

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

SCHAIANA SONAGLIO

**Otimização de Controle de Acesso ao Meio em Redes Sem-Fio
Baseada em Teoria dos Jogos**

São José - SC

junho/2019

OTIMIZAÇÃO DE CONTROLE DE ACESSO AO MEIO EM REDES SEM-FIO BASEADA EM TEORIA DOS JOGOS

Pré-Projeto de trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia de Telecomunicações do campus São José do Instituto Federal de Santa Catarina para a aprovação do tema perante banca na disciplina de TCC1.

Orientador: Marcelo Maia Sobral

São José - SC

junho/2019

RESUMO

Em comunicação sem-fio, um dos principais desafios é o controle de acesso ao meio. Os dispositivos adotam estratégias a fim de realizarem transmissões, em que cada um procura atender seus interesses, podendo ter sucesso ou não em cada tentativa. Apesar de não haver cooperação direta, a estratégia de cada dispositivo leva em conta como os demais agem ao buscar reduzir conflitos de transmissão, como em um jogo, em que seus participantes agem de forma independente e buscam obter o maior retorno possível de suas ações. A Teoria dos Jogos é uma ferramenta que pode ser utilizada para modelar e estudar o acesso ao canal. Com base nela, é possível modelar problemas na comunicação sem-fio e identificar estratégias benéficas a todos os usuários. O objetivo deste estudo é propor um controle de acesso ao meio distribuído para cenários *Point-To-Multipoint* (PTMP), com base em Teoria dos Jogos, o qual melhore a utilização do canal sem-fio em relação ao *Media Access Control* (MAC) *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA) do padrão Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.11.

Palavras-chave: Comunicação sem-fio. Teoria dos Jogos. PTMP. CSMA/CA

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – CSMA/CA – Sinalização CTS-RTS.	9
Figura 2 – CSMA/CA – Diagrama de funcionamento.	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma das atividades previstas.	16
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PTMP <i>Point-To-Multipoint</i>	2
PTP <i>Point-To-Point</i>	7
CSMA/CA <i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>	2
IEEE <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	2
MAC <i>Media Access Control</i>	2
RTS <i>Request To Send</i>	9
CTS <i>Clear To Send</i>	9
TCP <i>Transmission Control Protocol</i>	9
CW <i>Janela de Contenção</i>	11
IP <i>Internet Protocol</i>	11
TDMA <i>Time Division Multiple Access</i>	12
ACK <i>Acknowledged</i>	11
IFS <i>Inter Frame Space</i>	9
QoS <i>Quality of Service</i>	13
CPE <i>Customer Premises Equipments</i>	11

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Objetivo geral	8
1.2	Objetivos específicos	8
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1	Protocolo MAC CSMA/CA	9
2.1.1	Mecanismo RTS/CTS	9
2.1.2	Diagrama de funcionamento	10
2.1.3	Backoff exponencial binário	11
2.1.4	Janela de Contenção (CW)	11
2.2	Redes de acesso PTMP	11
2.3	Teoria dos Jogos	12
2.3.1	Tipos de jogos	12
2.3.2	Equilíbrio de Nash	12
2.3.3	Ótimo de Pareto	12
2.3.4	Teoria de Jogos aplicada a redes sem-fio	12
3	PROPOSTA	15
3.1	Problema a ser resolvido	15
3.2	Proposta para a resolução do problema	15
3.3	Cronograma de atividades previstas	16
	REFERÊNCIAS	17

1 INTRODUÇÃO

O padrão Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.11 foi concebido como tecnologia de rede local sem-fio; em nível de enlace, foi incluído neste padrão um protocolo *Media Access Control* (MAC) do tipo com disputa baseado na técnica *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA), que oferece um acesso ao meio estatisticamente justo entre nodos na rede sem-fio. Essa tecnologia tem sido usada em aplicações diferentes do previsto, tais como enlaces *Point-To-Point* (PTP) e *Point-To-Multipoint* (PTMP) de longa distância. No entanto, as características do protocolo MAC reduzem a eficiência dos enlaces nessas aplicações, resultando em taxas de transmissão significativamente inferiores e limitações no particionamento do canal entre as estações envolvidas.

