com características diferentes e que podem apresentar oscilações significativas na qualidade do sinal ou rupturas. O fluxo da rede pode variar de maneira significativa devido a fatores como flutuação na demanda dos usuários, mobilidade de nós clientes, alterações no roteamento e mudanças na taxa de transmissão efetiva dos enlaces.

A seguir, apresentamos uma breve descrição das métricas BC (*Bridging Centrality*), LBC e LLBC. A métrica LLBC será utilizada na avaliação comparativa com a nossa métrica, enquanto as métricas BC e LBC apresentam conceitos importantes tanto para a LLBC quanto para a DyLaN.

### A. Centralidade de ponte

Em [12], os autores introduziram o conceito de **nó ponte** (*bridging node*) que é um nó localizado entre módulos,

ou seja, é um vértice que interliga componentes densamente conectados em um grafo. Os nós ponte possuem valores de centralidade de ponte (*bridging centrality – BC*) mais elevados que os dos demais nós do grafo. A centralidade de ponte de um nó  $v$  é expressa da seguinte forma:

$$BC(v) = \beta(v) * C_B(v), \quad (1)$$

onde  $\beta(v)$  é o coeficiente de ponte que classifica localmente o nó, em função do seu grau, em relação ao de seus vizinhos.  $C_B(v)$  é a centralidade de intermediação (*betweenness centrality*), a qual mensura a importância global do nó, tomando como critério a proporção de caminhos mais curtos entre todos os pares de nós que passam por ele.

O coeficiente de ponte de um nó  $v$  é definido por:

$$\beta(v) = \frac{d(v)^{-1}}{\sum_{i \in N(v)} \frac{1}{d(i)}}, \quad (2)$$

onde  $d(v)$  é o grau do nó  $v$ ,  $d(i)$  é o grau de um nó  $i$  vizinho a  $v$  e  $N(v)$  é o conjunto de vizinhos do nó  $v$ .

A centralidade de intermediação de um nó  $v$  é definida por:

$$C_B(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\rho_{st}(v)}{\rho_{st}}, \quad (3)$$

em que  $s, v, t \in V$ , um conjunto de vértices de um grafo conexo.  $\rho_{st}$  é o número de menores caminhos do nó  $s$  até o nó  $t$  e  $\rho_{st}(v)$  é o número de menores caminhos do nó  $s$  até o nó  $t$  que passam pelo nó  $v$ .

A métrica BC precisa de informações sobre todos os nós da rede para calcular a centralidade de intermediação. A complexidade computacional e o cálculo centralizado da métrica BC podem ser vistos como desvantagens, conforme discutido pelos autores de [8]. Nesse trabalho, os autores propuseram a métrica LBC para identificação de nós ponte. A métrica LBC equivale funcionalmente à BC, porém possui um custo computacional menor e pode ser calculada de maneira distribuída.

A centralidade localizada de ponte de um nó  $v$  é expressa da seguinte forma:

$$LBC(v) = C_{Ego}(v) * \beta(v), \quad (4)$$

onde  $C_{Ego}(v)$  é a centralidade egocêntrica de intermediação (*egocentric betweenness centrality*), a qual é calculada de maneira similar a de versão social (Equação 3), porém tomando apenas nós  $s$  e  $t$  que sejam vizinhos de  $v$ . O coeficiente de ponte,  $\beta(v)$ , ainda é calculado conforme a Equação 2.

### B. Tráfego efetivo na rede

A centralidade de intermediação, usada nas métricas BC e LBC, pressupõe que todos os caminhos entre todos os pares de nós são utilizados igualmente. Essa suposição não é adequada para uma rede em malha, conforme mostrado pelos autores de [9]. Em uma rede em malha, os autores observaram que a distribuição de tráfego geralmente não é uniforme e o nó que possui acesso à Internet tende a ter maior carga de tráfego. Para tentar capturar com maior acurácia o comportamento da

rede, os autores propuseram a métrica LLBC que leva em consideração o tráfego efetivo nos nós.

