

Análise de limitantes de atraso do procedimento de acesso aleatório para NB-IoT

Gustavo Baracat e José Marcos Camara Brito

Resumo— *Narrowband Internet of Things (NB-IoT)* é uma tecnologia celular que provê conexão para um número massivo de dispositivos de baixo custo e de baixo consumo de energia. Este artigo descreve a análise de limitantes de atraso para o NB-IoT, calculando atraso mínimo e atraso máximo no procedimento de acesso aleatório, visando a melhor solução na configuração dos parâmetros da rede a fim de atender as necessidades de capacidade de acesso e taxa de dados.

Palavras-Chave—*NB-IoT, Acesso Aleatório, NPRACH, parâmetros, atraso.*

Abstract— *Narrowband Internet of Things (NB-IoT)* is a cellular technology that will provide connection for a massive number of low-cost and low-power devices. This paper describes the analysis of delay bounds for the NB-IoT, calculating minimum delay and maximum delay in the random access procedure, aiming at the best solution in the configuration of the network parameters in order to meet the access capacity and data rate requirements.

Keywords—*NB-IoT, Random Access, NPRACH, parameters, delay.*

I. INTRODUÇÃO

A primeira geração (1G) de redes de comunicações móveis oferecia apenas comunicações de voz analógicas, e somente a segunda geração (2G) ofereceu mensagens de texto e transmissão de dados com baixas taxas. Após isso, cada nova geração tinha como objetivo principal fornecer taxas de dados mais altas. A terceira geração (3G) ofereceu taxas de dados que alcançaram 2 Mbps, e a quarta geração (4G), suportando aplicações multimídia de alta capacidade, oferece taxas de dados que alcançam 1 Gbps [1]. O próximo passo é a quinta geração (5G), que teve seu processo de normalização iniciado em 2014 e está previsto para ser concluído em 2020 [2].

A 5G deve suportar novas aplicações, onde uma taxa de dados maior não é o único requisito para a rede móvel. Um dos cenários previstos para a 5G é denominado de MMTC (*Massive Machine Type Communication*), em que o conceito IoT (*Internet of Things*), ou Internet das Coisas, será utilizado para prover serviços para um número massivo de terminais. Os serviços associados à IoT abrangem diversas áreas e setores, tais como: *wearables, quantified self*, casas conectadas e casas inteligentes, carros conectados e carros autônomos, drones, cidades inteligentes, indústrias inteligentes, *e-health, smart grids*, logística inteligente, agricultura de precisão, etc.

A IoT é definida pelo IERC (IoT *European Research Cluster*) como “a dynamic global network infrastructure with self-configuring capabilities based on standard and interoperable communication protocols where physical and virtual things have identities, physical attributes, and virtual personalities, use intelligent interfaces, and are seamlessly integrated into the information network” [3].

A importância da IoT no cenário das redes de telecomunicações atuais pode ser traduzida pelas seguintes previsões: o número de conexões M2M (*Machine to Machine*) crescerá de 0.5 bilhão em 2014 para 3.2 bilhões em 2019, com uma taxa de crescimento anual de 45% [4]; o número de conexões *wearable* crescerá de 109 milhões em 2014 para 578 milhões em 2019, com uma taxa anual de crescimento de 40% [4]; o tráfego gerado pelos dispositivos *wearables* crescerá de 15 petabytes por mês em 2014 para 277 petabytes por mês em 2019 [4]; o número de dispositivos IoT instalados crescerá de aproximadamente 3 bilhões em 2014 para aproximadamente 23 bilhões em 2019, com uma taxa anual de crescimento de 57% [5]; o mercado de IoT em 2019 deve movimentar aproximadamente US\$ 24 bilhões [5]; o mercado mundial de IoT deve ser da ordem de US\$ 7.1 trilhões em 2020 [6].