Muitas aplicações de redes sem-fio IEEE 802.11 apresentam quantidades de nodos fixas e conhecidas, além de necessidades de vazão - throughput - predefinidas. Como exemplo, citam-se redes em que provedores interligam diversos clientes com enlaces sem-fio outdoor, com distâncias de alguns quilômetros, e redes de monitoramento com câmeras que possuem interfaces sem-fio. Neste tipo de cenário, as proteções e o tratamento de colisões implementados no protocolo MAC CSMA/CA reduzem significativamente a utilização do canal sem-fio e, conseqüentemente, a taxa efetiva de transmissão experimentada pelos nodos.

O acesso ao meio em redes sem-fio pode ser visto como uma estratégia adotada pelos dispositivos para realizarem transmissões com sucesso. No caso distribuído, como aquele em que o padrão IEEE 802.11 usa o CSMA/CA, cada dispositivo toma decisões sobre o acesso ao meio de forma independente, sem cooperar com demais dispositivos. De certa forma, cada dispositivo procura atender seus interesses e pode ter sucesso ou não em cada tentativa. Apesar de não haver cooperação direta, a estratégia de cada dispositivo leva em conta como os demais dispositivos agem, ao buscar reduzir conflitos de transmissão. Com essas características, o problema do acesso ao meio pode ser considerado uma forma de jogo, em que seus participantes agem de forma independente e buscam obter o maior retorno possível de suas ações.

Segundo Ghorbanpour (2017), a Teoria dos Jogos pode ser vista como um ramo tanto da Matemática Aplicada quanto da Ciência Aplicada. Ela se apresenta como uma coleção de ferramentas matemáticas com o objetivo de compreender, analisar e modelar a interação entre tomadores de decisão racionais. Um jogo consiste de um conjunto de agentes racionais, em que cada um deles possui uma estratégia. Cada agente usa um conjunto de ações que se baseia na otimização de uma função de recompensa ou utilidade. Dependendo da natureza de um jogo, diferentes tipos de soluções podem ser obtidos. Geralmente, a solução de um jogo se baseia no conceito de equilíbrio que garante que um agente obteria a melhor recompensa possível, dadas as estratégias dos demais agentes. Em outras palavras, um agente não conseguiria aumentar sua recompensa mudando unilateralmente sua estratégia no jogo, considerando que os demais agentes mantivessem suas estratégias.

Esses conceitos podem ser aplicados em problemas existentes em redes sem-fio, tais como o controle de acesso ao meio, visto que os dispositivos nesse tipo de rede agem racionalmente em busca de uma recompensa, que seria conseguir transmitir com sucesso no menor tempo possível. O efeito combinado das estratégias dos dispositivos seria maximizar a utilização de canal sem-fio.

1.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é aplicar os conceitos de Teoria dos Jogos para otimização do controle de acesso ao meio em redes sem-fio, com o interesse em reduzir o tempo para transmissão de dados.

1.2 Objetivos específicos

- Estudar os módulos carregáveis do Linux;
- Estudar o conceito de Teoria dos Jogos;
- Modificar o device driver contido no módulo ath9k-htc a fim de criar um jogo de Teoria dos Jogos;
- Fazer a análise do jogo realizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os tópicos apresentados neste capítulo abordam assuntos considerados relevantes para o desenvolvimento do trabalho: Na seção 2.1, é explicado o protocolo MAC CSMA/CA, na seção 2.2, é explicado o conceito de Teoria dos Jogos.