A métrica LLBC calcula localmente a carga de tráfego (medida em *bytes*) em cada nó  $v$ , da seguinte forma:

$$Load(v) = In(v) + Out(v) + 2 * Fwd(v), \quad (5)$$

onde  $In(v)$  representa os *bytes* destinados a  $v$ ,  $Out(v)$  corresponde aos *bytes* originados por  $v$  e  $Fwd(v)$  contabiliza os *bytes* que foram reencaminhados por  $v$ . Nós que não são roteadores, normalmente, têm  $Fwd(v)$  igual a zero. O maior peso atribuído a  $Fwd(v)$  apenas corresponde ao fato dos *bytes* reencaminhados chegarem e saírem do nó  $v$ .

A partir da carga de tráfego, é calculado o coeficiente de carga, como segue:

$$\beta_t(v) = \frac{Load(v)}{\sum_{i \in N(v)} Load(i)}, \quad (6)$$

onde  $Load(i)$  é a carga de tráfego de um nó  $i$  vizinho a  $v$  e  $N(v)$  é o conjunto de vizinhos do nó  $v$ .

A métrica LLBC é então expressada como:

$$LLBC(v) = C_{Ego}(v) * \beta_t(v). \quad (7)$$

Apesar da métrica LLBC ter sido proposta para tratar alterações dinâmicas na rede, a avaliação apresentada em [9] trata apenas cenários estáticos. Além disso, a avaliação não trata cenários convencionais que podem levar à classificação inapropriada dos nós. Na Seção IV, realizamos avaliações adicionais da métrica LLBC que ilustram suas deficiências.

### III. CLASSIFICAÇÃO DINÂMICA DOS NÓS

Inicialmente, realizamos um levantamento das características das redes sem fio comunitárias para descobrir quais aspectos deveriam ser levados em conta para determinar a importância de cada nó. Neste trabalho, temos interesse especial em redes sem fio comunitárias organizadas em uma topologia em malha, por serem o tipo mais comum [4] e por serem aplicáveis a uma maior quantidade de cenários.

Conforme comentamos anteriormente, redes sem fio comunitárias em malha são geralmente construídas com ampla variedade de hardware e com foco em estabelecer comunicação. Ou seja, aspectos de qualidade e robustez são colocados em segundo plano, devido ao custo associado. A consequência é a criação de redes com nós e enlaces diversificados em vários aspectos. Nessas redes, é comum encontrar nós que permanecem em operação durante longos períodos de tempo, assim como existem nós intermitentes. De maneira similar, pode haver enlaces com alta capacidade de transmissão e baixa taxa de erros, enlaces com baixa capacidade, enlaces com alta taxa de erros, enlaces intermitentes, etc. Além disso, redes sem fio comunitárias em malha costumam atender a uma ampla variedade de usuários e aplicações. Há usuários avançados que permanecem longos períodos de tempo conectados à rede, utilizando aplicações variadas. É comum encontrar também usuários convencionais que acessam a rede durante períodos de tempo menores e que têm interesse em aplicações convencionais como *Web* ou *VoIP*. É comum também encontrar nós da

rede que funcionam como APs para usuários móveis, os quais podem gerar demanda altamente variável em determinadas partes da rede.

Posteriormente, realizamos vários testes com a métrica LLBC com intuito de avaliar seu comportamento ao ser aplicada a uma rede sem fio comunitária. Identificamos suas deficiências e descobrimos que a métrica falhava também em outros cenários, inclusive no ambiente proposto por seus autores, desde que determinadas características fossem alteradas.

Sintetizamos as informações coletadas para definir as premissas nas quais a nossa métrica seria desenvolvida, a saber:

*premissa 1* – a posição topológica do nó e o fluxo de pacotes efetivamente passando por ele são elementos determinantes de sua importância;

*premissa 2* – o encaminhamento de pacotes que um nó realiza para atender outros nós deve influenciar sua importância;

*premissa 3* – a história da importância do nó deve ser levada em consideração.

Observamos que apenas a *premissa 1* era atendida adequadamente pela métrica LLBC. No entanto, o não atendimento da *premissa 2* pode, em determinados cenários, levar a classificação inapropriada dos nós, ainda que apenas uma avaliação instantânea (ou estática) esteja sendo realizada. Apresentamos um exemplo dessa falha na Seção IV.