Além dos números acima, que servem como um indicativo da importância da IoT, outro aspecto que realça a importância da IoT é a tendência de saturação no número de dispositivos móveis no mundo, que vem crescendo a taxas muito baixas nos últimos anos, mesmo em países como o Brasil. Por exemplo, dados extraídos do site da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) mostram que o número de terminais móveis no Brasil em 2012 era de 254 milhões e que este número diminuiu para 243 milhões em Janeiro de 2017. Esta tendência faz com que as operadoras de telecomunicações tenham que buscar novos serviços e novos mercados para sustentar seu crescimento no futuro próximo, e a IoT é tida como a principal tecnologia que servirá de alavanca para os negócios das operadoras nos próximos anos.

Para suprir a necessidade atual e criar uma base para o desenvolvimento do 5G, o 3GPP finalizou, em meados de 2016, a normalização do NB-IoT (*Narrowband Internet of Things*), que utiliza a rede LTE (*Long Term Evolution*) existente, porém visando a utilização de terminais de baixa complexidade e baixo custo, para que possam ser empregados de forma massiva, operarem em faixa estreita em diversas bandas do espectro, e operarem com baixo consumo de potência [7].

O objetivo deste trabalho é demonstrar quais os limitantes de atraso envolvidos no procedimento de acesso aleatório em uma rede NB-IoT, a fim de obter informações mais precisas sobre a solução de compromisso entre capacidade de acesso, robustez e taxa de dados na rede citada. A análise dos limitantes é um primeiro passo para verificar a capacidade da solução NB-IoT de atender aos

Gustavo Henrique Baracat e José Marcos Camara Brito, Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), Santa Rita do Sapucaí-MG, Brasil, E-mails: gustavo-baracat@gee.inatel.br, brito@inatel.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela Finep, com recursos do Funttel (01.14.0231.00), sob o projeto Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, Brasil.

diversos serviços previstos para a IoT com a QoS (*Quality of Service*) necessária.

Para atingir objetivo proposto, abordaremos o tema em cinco etapas que definem as próximas seções do artigo: primeiro, apresentamos a estrutura de transmissão do NB-IoT, evidenciando suas semelhanças e diferenças com o LTE; Logo após, descreveremos o procedimento de acesso aleatório, bem como os processos que o antecedem, suas definições e parâmetros; posteriormente, analisamos os limitantes de atraso superior e inferior através de dois cenários opostos; e, finalmente, apresentamos os resultados obtidos bem como a direção tomada para futuras pesquisas e as conclusões do artigo.

II. ESTRUTURA DE TRANSMISSÃO DO NB-IoT

Com a finalidade de causar o menor impacto na rede LTE existente, o NB-IoT preserva muitas características do LTE no modo *multi-tone*, como duração de quadro, subquadro e *slot*, sendo que um quadro com 10ms de duração é formado por 10 subquadros com duração de 1ms, e cada subquadro é formado por 2 *slots* com 0,5ms de duração. Já no modo *single-tone*, o quadro também tem 10ms de duração, porém composto por 5 subquadros com 2ms de duração, formados por apenas um *slot* [8].

Uma das principais diferenças se deve ao fato de o NB-IoT ser uma tecnologia que visa diminuição dos custos dos terminais, e com isso opera com largura de banda de 180 kHz, sendo 12 subportadoras com espaçamento de 15 kHz para *multi-tone* em DL(*downlink*) ou UL(*uplink*), ou 48 subportadoras com espaçamento de 3,75 kHz para *single-tone*, somente no UL. Outra grande diferença é o modo de operação *Half-Duplex*, sendo suportado somente o FDD (*Frequency Division Duplex*) e não o TDD (*Time Division Duplex*) [9].

Outro ponto importante são os modos de implementação, que podem ser *In-band*, ocupando um PRB (*Physical Resource Block*) do grid LTE; *Guard-band*, utilizando a banda de guarda do LTE; ou *Stand-alone*, cuja principal ocupação seriam as bandas de 200 kHz do GSM [10].

Na camada física, há ainda uma simplificação quanto ao número de canais e sinais. No DL existem os sinais NPSS (*Narrowband Primary Synchronization Signal*) e NSSS (*Narrowband Secondary Synchronization Signal*) e os canais NPBCH (*Narrowband Physical Broadcast Channel*), NPDCCH (*Narrowband Physical Downlink Control Channel*) e NPDSCH (*Narrowband Physical Downlink Shared Channel*), sendo a ocorrência de cada um deles ilustrada na Figura 1 [11].