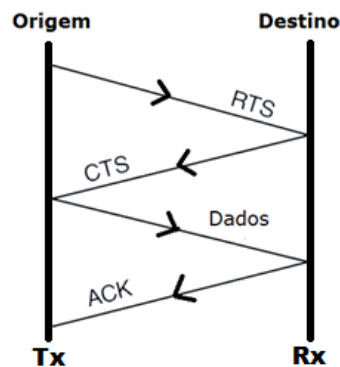
2.1 Protocolo MAC CSMA/CA

Dentro da camada de Enlace de Dados, há a subcamada MAC, que é responsável por determinar como o canal será alocado, ou seja, é a provedora de acesso a um canal de comunicação e o endereçamento neste canal, que possibilita a conexão de diversos computadores numa rede. Na subcamada MAC, funciona um protocolo chamado CSMA/CA, que é responsável por evitar colisões. O CSMA/CA é o protocolo mais usado hoje em redes sem fio. O funcionamento dele consiste em sentir se o meio está livre por um período de silêncio mínimo, chamado *Inter Frame Space (IFS)*, antes de transmitir um quadro de dados; quando o meio estiver livre, se aguarda um tempo aleatório, chamado de tempo de *backoff*, quando este tempo termina, o quadro é enviado. Se, durante o tempo de *backoff*, o meio for utilizado, a contagem do tempo é interrompida e só é retomada quando o canal estiver livre novamente (ANTUNES; IECKER; LIMA, 2019).

2.1.1 Mecanismo RTS/CTS

Caso o CSMA/CA seja complementado pelo mecanismo de *Request To Send (RTS)/Clear To Send (CTS)* (IEEE 802.11 RTS/CTS Exchange), o funcionamento ocorre conforme a Figura 1, onde o nó que deseja se comunicar com outro pede autorização para ele enviando um sinal RTS. Se um nó receber um RTS e estiver livre para se comunicar, ele envia um sinal chamado CTS. Somente depois de receber um CTS, um nó pode começar a transmitir dados para outro. Toda vez que um nó que não está envolvido na troca de dados percebe um RTS ou CTS na rede, ele fica sem enviar dados por algum tempo (MATHIAS, 2000).

Figura 1 – CSMA/CA – Sinalização CTS-RTS.



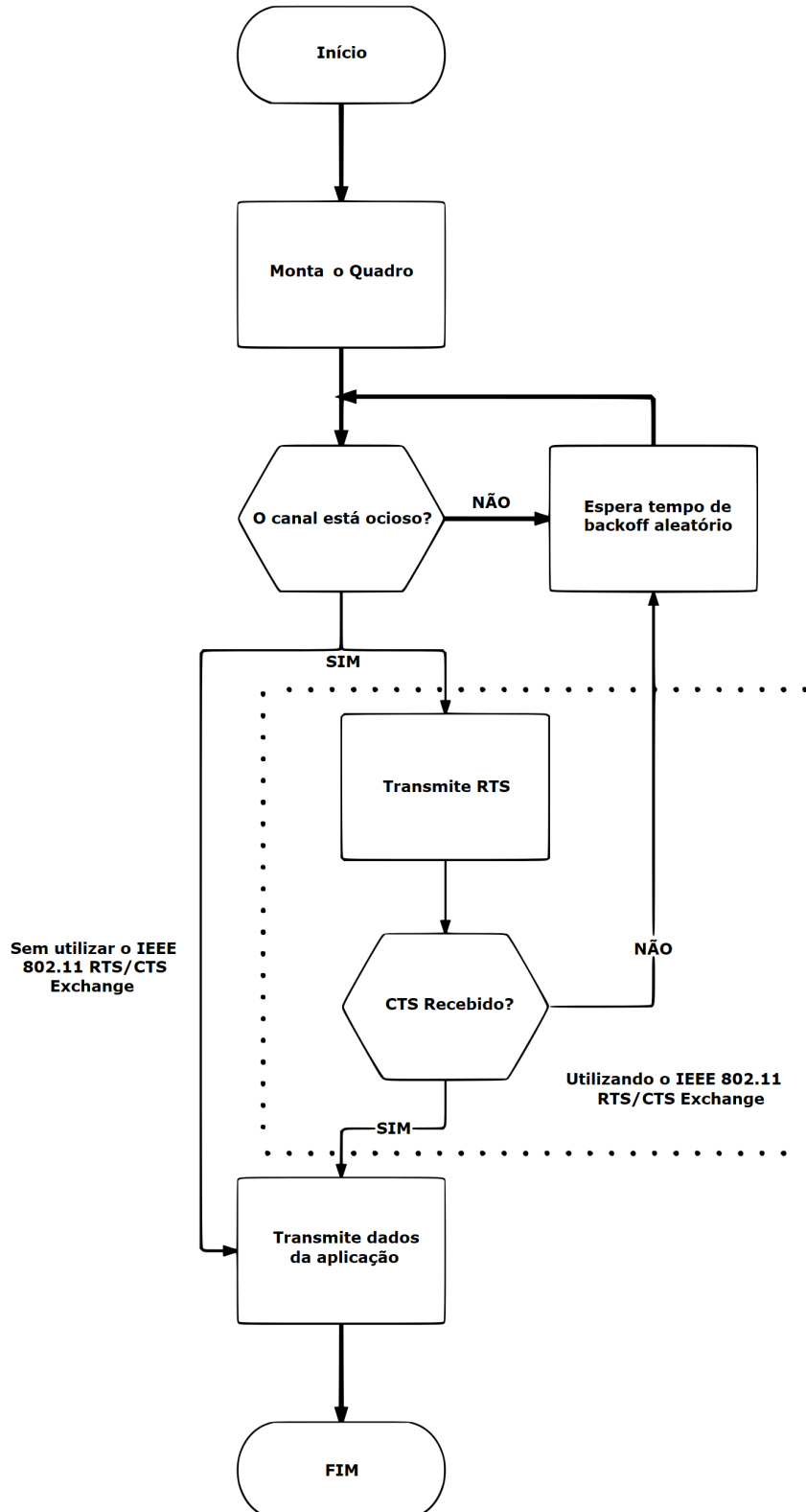
Fonte: Nascimento (2012).