Na métrica LLBC, a *premissa 2* não é atendida porque o reencaminhamento de tráfego (ou fluxo) de pacotes para outros nós é contabilizado com o mesmo peso que o fluxo destinado para ou originado do nó. Essa estratégia não representa o impacto que a remoção de um nó roteador tem no fluxo da rede, podendo levar a congestionamentos ou rupturas de conectividade. Além disso, essa abordagem não representa o custo adicional que um nó roteador tem ao reencaminhar pacotes de outros nós, pois não leva em conta o uso de seus recursos (processamento, memória, banda, etc.) e a competição com seu próprio tráfego. Assim, propomos alterar o cálculo da carga de tráfego em cada nó  $v$  como segue:

$$Load(v) = In(v) + Out(v) + 3 * Fwd(v). \quad (8)$$

Na nossa métrica, o coeficiente de carga,  $\beta_t(v)$ , também é utilizado e é calculado de acordo com a Equação 6.

Os autores da métrica LLBC reconhecem que a carga de tráfego nos nós se altera ao longo do tempo, porém não levam em consideração outras alterações da rede, como a variação da qualidade dos enlaces ou mudanças topológicas na rede. Para tratar as flutuações no tráfego da rede, os autores da LLBC sugerem amostrar periodicamente os valores da métrica, embora não mostrem nenhum resultado dessa abordagem. Além disso, os autores afirmam que apenas a carga de tráfego da amostragem mais recente deve ser levada em conta, desprezando o histórico de medições. Assim, a LLBC não atende à *premissa 3* e, conforme ilustraremos na Seção IV, essa métrica não é capaz de fornecer uma informação consistente sobre a importância dos nós ao longo do tempo.

Em nossa métrica, levamos em consideração o histórico de medições através de um média móvel ponderada exponencialmente (*Exponentially Weighted Moving Average* – EWMA). Como podem haver flutuações significativas e de curta duração

entre as amostras, foi escolhido um peso menor para a amostra mais recente. Enfim, para um nó  $v$  da rede, nossa métrica é calculada da seguinte forma:

$$L_t(v) = L_{t-1}(v) * 0,9 + \beta_t(v) * C_{Ego}(v) * 0,1, \quad (9)$$

onde  $t \in \mathbb{N}^*$ ,  $L_{t-1}(v)$  é o cálculo anterior da métrica e  $L_0(v) = 0$ . É importante observar que a nossa métrica é projetada para atualizar a classificação dos nós ao longo do tempo, utilizando apenas informações egocêntricas e podendo ser computada de maneira distribuída.

A nossa métrica foi chamada de *Dynamic Labeling of Nodes* (ou DyLaN) por ser capaz de classificar ou rotular de maneira adequada e dinâmica os nós de redes sem fio organizadas em malha, conforme mostraremos na próxima seção.

#### IV. AVALIAÇÃO

Nesta seção, apresentaremos os resultados da aplicação das métricas em duas redes: 1) *Dart-Mesh* [8] – pequena rede sem fio em malha onde a métrica LLBC foi originalmente avaliada e 2) *Wireless Leiden* [14] – grande rede sem fio comunitária da cidade de Leiden, na Holanda. A LBC não é avaliada no cenário dinâmico porque o fragmento de rede selecionado para análise não apresenta alterações topológicas, apenas flutuações no tráfego de pacotes.

##### A. Dart-Mesh

*Dart-Mesh* é uma rede sem fio em malha com 16 nós baseados em Linux, na qual cada nó possui duas interfaces 802.11b e utiliza o protocolo de roteamento OLSR (*Optimized Link State Routing*) para estabelecimento de caminhos. Essa rede foi implantada no Departamento de Ciência da Computação da Dartmouth *College* para dar apoio a pesquisas relacionadas a redes sem fio. A Figura 1 ilustra uma parte da rede que foi utilizada pelos autores do LLBC [9] e também neste trabalho.