		Subquadro									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Quadro Par	NPBCH										
	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPSS	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NSSS
		Subquadro									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Quadro Ímpar	NPBCH										
	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPSS	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH	NPDCCH ou NPDSCH

Fig. 1. Quadro de Downlink.

No UL, existem apenas 2 canais, o NPUSCH (*Narrowband Physical Uplink Shared Channel*) e o NPRACH (*Narrowband Physical Random Access Channel*), canal usado somente durante o procedimento de acesso aleatório e objetivo da análise deste artigo [9].

III. PROCEDIMENTO DE ACESSO ALEATÓRIO

Assim como no LTE, antes de iniciar o PAA (procedimento de acesso aleatório), o UE (*user equipment*) precisa realizar alguns procedimentos, com o objetivo de obter sincronismo de DL e receber informações sobre a célula.

Primeiramente o UE executa o processo de sincronismo de DL, decodificando os sinais NPSS e NSSS. Assim que tiver êxito, o UE passa a receber informações do sistema pelo MIB (*Master Information Block*), através do canal NPBCH. Após receber o MIB, o UE passa a receber todos os SIBs (*System Information Blocks*), de acordo com o agendamento iniciado pelo MIB e completado com o SIB1, onde cada SIB contém diferentes tipos de informações e parâmetros da célula [10][11].

De posse destas informações e parâmetros, o UE realiza a seleção de PLMN (*Public Land Mobile Network*) e em seguida a seleção de célula, a fim de acampar em uma célula adequada pertencente a sua rede de origem. Neste ponto, o UE já recebeu todos os parâmetros da célula relacionados ao PAA, conforme a Tabela I [12].

O PAA é baseado em uma das seguintes solicitações de camadas superiores: iniciar sinalização, iniciar transmissão de dados, iniciar recepção de dados e *exceptional report* [12].

Ao iniciar o procedimento, a transmissão do NPRACH só pode ser iniciada $nprach_StartTime \times 30720 \times T_s$ unidades de tempo após o início do quadro [9] que atenda a seguinte condição em (1):

$$n_f \bmod \left(\frac{nprach_Periodicity}{10} \right) = 0 \tag{1}$$

onde n_f é o número de quadro e T_s é a unidade de tempo de referência no LTE/NB-IoT e é calculada em (2):

$$T_s = \frac{1}{15000 \times 2048} = 32,552ns \tag{2}$$

A transmissão do NPRACH consiste no envio de *nprach-NumRepetitions* preâmbulos sem intervalos, com potência definida pelo número de repetições configurado, e embaralhadas com um dos valores de RA-RNTI (*Random Access Radio Network Temporary Identifier*), que são definidos por um algoritmo dependente do instante de tempo da transmissão [13][14].

TABELA I. PARÂMETROS DO ACESSO ALEATÓRIO

Parâmetro	Valores
<i>nprach-Periodicity</i>	{ms40, ms80, ms160, ms240, ms320, ms640, ms1280, ms2560}
<i>nprach-StartTime</i>	{ms8, ms16, ms32, ms64, ms128, ms256, ms512, ms1024}
<i>nprach-NumSubcarriers</i>	{n12, n24, n36, n48}
<i>nprach-SubcarrierOffset</i>	{n0, n12, n24, n36, n18, n34}
<i>nprach-NumRepetitions</i>	{n1, n2, n4, n8, n16, n32, n64, n128}
<i>maxNumPreambleAttempt</i>	{n3, n4, n5, n6, n7, n8, n10}

<i>ra-ResponseWindowSize</i>	{pp2, pp3, pp4, pp5, pp6, pp7, pp8, pp10}
------------------------------	---

Para o nível mais baixo de repetição, a potência de transmissão é calculada de acordo com (3).

$$P_{NPRACH} = \min(P_{CMAX,c}(i), NPRTP + PL_c) \quad (3)$$

onde $P_{CMAX,c}(i)$ é a potência de transmissão configurada para o UE para o subquadro i da célula servidora c , $NPRTP$ (*Narrowband Preamble Received Target Power*) é a potência do preâmbulo desejada na recepção na eNodeB e PL_c é a perda de propagação estimada, calculada pelo UE para a célula servidora c .

