



FEUP **FACULDADE DE ENGENHARIA**
UNIVERSIDADE DO PORTO

Redes de computadores

2º trabalho prático

Licenciatura em Engenharia Informática e Computação

Diogo Fernandes (202108752)
José Sereno (202108729)

Dezembro 2023

Contents

1	Introdução	2		
2	Desenvolvimento da aplicação	2		
2.1	Estrutura do código	2		
2.2	Fluxo do programa	2		
3	Configurar e analisar o funcionamento de uma rede	3		
3.1	Experiência 1	3		
3.1.1	Arquitetura da rede	3		
3.1.2	Objetivo	3		
3.1.3	Quais são os comandos necessários para esta experiência?	3		
3.1.4	O que são pacotes ARP e para que são usados?	3		
3.1.5	O que são os endereços MAC e IP dos pacotes ARP e porquê?	3		
3.1.6	Que pacotes é que o comando ping gera?	4		
3.1.7	Quais são os MAC e IP dos pacotes ping?	4		
3.1.8	Como determinar se um pacote é ARP, IP ou ICMP?	4		
3.1.9	Como determinar o tamanho de um pacote recebido?	4		
3.1.10	O que é a interface loopback e porque é que é importante?	4		
3.1.11	Análise dos logs	4		
3.2	Experiência 2	4		
3.2.1	Arquitetura da rede	4		
3.2.2	Objetivo	4		
3.2.3	Quais são os comandos necessários para esta experiência?	4		
3.2.4	Quantos domínios de broadcast existem? O que podemos concluir a partir dos logs? / Análise dos logs	5		
3.3	Experiência 3	5		
3.3.1	Arquitetura da rede	5		
3.3.2	Objetivo	5		
3.3.3	Quais são os comandos necessários para esta experiência?	5		
3.3.4	Que rotas existem nos computadores? Qual o seu significado?	5		
3.3.5	Que informação contém uma entrada da tabela de encaminhamento?	5		
3.3.6	Que mensagens ARP, e os endereços MAC, são observadas e porquê? / Análise dos logs	5		
3.4	Experiência 4	6		
3.4.1	Configuração de um Router Comercial e Implementação de NAT	6		
3.4.2	Quais são os comandos necessários para esta experiência?	6		
3.4.3	Como configurar uma rota estática num router comercial?	6		
3.4.4	Quais são os caminhos seguidos pelos pacotes nas experiências, porquê?	6		
3.4.5	Como configurar o NAT num router comercial?	6		
3.4.6	O que faz o NAT?	6		
3.4.7	Análise dos logs	7		
3.5	Experiência 5	7		
3.5.1	Arquitetura da rede	7		
3.5.2	Objetivo	7		
3.5.3	Quais são os comandos necessários para esta experiência?	7		
3.5.4	Como configurar o DNS num host?	7		
3.5.5	Que pacotes são trocados pelo DNS e que informação é transportada?	7		
3.5.6	Análise dos logs	7		
3.6	Experiência 6	7		
3.6.1	Objective	7		
3.6.2	Quantas conexões TCP são abertas pela aplicação FTP?	7		
3.6.3	Em que conexão é transportada a informação de controlo do FTP?	7		
3.6.4	Quais são as fases de uma conexão TCP?	7		
3.6.5	Como funciona o mecanismo ARQ TCP? Quais são os campos de TCP relevantes?	8		
3.6.6	Como é que o mecanismo de controlo de congestão do TCP funciona? Como é que a taxa de transferência de dados evolui com o passar do tempo?	8		

3.6.7 A taxa de transferência de conexões de dados TCP é perturbada pelo aparecimento de uma segunda conexão TCP? Como? 8

4 Conclusão

5 Anexos

1 Introdução

Objetivos Este projeto teve dois objetivos:

1. Desenvolver uma aplicação em **C** que implemente o protocolo **FTP** - descrito no **RFC959** - para fazer o download de um ficheiro através de um **URL** - a sintaxe deste URL deveria seguir o **RFC1738**.
2. Configurar e analisar o funcionamento de uma rede de computadores.