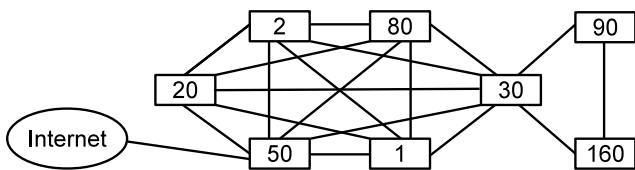


Fig. 1. *Dart-Mesh*

Inicialmente, foi realizada uma classificação dos nós com os dados disponíveis no artigo [9]. No referido trabalho, os autores não forneceram os valores de  $In(v)$ ,  $Out(v)$  e  $Fwd(v)$  para cada nó  $v$  e, ao serem contactados, informaram não ter mais os dados disponíveis. Por essa razão, esses valores foram estimados, com base nos dados do artigo [9], para computar as métricas LLBC e DyLaN. O intuito dessa classificação é validar a nossa implementação das métricas LBC e LLBC, além de realizar uma avaliação inicial da métrica DyLaN. A Tabela I apresenta os resultados da classificação gerada pelas métricas para o seguinte cenário. A topologia da rede (Figura 1) não é alterada durante o intervalo de 10 minutos, no qual o experimento é executado, e um cliente móvel utiliza o nó 80 como AP para receber grandes arquivos da Internet.

Nó	LLBC- $\beta(t)$	DyLaN- $\beta(t)$	$C_{Ego}$	LBC	LLBC	DyLaN
50	0,9744	1,4576	5	0,577	4,872	0,728
30	0,0043	0,0041	10	0,726	0,043	0,004
80	0,9620	0,6470	0	0	0	0
1	0,0042	0,0035	0	0	0	0
2	0,0038	0,0033	0	0	0	0
20	0,0035	0,0029	0	0	0	0
160	0,2570	0,2350	0	0	0	0
90	0,2480	0,2280	0	0	0	0

TABELA I

Classificação dos nós da rede *Dart-Mesh*, tendo nó 80 como AP

A métrica LBC classifica o nó 30 como o mais importante porque privilegia aspectos topológicos, supondo que há uniformidade na distribuição do tráfego ao longo da rede. Os valores dos coeficientes de carga, tanto da LLBC quanto da DyLaN, mostram que esse fato não ocorre durante esse experimento. Nesse cenário, temos interesse que o nó que provê o acesso à Internet seja rotulado como o mais importante, conforme indicam a LLBC e a DyLaN. É interessante observar que a oferta de acesso ao nó móvel elevou de maneira significativa o coeficiente de carga do nó 80. No entanto, o fato dele não ser um caminho obrigatório para nenhum de seus vizinhos impede que sua importância seja representativa. As classificações apresentadas pelas métricas LLBC e DyLaN são as desejadas para esse cenário.

Posteriormente, realizamos algumas avaliações, reposicionando a principal fonte de tráfego, ou seja, o cliente móvel, para outros nós. A Tabela II ilustra a classificação dos nós quando o cliente móvel utiliza o nó 30 como AP.

Nó	LLBC- $\beta(t)$	DyLaN- $\beta(t)$	$C_{Ego}$	LBC	LLBC	DyLaN
50	0,9744	1,4571	5	0,577	4,872	0,728
30	0,9569	0,6464	10	0,726	9,569	0,646
80	0,0044	0,0036	0	0	0	0
1	0,0042	0,0035	0	0	0	0
2	0,0038	0,0033	0	0	0	0
20	0,0035	0,0029	0	0	0	0
160	0,0030	0,0032	0	0	0	0
90	0,0029	0,0031	0	0	0	0

TABELA II

Classificação dos nós da rede *Dart-Mesh*, tendo nó 30 como AP

Nesse cenário, a métrica LLBC indica que o nó mais importante é o nó 30. No entanto, essa alteração não corresponde à realidade, pois o nó 50 continua sendo o único acesso à Internet e de onde flui o tráfego para o cliente móvel. A métrica DyLaN continua indicando o nó 50 como o mais importante, tendo o nó 30 em segundo lugar. A diferença entre os valores de centralidade dos nós 50 e 30 diminuiu, refletindo a elevação significativa do tráfego no nó 30. Esse resultado ilustra como a DyLaN é capaz de detectar alterações nos caminhos dos fluxos, através de ajustes nos valores de centralidade, e ainda manter uma classificação satisfatória dos nós.