Para qualquer nível de repetição configurado, diferente do mínimo, a potência de transmissão do preâmbulo é calculada de acordo com (4).

$$P_{NPRACH} = P_{CMAX,c}(i) \quad (4)$$

O preâmbulo enviado, como pode ser visto na Figura 2, é uma sequência de 4 grupos de símbolos, transmitidos em subportadora única, com salto em frequência, onde cada grupo é formado por um prefixo cíclico com duração T_{CP} e uma sequência de 5 símbolos iguais, com duração T_{SEQ} , como pode ser visto na Tabela II [9][12].

TABELA II. FORMATOS DO PREÂMBULO

Formato	T_{CP}		T_{SEQ}	
	0	$2048 \times T_s$	$66,66\mu s$	$5 \times 8192 \times T_s$
1	$8192 \times T_s$	$266,66\mu s$	$5 \times 8192 \times T_s$	$1,33ms$

Após enviar os preâmbulos, o UE aguarda uma confirmação da rede dentro de uma janela de resposta com duração igual a *ra-ResponseWindowSize*. Esta janela de resposta se inicia 41 subquadros após o subquadro que contém o fim das repetições do preâmbulo, quando o parâmetro *nprach-NumRepetitions* for maior ou igual a 64 repetições. Caso contrário, a janela de resposta tem seu início 4 subquadros após o subquadro que contém o fim das repetições do preâmbulo [13][14].

Se durante a janela de resposta o UE não detectar no NPDCCH o DCI (*Downlink Control Information*) embaralhado pelo RA-RNTI correspondente, ou se conseguir detectar, porém não houver uma resposta à sequência de preâmbulos transmitida, o UE deve enviar uma nova sequência de preâmbulos, no máximo 12 ms após o subquadro que contém a resposta, respeitando o parâmetro *maxNumPreambleAttempt*, que se refere ao número máximo de tentativas de sucesso, antes de ser considerada uma falha de acesso [13].

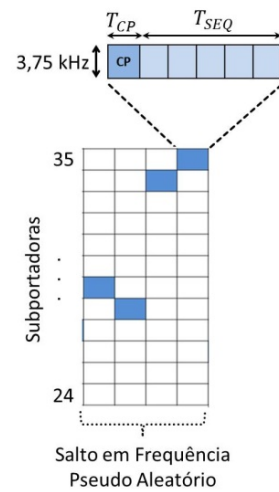


Fig. 2. Preâmbulo.

Porém, se durante a janela de resposta o UE detectar no NPDCCH o DCI embaralhado pelo RA-RNTI correspondente, e houver uma resposta à sequência de preâmbulos transmitida, o UE envia uma solicitação de conexão RRC, utilizando os recursos indicados pela resposta da rede, e aguarda por uma resposta da rede por um período igual ao temporizador T300, conforme a Tabela III [12].

TABELA III. PARÂMETROS DE RRC

Parâmetro	Valores
T300	{ms2500, ms4000, ms6000, ms10000, ms15000, ms25000, m40000, ms60000}

Se houver uma resposta positiva enviada pela rede durante o período indicado, o UE prossegue com a conexão e inicia a transmissão ou recepção de dados, indicando assim o fim do procedimento de acesso aleatório.

Porém, caso não haja uma resposta positiva enviada pela rede durante o período indicado, o UE pode iniciar novamente o procedimento de acesso aleatório, se assim for indicado por camadas superiores (RRC).

IV. ANÁLISE DOS ATRASOS MÍNIMO E MÁXIMO NO PROCEDIMENTO DE ACESSO ALEATÓRIO

Para analisar os limitantes de atraso no procedimento de acesso aleatório, serão considerados dois cenários, onde no primeiro cenário os parâmetros relacionados ao procedimento serão configurados com seus valores mínimos e no segundo cenário estes parâmetros serão configurados com seus valores máximos.