2 Desenvolvimento da aplicação

O programa **download** foi desenvolvido em **C** e tem como objetivo fazer o download de um ficheiro através de um **URL** que segue a sintaxe do **RFC1738**. Através da realização deste programa aprofundamos os nossos conhecimentos sobre os seguintes temas:

Client-Server & TCP/IP Aprendemos como se dá a comunicação entre um cliente e um servidor através do protocolo **TCP/IP**.

RFCs RFCs são documentos que descrevem os padrões da internet. Consultámos, como referido anteriormente, o **RFC959** e o **RFC1738**, para além de outras documentações, para entender o funcionamento do protocolo **FTP** e da sintaxe do **URL**.

Sockets Aprendemos a usar **sockets** em **C** como forma de comunicação entre o cliente e o servidor.

DNS (Domain Name System) Procurámos entender o funcionamento do **DNS** e como é que este é usado para traduzir um **URL** num endereço **IP**.

UNIX Aprendemos alguns comandos de **UNIX** que usamos no nosso programa (ex.: **getad-dinfo**, **socket**, **connect**, **recv**, **send**)

2.1 Estrutura do código

O código do programa **download** está dividido em 3 ficheiros: **download.c**, **server.c** e **url.h**. É no ficheiro **download.c** onde se encontra a função **main** - onde se percebe o fluxo do programa. O ficheiro **server.c** contém as funções que implementam o protocolo **FTP** e o ficheiro **url.h** contém as funções que permitem fazer o **parse** do **URL**. O programa **download** é compilado através do comando **make** e é executado da seguinte forma:

2.2 Fluxo do programa

O programa é executado do seguinte comando:

```
./download ftp://[<user>:<password>@]<host>
>/<url-path>
```

O fluxo do programa será o seguinte:

1. **Parse** do **URL** para obter os seguintes campos: **user** (opcional), **password** (opcional), **host**, **port** (opcional, é usado o valor 21 por default no protocolo FTP) e **url-path**.
2. Criação de uma **socket** que, através de uma ligação TCP/IP, inicia uma conexão com o **host** na porta **port**.
3. Envio dos comandos **USER** e **PASS** para o servidor juntos dos valores **user** e **password**, respetivamente. Caso estes valores não tenham sido especificados, usa-se o valor **anonymous**.
4. Envio do comando **PASV** para o servidor para que este abra uma porta à qual nos conectaremos para futuramente recebermos o ficheiro.
5. Criação de uma nova **socket** que, através de uma ligação TCP/IP, inicia uma conexão com a nova porta aberta pelo servidor.
6. Envio do comando **RETR** através da porta inicial para o servidor junto do valor **url-path** para que o servidor nos envie o recurso especificado.
7. Leitura do ficheiro através da **socket** criada no ponto 5 e escrita do mesmo para um ficheiro local.
8. Fecho das **sockets** criadas.

O **parse** do **URL** é feito a partir da função **parse_url** que recebe uma **string** e devolve uma **struct URL** com os campos especificados no ponto 1. Esta função usa uma máquina de estados e expressões regulares.

Todo o processo de comunicação entre o cliente e o servidor é feito através de **sockets** e o protocolo usado é o **TCP/IP**. A criação das **sockets** é feita através da função **getaddrinfo** que recebe o **hostname** e a **porta** e devolve uma **struct addrinfo** com os campos necessários para a criação da **socket**.

As **sockets** são criadas através da função **socket** e são feitas as respectivas ligações através da função **connect**.

O envio de comandos pelas **sockets** é feito através da função **send** e a leitura das respostas do servidor é feita através da função **recv**.

Antes de ser enviado qualquer comando para o servidor, primeiro é feita a leitura do código de status do servidor através da função **recv**, de modo a termos uma noção do estado do servidor. A escrita do ficheiro no disco é feita através da função **write**.