O RTS e CTS do CSMA/CA lembra o *handshake* triplo realizado pelo *Transmission Control Protocol (TCP)* para estabelecer uma conexão antes de iniciar o envio dos segmentos, porém na camada de Enlace (NASCIMENTO, 2012).

2.1.2 Diagrama de funcionamento

Uma explicação mais detalhada do funcionamento do CSMA/CA se encontra no diagrama da Figura 2.

Figura 2 – CSMA/CA – Diagrama de funcionamento.



Fonte: Nascimento (2012).

Caso hajam tentativas de transmissão simultâneas e pacotes com prioridades semelhantes, colisões podem ocorrer, elas ocorrem pela falta de um *Acknowledged* (ACK) num determinado período. Os próximos tópicos abordarão conceitos para o entendimento desta técnica para evitar colisões.

2.1.3 Backoff exponencial binário

Quando uma colisão é prevista, um número aleatório entre 0 e $x'(2^{n+2} - 1)$ é gerado, onde $n = 1, 2, 3, (\dots)$ é o número de transmissões para o mesmo pacote; assim, a primeira colisão gera um período de *backoff* entre 0 e $7x$, a segunda entre 0 e $15x$ e assim sucessivamente. Devido a este incremento no limite superior, este período é chamado *backoff* exponencial binário. O valor de x , chamado *slot time*, depende do tipo de PHY (camada física), variando conforme a transparência do canal na contribuição do período, o tempo de propagação, o tempo de retorno entre o transmissor e receptor e o tempo de processamento da camada MAC (GTA-UFRJ, 2003).

Segundo GTA-UFRJ (2003), o período de *backoff* exponencial pode ser interpretado como sendo uma janela temporal, onde um dispositivo tem a permissão de concorrer pela transmissão de dados. Esta janela é chamada de Janela de Contenção (CW).

2.1.4 Janela de Contenção (CW)

A janela de contenção determina o número de períodos de *backoff* em que o canal deve estar disponível antes de começar a transmitir. Por exemplo, se CW for igual a 2, o dispositivo começará a transmitir somente depois que dois períodos de *backoff* consecutivos, o que resultará em um canal disponível (FARAHANI, 2011).