Para definir bem os cenários, a Tabela IV contém os parâmetros relevantes ao cálculo de atraso, com seus valores mínimos e máximos. Serão desconsiderados os parâmetros relacionados à disponibilidade de subportadoras, pois os mesmos não tem nenhum impacto no domínio do tempo, na análise a seguir.

TABELA IV. DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Parâmetros	Cenário 1 Valor Mínimo	Cenário 2 Valor Máximo
<i>nprach-Periodicity</i>	ms40	ms2560
<i>nprach-StartTime</i>	ms8	ms1024
<i>nprach-NumRepetitions</i>	n1	n128
<i>maxNumPreambleAttempt</i>	n3	n10
<i>ra-ResponseWindowSize</i>	pp2	pp10

A. Cenário 1 – Parâmetros com valores mínimos

Considerando que a condição apresentada em (1) seja satisfeita, o UE deve aguardar 8 ms para começar a enviar os preâmbulos. Como o número de repetições é igual a 1, apenas um preâmbulo será transmitido, com duração total de 8 ms (T_{PA}), conforme descrito anteriormente, onde T_{PA} é a duração do preâmbulo.

Como o número de repetições é menor que 64, a janela de resposta será 4 subquadros, ou seja, 8ms após o último subquadro que contém o preâmbulo, e terá duração de 2 períodos de NPDCCH. Como cada NPDCCH ocorre a cada 1 ms, a duração da janela de resposta será de 2 ms.

Caso o UE receba uma resposta em sua primeira tentativa, o tempo mínimo gasto pelo procedimento (T_{min}) é calculado em (5):

$$T_{min} = nprach_StartTime + (nprach_NumRepetitions \times T_{PA}) + T_{esp} + ra_ResponseWindowSize \quad (5)$$

onde T_{esp} é o período de espera, relacionado ao número de repetições configurado, conforme descrito anteriormente.

Substituindo os parâmetros da Tabela IV em (5), tem-se:

$$T_{min} = 26ms \quad (6)$$

Portanto, o menor tempo gasto no procedimento de acesso aleatório, desde o comando que o iniciou até o envio de uma mensagem de requisição de conexão RRC será de 26ms.

B. Cenário 2 – Parâmetros com valores máximos

Para a análise de atraso máximo no procedimento de acesso aleatório, a Equação (5) pode ser utilizada como ponto de partida, porém com $T_{esp} = 82ms$, já que para um número de repetições maior ou igual a 64, o período de espera até a janela de resposta é de 41 subquadros. A duração da janela de resposta também será maior, já que neste cenário, *ra-ResponseWindowSize* é igual a 10 períodos de NPDCCH, ou seja, 10 ms

Além disso, para calcular o máximo atraso, deve-se considerar que a resposta positiva será enviada pela rede somente no final da última tentativa, definida pelo parâmetro *MaxNumPreambleAttempt*, que neste caso é igual a 10.

Como descrito anteriormente, o intervalo entre o final da janela de resposta e o envio dos preâmbulos da tentativa seguinte, não deve exceder 12 ms, portanto neste cenário o valor utilizado será o valor máximo. Uma questão importante

é que o número de intervalos entre as tentativas será igual ao número de tentativas menos um.

O último ponto a ser levado em conta é que para ser considerado atraso máximo, a condição descrita em (1) não pode ser satisfeita no momento em que o UE dispara o procedimento de acesso aleatório. Além disso, para a maior espera possível, o UE deverá esperar por um período igual ao parâmetro *nprach-Periodicity*, para que então a condição em (1) seja satisfeita.

Utilizando a Equação (5) como referência, e introduzindo os novos fatores descritos, chegamos em (7) com o cálculo para o atraso máximo.

$$T_{m\acute{a}x} = nprach_Periodicity + nprach_StartTime + maxNumPreambleAttempt \times [(nprach_NumRepetitions \times T_{PA}) + T_{esp} + ra_ResponseWindowSize] + [(maxNumPreambleAttempt - 1) \times T_{int}] \quad (7)$$

onde T_{int} é o intervalo entre as tentativas de envio de preâmbulo, iguais a 12 ms nesta análise específica.