3 Configurar e analisar o funcionamento de uma rede

O objetivo deste conjunto de experiências é configurar uma rede de computadores de modo a que estes tenham acesso à internet para instalar ficheiros a partir de um servidor remoto usando o protocolo FTP desenvolvido ou seja, a aplicação.

3.1 Experiência 1

3.1.1 Arquitetura da rede

No fim desta experiência, a configuração da rede deverá consistir em 2 computadores (TUX63 e TUX64) conectados pelo Switch.

3.1.2 Objetivo

O propósito desta experiência foi a configuração de dois computadores na mesma rede de modo a permiti-los comunicar.

3.1.3 Quais são os comandos necessários para esta experiência?

```
# TUX63:
ifconfig eth0 up
ifconfig eth0 172.16.60.1/24

# TUX64:
ifconfig eth0 up
ifconfig eth0 172.16.60.254/24
```

Estando conectados ao mesmo **Switch**, os computadores comunicam entre si usando a bridge default. Podemos testar a comunicação entre os dois computadores usando o comando **ping** passando o endereço IP do outro computador como argumento:

```
ping 172.16.60.254 # No TUX63
```

3.1.4 O que são pacotes ARP e para que são usados?

ARP (**Address Resolution Protocol**) é um protocolo que traduz endereços IPv4 em endereços MAC numa LAN (Local Area Network). Esta tradução é importante porque apesar de os IPs serem usados para identificar os computadores numa rede, podem mudar ao longo do tempo e devido ao ambiente. Já os MACs são usados para identificar o hardware de um computador e são únicos e imutáveis.

Numa situação em que um **computador 1** quer enviar uma mensagem para um **computador 2**, este começa por verificar se o endereço IP do computador 2 está na sua cache de vizinhos de rede. Caso contrário, o **computador 1** terá de fazer uma tradução do endereço IP do **computador 2** para o seu endereço MAC. Para fazer esta tradução, o ARP fará um broadcast - envia para todos os computadores da rede - de um pedido ARP que apenas será respondido pelo **computador 2**. O **computador 2** responde ao pedido ARP com o seu endereço MAC e o **computador 1** guarda-o na sua cache de vizinhos de rede.

O comando de **UNIX**: **arp**; é usado para manipular ou exibir a cache de vizinhos de rede IPv4 do kernel.

3.1.5 O que são os endereços MAC e IP dos pacotes ARP e porquê?

O MAC **Media Access Control** é um endereço físico que identifica um dispositivo numa rede. É usado na data link layer para assegurar o endereço físico do computador - isto significa que está relacionado com o hardware. Os endereços MAC são únicos e não podem ser alterados. É composto por 6 bytes (48 bits) e é representado em hexadecimal. O IP **Internet Protocol** é um endereço lógico que identifica uma conexão entre um computador e uma rede. Pode mudar ao longo do tempo e devido ao ambiente. É usado na network layer para assegurar o endereço lógico do computador - isto significa que está relacionado com o software. Os endereços IP podem ser facilmente encontrados por terceiros, pois são transmitidos pela internet. É

composto por 4 bytes (32 bits) e é representado em decimal.

3.1.6 Que pacotes é que o comando ping gera?

O comando **ping** gera pacotes **ARP** e pacotes **ICMP**. **ICMP** (**I**nternet **C**ontrol **M**essage **P**rotocol) é um protocolo da camada de rede que reporta erros e fornece outras informações relevantes para o processamento de pacotes IP. Neste contexto, o **ICMP** é usado pelo comando ping para testar uma conexão de rede IP.

3.1.7 Quais são os MAC e IP dos pacotes ping?

Ver o ponto 3.1.11.