##### B. Wireless Leiden

A *Wireless Leiden* [14] foi uma das primeiras redes sem fio comunitárias do mundo a utilizar a tecnologia 802.11b e ainda é uma das maiores em operação. Durante o período em que tivemos acesso à rede, identificamos 89 nós com as funções de roteador (ou *backbone*) e de AP, além de 19 nós (chamados de *proxies*) com a função de roteador e que forneciam conexão

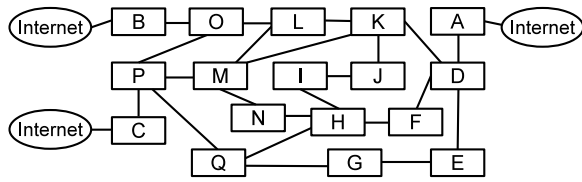


Fig. 2. Parte analisada da rede Wireless Leiden

à Internet. Obtivemos acesso à rede graças à atitude altruísta dos voluntários que a operam e à política de sua fundação mantenedora apoiar a pesquisa científica.

Escolhemos uma parte da rede *Wireless Leiden* para análise porque nem todos os nós permitiam a coleta de dados sobre fluxos. Além disso, tínhamos o interesse em avaliar um sub-grafo conexo da rede. Assim, foram selecionados os 17 nós ilustrados na Figura 2, dos quais 3 oferecem acesso à Internet e o restante funciona como roteador e AP. Por questão de privacidade, os nós foram anonimizados.

Os valores de  $In(v)$ ,  $Out(v)$  e  $Fwd(v)$  foram coletados em cada nó  $v$  em intervalos de 10 minutos, com o intuito de facilitar a comparação com a métrica LLBC. Conforme sugerem os autores de [9], os valores coletados correspondem ao acumulado dentro desse intervalo. A Figura 3 mostra a classificação gerada pela métrica LLBC a cada medição. O descarte do histórico das coletas se mostra equivocado, produzindo alterações significativas na classificação da LLBC.

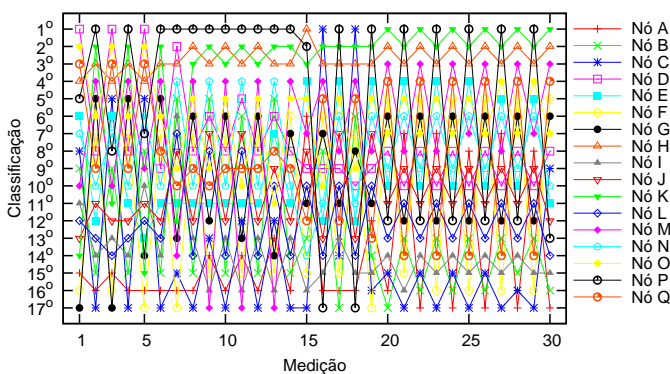


Fig. 3. Classificação dos nós da Wireless Leiden com a métrica LLBC

A Figura 4 apresenta a classificação gerada pela métrica DyLaN. A partir da quinta medição, a classificação tende a estabilizar. A única alteração significativa ocorre com o nó C que é um dos roteadores para acesso à Internet. Essa mudança foi motivada por flutuações severas no fluxo de pacotes encaminhados. Os eventos específicos não foram identificados, mas a equipe de gerência da rede informou que é comum haver ruptura temporária da comunicação com algum *proxy*, gerando reencaminhamento do tráfego para outros *proxies*. Na topologia ilustrada pela Figura 2, não é viável apresentar uma discussão sobre a coerência da classificação dos nós porque não há informações suficientes para essa avaliação. Vários vértices e suas respectivas arestas não estão representados. Além disso, a rede *Wireless Leiden* permite que os usuários escolham quais *proxies* desejam utilizar para acesso à Internet, criando cenários onde há nós como o A e o B com volume de tráfego muito baixo.