O valor de CW varia entre um valor mínimo e um valor máximo. Ele é aumentado com o número de retransmissões até um valor CWMax. O valor de CWMax é um parâmetro importante e determina o atraso máximo no acesso. Este atraso no acesso é importante para aplicações em tempo real. Por exemplo, pacotes de voz devem ser entregues de uma aplicação para outra em um quarto de segundo. Ao selecionar um valor de CWMax maior do que poucos milissegundos, nós corremos o risco de um pacote poder ficar sem uso se o mesmo alcançar o canal de comunicação (GTA-UFRJ, 2003).

2.2 Redes de acesso PTMP

O termo comunicações sem fio ponto-a-multiponto se refere a comunicações de dados fixos sem fio para Internet ou voz via *Internet Protocol* (IP), via rádio ou microondas, na faixa dos *gigahertz*.

Ponto-a-multiponto é a abordagem mais popular para comunicações sem fio que possuem um grande número de nós, destinos finais ou usuários finais. Em redes PTMP geralmente se assume que existe uma estação base central para a qual as unidades remotas de assinantes ou Customer Premises Equipments (CPE) são conectados através da mídia sem-fio. As conexões entre a estação de base e as unidades de assinante podem ser de linha de visão ou, para sistemas de rádio de baixa frequência, não visadas (ANDERSON, 2003).

As redes sem fio ponto-a-multiponto que empregam antenas direcionais são afetadas pelo problema do nó oculto (também chamado de terminal oculto) no caso de empregarem um protocolo de controle de acesso ao meio CSMA/CA. O problema do nó oculto acontece quando um nó consegue se comunicar com um ponto de acesso, mas não consegue se comunicar diretamente com outros nós que estão se comunicando com esse ponto de acesso, isso gera dificuldades na camada de controle de acesso ao meio porque múltiplos nós podem tentar transmitir para o ponto de acesso ao mesmo tempo, causando interferência e resultando em nenhum dos pacotes sendo recebidos com sucesso. O impacto negativo do problema do nó oculto pode

ser mitigado usando um protocolo baseado em *Time Division Multiple Access* (TDMA) ou um protocolo de pesquisa ao invés do protocolo CSMA/CA (MESH, 2000).

2.3 Teoria dos Jogos

Segundo Sartini et al. (2004), a teoria dos jogos é uma teoria matemática criada para modelar fenômenos que podem ocorrer quando dois ou mais “agentes de decisão” interagem entre si. Com ela, é possível descrever processos de decisão conscientes e objetivos envolvendo mais do que um indivíduo. A teoria dos jogos pode ser aplicada em eleições, leilões, balança de poder, evolução genética e em matemática pura, sem a necessidade de relacioná-la com problemas comportamentais ou jogos.

O elemento básico de um jogo é o conjunto de jogadores que participam dele; cada um destes jogadores possui um conjunto de estratégias. Quando cada jogador escolhe sua estratégia, é traçado um perfil no espaço de todas as situações possíveis para aquele jogo. Cada jogador possui seus interesses ou preferências em cada uma das situações num jogo; matematicamente falando, cada jogador tem uma função utilidade que atribui um número real (o seu ganho, recompensa ou *payoff*) a cada situação do jogo (SARTINI et al., 2004).

2.3.1 Tipos de jogos

Um jogo é do tipo cooperativo caso os jogadores sejam capazes de formar alianças, por exemplo, através de acordos. Um jogo não é cooperativo se os jogadores não puderem formar alianças ou se todos os acordos precisarem ser através de ameaças confiáveis (SHOR, 2016).

Um jogo cooperativo prevê as ações conjuntas que os grupos tomam e os resultados coletivos obtidos, já um jogo não-cooperativo prevê as ações e recompensas individuais dos jogadores e analisa os equilíbrios de Nash (CHANDRASEKARAN, 2019).