3.1.8 Como determinar se um pacote é ARP, IP ou ICMP?

É possível determinar se um frame Ethernet recebido é **ARP**, **IP**, **ICMP** verificando a captura do **WireShark**, na coluna Protocol. O **WireShark** faz esta distinção através do campo Type do cabeçalho Ethernet. O valor 0x0800 indica que o pacote é IP ou ICMP já que este se encontra guardado no pacote do IPv4, o valor 0x0806 indica que o pacote é ARP.

3.1.9 Como determinar o tamanho de um pacote recebido?

O tamanho de um pacote recebido pode ser determinado através da captura do **WireShark**, na coluna Length. Além disso, o tamanho dos pacotes IPv4 pode ser determinado a partir de 2 bytes que se encontram no pacote. Quanto aos pacotes ARP, estes possuem um tamanho fixo de 28 bytes.

3.1.10 O que é a interface loopback e porque é que é importante?

A interface **loopback** é uma interface de rede virtual que permite que um computador comunique consigo mesmo. É importante pois permite testar a stack de protocolos **TCP/IP** sem a necessidade de uma rede física. Essencialmente, a interface loopback, muitas vezes identificada pelo endereço IP **127.0.0.1**, cria um ambiente isolado no próprio dispositivo, onde os dados enviados são retornados para a si.

3.1.11 Análise dos logs

Inicialmente, o TUX63 não sabe o endereço MAC do TUX64 e vice-versa. Assim, o TUX63 envia um pacote ARP para o **broadcast** (MAC FF:FF:FF:FF:FF:FF) com o endereço IP do TUX64. O TUX64 recebe o pacote ARP vindo do **broadcast**, que contém o IP do TUX63, e responde ao TUX63 de modo a indicar que guardou o seu endereço IP no pedido ARP, enviando o seu endereço MAC. O TUX63 ao receber este pacote, guarda o endereço MAC do TUX64 na sua tabela ARP. Permitindo assim obter um PING request e PING response. Os endereços IP e Mac obtidos são os seguintes:

PC	IP	MAC
TUX63	172.16.60.1	00:21:5a:5a:75:bb
TUX64	172.16.60.254	00:21:5a:61:2d:df

3.2 Experiência 2

3.2.1 Arquitetura da rede

No final da experiência, a configuração da rede deverá consistir em 2 computadores (**TUX63** e **TUX64**) conectados à bridge (**bridge0**) e um computador (**TUX62**) conectado à bridge (**bridge1**).

3.2.2 Objetivo

Esta experiência teve como objetivo ensinar-nos a configurar 2 domínios de rede diferentes no mesmo switch e verificar que por defeito não ocorre comunicação entre estes domínios, sendo necessária a sua configuração.

3.2.3 Quais são os comandos necessários para esta experiência?

```
# Continuando a partir da experiencia
anterior:

# No tux2
ifconfig eth0 up
ifconfig eth0 172.16.61.1/24

# Switch
/system reset-configuration

/interface bridge add name=bridge60
/interface bridge add name=bridge61

# No tux3, para a sua porta eth0 X, no
tux4 para a sua porta eth0 Y e no
tux2 para a sua porta eth0 Z:
/interface bridge port remove [find
interface=etherX]
```

```

/interface bridge port remove [find
interface=etherY]
/interface bridge port remove [find
interface=etherZ]
/interface bridge port add bridge=
bridge60 interface=etherX
/interface bridge port add bridge=
bridge60 interface=etherY
/interface bridge port add bridge=
bridge61 interface=etherZ

```

3.2.4 Quantos domínios de broadcast existem? O que podemos concluir a partir dos logs? / Análise dos logs

Como configuramos 2 bridges, podemos concluir que existem 2 domínios de broadcast. Isto porque cada bridge é um domínio de broadcast. Podemos concluir isto a partir dos logs pois o TUX3 obteve uma resposta do TUX4, mas não do TUX2. Isto significa que o TUX3 está no mesmo domínio de broadcast que o TUX4, mas não no mesmo domínio de broadcast que o TUX2. Além disso, é possível concluir que passaram a existir 2 sub-redes, uma para cada bridge. Isto porque, apesar de ser possível fazer ping do TUX3 para o TUX4, não é possível fazer ping do TUX3 para o TUX2 já que, nos logs, não existem pacotes ICMP.