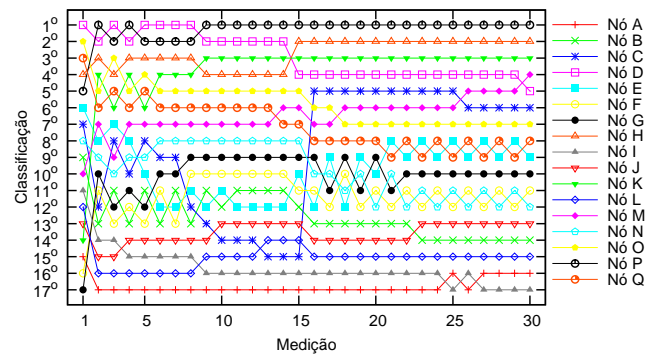


Fig. 4. Classificação dos nós da Wireless Leiden com a métrica DyLaN

## V. CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresentamos uma nova métrica para a classificação de nós em redes sem fio comunitárias. A métrica DyLaN conseguiu identificar nós efetivamente importantes para a rede, rotulá-los de maneira adequada e lidar com as flutuações de tráfego comuns em redes sem fio. Como trabalhos futuros, planejamos ampliar a capacidade de classificação da métrica, incluindo a identificação de nós que fornecem serviços críticos para a rede, como o DNS, mesmo quando o volume de tráfego para esse tipo de nó é relativamente baixo.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao voluntário Rick van der Zwet pelo suporte técnico e à *Wireless Leiden Foundation* pelo acesso à rede.

## REFERÊNCIAS

- [1] R. van Drunen, D.-W. van Gulik, J. Koolhaas, H. Schuurmans, and M. Vijn, "Building a Wireless Community Network in the Netherlands," in *USENIX/Freenix Conference*, 2003.
- [2] R. Kramer, A. Lopez, and A. Koonen, "Municipal broadband access networks in the Netherlands - three successful cases, and how New Europe may benefit," in *Int. conf. on Access networks (AccessNets)*, 2006.
- [3] F. A. Elianos, G. Plakia, P. A. Frangoudis, and G. C. Polyzos, "Structure and Evolution of a Large-Scale Wireless Community Network," in *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks & Workshops (WoWMoM)*, 2009.
- [4] P. A. Frangoudis, G. C. Polyzos, and V. P. Kemerlis, "Wireless Community Networks: An Alternative Approach for Nomadic Broadband Network Access," *IEEE Communications Magazine*, 2011.
- [5] M. H. Manshaei, P. Marbach, and J.-P. Hubaux, "Evolution and market share of wireless community networks," in *ICST international conference on Game Theory for Networks (GameNets)*, 2009.
- [6] S. Brin and L. Page, "The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine," *Computer Networks and ISDN Systems*, 1998.
- [7] P. Bonacich and P. Lloyd, "Eigenvector-like measures of centrality for asymmetric relations," *Social Networks*, 2001.
- [8] S. Nanda and D. Kotz, "Localized Bridging Centrality for Distributed Network Analysis," in *International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, 2008.
- [9] S. Nanda and D. Kotz, "Social Network Analysis Plugin (SNAP) for Mesh Networks," in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2011.
- [10] L. Katz, "A new status index derived from sociometric analysis," *Psychometrika*, 1953.
- [11] F. Salveti and S. Srinivasan, "Local flow betweenness centrality for clustering community graphs," in *International conference on Internet and Network Economics (WINE)*, 2005.
- [12] W. Hwang, T. Kim, M. Ramanathan, and A. Zhang, "Bridging centrality: graph mining from element level to group level," in *ACM international conference on Knowledge discovery and data mining (SIGKDD)*, 2008.
- [13] S. P. Borgatti, "Centrality and network flow," *Social Networks*, 2005.
- [14] W. L. Foundation, "Wireless Leiden." <http://www.wirelessleiden.nl/>, 2002. [Último acesso: 20-Fev-2012].