Substituindo os valores indicados acima, em (7), tem-se:

$$T_{m\acute{a}x} = 14852ms \quad (8)$$

Portanto, de acordo com (8), o maior intervalo de tempo gasto no procedimento de acesso aleatório, desde o comando que o iniciou até o envio de uma mensagem de requisição de conexão RRC será de 14852 ms.

Se incluirmos na análise de limitante superior o envio da mensagem de requisição de conexão RRC e o intervalo máximo da janela de resposta, como indicado na Tabela III, o maior intervalo de tempo gasto no PAA, desde o comando que o iniciou até a designação de recursos através de resposta de conexão RRC, será de 14852 ms acrescido de 60000 ms, totalizando 74852 ms segundos. Porém nestes últimos 60000 ms o UE não mais utilizará o NPRACH, e sim o NPUSCH, conforme informações de recursos disponíveis enviadas através da resposta da rede.

Com isso, chegamos aos limitantes de atraso no PAA, sendo que o menor intervalo de tempo gasto no procedimento será de 26 ms e o maior intervalo de tempo será de 14852 ms se considerarmos somente a ocupação do NPRACH, ou 74852 ms se considerarmos todo o processo, até o estabelecimento da conexão. Porém existem diversas possibilidades de configuração dos parâmetros que envolvem o procedimento, como pode ser visto na Tabela I, cabendo ao operador da rede NB-IoT, definir os melhores valores de parâmetros de acordo com a finalidade e as necessidades da rede.

V. CONCLUSÕES

Como pode-se observar, o procedimento de acesso aleatório, pode levar de 26 ms até 74852 ms para sua conclusão, de acordo com os parâmetros configurados pelo operador na rede NB-IoT, sendo a ocupação máxima do canal NPRACH igual a 14852 ms.

Os parâmetros, por sua vez, deverão atender a solução de compromisso entre capacidade de acesso e taxa de dados, já que o NPRACH ocupa o canal de dados NPUSCH, e quanto maior o tempo de ocupação, maior será a capacidade de acesso da rede, porém menor será a taxa de dados em *uplink*.

Com estas informações, será possível realizar um estudo mais profundo sobre a relação entre capacidade de acesso e taxa de dados em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Wei, R. Q. Hu, Y. Qian, G. Wu, “Key elements to enable millimeter wave communications for 5G wireless systems,” *IEEE Wireless Communications*, pp. 136-143, Dezembro de 2014.
- [2] Workplan, timeline, process and deliverables for the future development of IMT, International Telecommunications Union (ITU), <http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/defaults.aspx>.
- [3] European Research Cluster on the Internet of Things, Internet of Things, http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm.
- [4] T. Barnett Jr, A. Sumits, S. Jain, U. Andra, “Cisco visual networking index update – Global mobile data traffic forecast 2014-2019,” Cisco Knowledge Network, Fevereiro de 2015.
- [5] J. Greenough, *The Internet of everything 2015. BI Intelligence*, <http://www.businessinsider.com/internet-of-everything-2015-bi-2014-12>.
- [6] Gartner, “IT in 2020: Internet of Things, Digital Business Enthusiasm Abounds,” Fevereiro de 2014.
- [7] 3GPP, “Revised work item: Narrowband IoT (NB-IoT),” RP-152284, Dezembro de 2015.
- [8] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 13), TS 36.104, V13.4.0, Junho de 2016.
- [9] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (Release 13), TS 36.211, V13.2.0, Junho de 2016.
- [10] J.Schlienz, D. Raddino, “Narrowband Internet of Things – Whitepaper”, Rhode&Schwarz, 2016
- [11] Y.P.E. Wang, X. Lin, A. Adhikary, A. Grövlén, Y. Sui, Y. Blankenship, J. Bergman, H.S. Razaghi, “A Primer on 3GPP Narrowband Internet of Things (NB-IoT)”, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 55, Issue 3, Março de 2017.
- [12] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (Release 13), TS 36.331, V13.2.0, Junho de 2016.
- [13] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 13), TS 36.213, V13.2.0, Junho de 2016.
- [14] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification (Release 13), TS 36.321, V13.2.0, Junho de 2016.