3.3 Experiência 3

3.3.1 Arquitetura da rede

No final desta experiência, é esperado que tenhamos uma arquitetura semelhante à da experiência anterior, com uma nova da conexão TUX64 à bridge (**bridge61**) que mediará a comunicação entre as duas bridges.

3.3.2 Objetivo

O objetivo desta experiência foi ensinar-nos a transformar o TUX64 num router e a configurar o mesmo para que este possa comunicar com os restantes computadores e permitir que estes comuniquem entre si.

3.3.3 Quais são os comandos necessários para esta experiência?

```

# Continuando a partir da
experiencia anterior:

# Switch - seja agora a conexao do
eth1 do tux4 a bridge61 pela
porta W

/interface bridge port remove [
find interface=etherW]

```

```

/interface bridge port add bridge=
bridge61 interface=etherW

# No tux4
ifconfig eth1 up
ifconfig eth1 172.16.61.253/24

sysctl net.ipv4.ip_forward=1
sysctl net.ipv4.
icmp_echo_ignore_broadcasts=0

# No tux3
route add -net 172.16.61.0/24 gw
172.16.60.254

# No tux2
route add -net 172.16.60.0/24 gw
172.16.61.253

```

Nota: Devido a não conseguirmos obter os logs na nossa bancada, foi necessário utilizar outros ips, mas o procedimento é o mesmo.

3.3.4 Que rotas existem nos computadores? Qual o seu significado?

Existem 2 rotas, no TUX62 e no TUX63. Como a rota 64 é um gateway de ambos, a rota 62 é para chegar ao 63 e a rota 63 é para chegar ao 62, passando pelo 64.

3.3.5 Que informação contém uma entrada da tabela de encaminhamento?

Uma entrada da tabela de encaminhamento contém o endereço de destino/origem, o endereço de gateway e a máscara de rede.

3.3.6 Que mensagens ARP, e os endereços MAC, são observadas e porquê? / Análise dos logs

No caso do ping do TUX63 para o TUX62. As mensagens ARP trocadas contêm apenas os endereços MAC do TUX63 e do TUX64 e não do destino final (TUX62). Isto ocorre devido à existência da rota. O TUX63 não conhece o endereço do TUX62, apenas conhece o endereço do gateway (TUX64) que leva ao TUX62.

Quando se apaga as tabelas ARP no TUX64 e se corre o mesmo ping novamente, os 3 computadores não se conhecem, pois não sabem os endereços MAC uns dos outros. Ao realizar o ping, é lançado um pedido ARP para o **broadcast** e para a sub-net da bridge60 a pedir o endereço MAC do TUX64, default gateway do TUX62. É gerada a resposta ARP e esta é enviada de volta para o TUX63, que guarda o endereço MAC do TUX64 na sua tabela ARP e vice-versa. De seguida, o ping

passa pelo TUX64 e alcança o TUX62, sendo realizado o mesmo processo de troca de mensagens ARP entre o TUX64 e o TUX62.

É importante notar que o TUX63 não tem informação sobre o endereço MAC do TUX62 e vice-versa. Cada um destes computadores apenas conhece o endereço MAC do seu gateway, que é o TUX64.

3.4 Experiência 4

3.4.1 Configuração de um Router Comercial e Implementação de NAT

Nesta experiência foi-nos pedido que configurássemos um router comercial na nossa bridge ([bridge61](#)).