A análise do jogo cooperativo é menos abrangente porque descreve apenas a estrutura e as estratégias do jogo, já a análise de um jogo não-cooperativo analisa também, além dos tópicos citados, como os procedimentos de barganha afetarão a distribuição dos *payoffs* - recompensas - entre os jogadores. Como a teoria dos jogos para os jogos não-cooperativos é mais abrangente, os jogos cooperativos podem ser analisados através dela - o contrário não é válido - desde que sejam feitas suposições suficientes para abranger todas as estratégias possíveis que estão disponíveis aos jogadores (BRANDENBURGER, 2019).

2.3.2 Equilíbrio de Nash

Segundo Alves (2007), o equilíbrio de Nash é uma situação, considerando as decisões tomadas pelos outros jogadores, onde nenhum jogador consegue melhorar sua situação apenas mudando sua própria decisão, ou seja, a decisão tomada por ele é a melhor possível, frente à decisão tomada pelos demais.

2.3.3 Ótimo de Pareto

Segundo Fudenberg e Tirole (1991), o Ótimo de Pareto ocorre quando, numa determinada situação, é impossível realocar recursos de forma a melhorar a situação de qualquer participante sem piorar a situação individual de algum outro participante.

2.3.4 Teoria de Jogos aplicada a redes sem-fio

Segundo Han et al. (2012), a teoria dos jogos pode ser aplicada para resolver problemas em sistemas sem fio, como os que surgem no controle de potência, formação de rede, controle de admissão,

rádio cognitivo e retransmissão de tráfego.

A teoria dos jogos fornece ferramentas matemáticas suficientes para analisar a competição e a cooperação em um conjunto de múltiplos jogadores com interesses próprios e individuais.

Um dos exemplos mais populares da teoria dos jogos em redes sem fio, segundo [Han et al. \(2012\)](#), diz respeito à modelagem do problema de controle de energia em redes celulares usando jogos não cooperativos. No *uplink* de um sistema celular se deseja um mecanismo que permita aos usuários regular sua potência de transmissão, dada a interferência que eles causam - ou que é causada pelos outros usuários - na rede. E

Como citado anteriormente, em um jogo não cooperativo, vários jogadores estão envolvidos em uma situação competitiva na qual, sempre que um jogador faz um movimento, este movimento tem um impacto sobre outros jogadores ([SHOR, 2016](#)).

Da mesma forma, em um jogo de controle de potência, temos uma situação competitiva na qual o nível de potência de transmissão de um usuário sem-fio pode impactar positiva ou negativamente - por causa da interferência - na taxa de transmissão e *Quality of Service (QoS)* do outros usuários. Como resultado, a resolução de um jogo de controle de potência mostrou ser equivalente a resolver um jogo não cooperativo, por exemplo, encontrando um equilíbrio de Nash ([HAN et al., 2012](#)).

3 PROPOSTA

3.1 Problema a ser resolvido

Em aplicações do tipo PTMP, a tecnologia MAC CSMA/CA, devido às proteções e ao tratamento de colisões que implementa, reduz significativamente a utilização do canal sem-fio e, conseqüentemente, a taxa efetiva de transmissão experimentada pelos nodos. Neste projeto, o foco será no tratamento de colisões, através da implementação de uma alternativa para aumentar a utilização do canal e a taxa de efetiva de transmissão.

3.2 Proposta para a resolução do problema

O acesso ao meio em redes sem-fio pode ser visto como uma estratégia adotada pelos dispositivos para realizarem transmissões com sucesso, como num jogo, em que seus participantes agem de forma independente e buscam obter o maior retorno possível de suas ações; não há cooperação direta, mas a estratégia de cada dispositivo leva em conta como os demais dispositivos agem, ao buscar reduzir conflitos de transmissão.

A proposta deste projeto é modificar o protocolo MAC CSMA/CA para que cada dispositivo busque o melhor aproveitamento possível do canal e, conseqüentemente, aumente a taxa transmissão dos nodos numa rede. Para que isso aconteça, serão feitas intervenções nos registradores do *chipset* Atheros AR9271, mais precisamente o registrador DATA_CW_MIN, que é responsável pelo valor mínimo (CWMin) da janela de contenção (CW), este valor é um dos parâmetros do protocolo MAC.

Enquanto houver sucesso em transmissões de quadros, a estratégia é reduzir o valor do parâmetro CWMin e, em caso de colisões, o seu valor deverá ser aumentado, como num jogo em forma repetida. Com todos os dispositivos operando nesta mesma estratégia, a ideia é que, em um dado momento, haja um equilíbrio e este equilíbrio dependerá da quantidade de dispositivos e da carga de tráfego da rede; nesta situação, o valor de CWmin, em teoria, permanecerá o mesmo, ou seja, seu valor deverá ser fixado no *chipset*.

Após a implementação, uma análise baseada em teoria dos jogos será feita tanto para o resultado esperado quanto para o resultado obtido, visando uma maior explicação do tipo de jogo aplicado e a interação entre os jogadores (dispositivos) envolvidos. O cenário mais simples para a proposta envolverá apenas dois jogadores.

3.3 Cronograma de atividades previstas

A [Tabela 1](#) apresenta o cronograma de atividades previstas para o cumprimento dos objetivos propostos no trabalho.

Tabela 1 – Cronograma das atividades previstas.

Tarefa	Mês						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
A1	✓						
A2		✓					
A3		✓	✓				
A4			✓	✓	✓		
A5					✓	✓	
A6						✓	✓

- A1: Ajustes finais no documento do pré projeto;
- A2: Estudar os módulo carregáveis do Linux;
- A3: Estudar o conceito de Teoria dos Jogos;
- A4: Modificar o device driver contido módulo *ath9k-htc*;
- A5: Fazer a análise do jogo realizado;
- A6: Elaborar o documento final do projeto.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. 2007. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/07_2/rafael_alves/EquilbriodeNash.html>. Citado na página 12.
- ANDERSON, H. *Fixed Broadband Wireless System Design*. Chichester: Wiley Online Books, 2003. 510 p. Citado na página 11.
- ANTUNES, F.; IECKER, G.; LIMA, T. 2019. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2012_2/80211abg/tipos.html>. Citado na página 9.
- BRANDENBURGER, A. 2019. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/289754548/Cooperative-Game-Theory-brandenburger.pdf>>. Citado na página 12.
- CHANDRASEKARAN, R. 2019. Disponível em: <<http://www.utdallas.edu/~chandra/documents/6311/coopgames.pdf>>. Citado na página 12.
- FARAHANI, S. *ZigBee Wireless Networks and Transceivers: The Complete Guide for RF/Wireless Engineers*. Holanda: Elsevier, 2011. 360 p. Citado na página 11.
- FUDENBERG, D.; TIROLE, J. *Game theory*. Massachusetts: MIT Press, 1991. 63 p. Citado na página 12.
- GHORBANPOUR, A. *Game Theory, Wireless Communication Application*. New York: Cambridge University Press, 2017. 553 p. Citado na página 7.
- GTA-UFRJ. 2003. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/seminarios/semin2003_1/fernandes/MAC_3.htm>. Citado na página 11.
- HAN, Z. et al. *Game Theory in Wireless and Communication Networks: Theory, Models, and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 553 p. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- MATHIAS, A. P. 2000. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/00_2/ieee/CSMA.htm>. Citado na página 9.
- MESH, F. 2000. Disponível em: <<http://www.fluidmesh.com/point-to-multipoint-wireless/>>. Citado na página 12.
- NASCIMENTO, M. B. do. 2012. Disponível em: <<http://www.dltec.com.br/blog/cisco/aceso-aos-meios-em-wlans-csmaca-ccna/>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 10.
- SARTINI, B. A. et al. *Uma Introdução a Teoria dos Jogos*. California: Universidade Federal da Bahia, 2004. 64 p. Citado na página 12.
- SHOR, M. 2016. Disponível em: <<http://www.gametheory.net/dictionary/Non-CooperativeGame.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.