3.4.2 Quais são os comandos necessários para esta experiência?

```
# Router Serial Console
/interface bridge port remove [find
    interface=ether5]
/interface bridge port add bridge=
    bridge61 interface=ether5
/ip address add address=172.16.2.69/24
    interface=ether1
/ip address add address
    =172.16.61.254/24 interface=ether2
/ip route add dst-address
    =172.16.60.0/24 gateway
    =172.16.61.253
/ip route add dst-address=0.0.0.0/0
    gateway=172.16.2.254
/ip firewall nat disable 0
/ip firewall nat enable 0

# Terminais dos TUXs
route add default gw 172.16.61.254 #
    No tux62
route add default gw 172.16.60.254 #
    No tux63
route add default gw 172.16.61.254 #
    No tux64
sysctl net.ipv4.conf.eth0.
    accept_redirects=0
sysctl net.ipv4.conf.all.
    accept_redirects=0
route del -net 172.16.60.0 gw
    172.16.61.253 netmask
    255.255.255.0
traceroute -n
route add -net 172.16.60.0/24 gw
    172.16.61.253
sysctl net.ipv4.conf.eth0.
    accept_redirects=0
sysctl net.ipv4.conf.all.
    accept_redirects=0
```

3.4.3 Como configurar uma rota estática num router comercial?

Para configurarmos uma rota estática no router comercial começamos por ligar o router ao [TUX63](#) através de um cabo de série. De seguida, acedemos à consola de comandos do router através do [GTKTerm](#) de modo a podermos configurar o router. Adicioná-mo-lo à bridge pretendida ([bridge61](#)) e atribuímos-lhe um IP na LAN. Temos também de lhe atribuir um IP para a rede exterior. Definimos também as rotas necessárias para chegar às redes da bridge ([bridge60](#)) e para chegar à internet, indicando os [gateways](#) necessários.

3.4.4 Quais são os caminhos seguidos pelos pacotes nas experiências, porquê?

Com os redirects desativados, os pacotes seguem o caminho TUX62 → TUX64 → TUX63. Isto acontece porque o TUX62 não sabe que o TUX64 é um router e, portanto, envia os pacotes para o TUX64. O TUX64, por sua vez, envia os pacotes para o TUX63, que é o destino final.

Com os redirects ativados, os pacotes seguem o caminho TUX62 → TUX63. Isto acontece porque o TUX62 sabe que o TUX64 é um router e, portanto, envia os pacotes diretamente para o TUX63.

3.4.5 Como configurar o NAT num router comercial?

Para configurar o NAT num router comercial, temos de aceder à consola de comandos do router através do [GTKTerm](#) e executar os seguintes comandos:

```
/ip firewall nat disable 0
/ip firewall nat enable 0
```

3.4.6 O que faz o NAT?

O NAT ([Network Address Translation](#)) é um processo que permite que vários computadores partilhem um único endereço IP que é usado na comunicação com o exterior. O NAT é usado para traduzir endereços IP de uma [LAN](#) (i.e. privados) para endereços IP públicos. Este processo é muito importante uma vez que o número de endereços IPv4 públicos é limitado e, portanto, não é possível atribuir um endereço IPv4 público a cada dispositivo que se liga à internet.

3.4.7 Análise dos logs

Desenvolvendo o tópico abordado em 3.4.4, ao enivarmos um ping do TUX62 para o TUX63 enquanto temos os redirects desativados, e após ter sido apagada a rota do TUX62 para a rede 172.16.60.0/24 através do TUX64, verificamos que o TUX62 envia o ping para o router pela default route que definimos até conseguir chegar ao TUX63. Já quando ativamos os redirects, o TUX62 envia o ping para o TUX64 e este reencaminha-o para o TUX63. Isto acontece pois a ligação mais direta da rede passou a ser através do TUX64 e não o router. O TUX63 responde ao TUX64 e este reencaminha a resposta para o TUX62.

3.5 Experiência 5

3.5.1 Arquitetura da rede

A arquitetura desta experiência é a mesma da experiência anterior.

3.5.2 Objetivo

O objetivo desta experiência foi ensinar-nos a dar ping a hosts com a utilização do DNS.

3.5.3 Quais são os comandos necessários para esta experiência?

```
# Continuando a experiencia anterior:

# No tux2
echo 'nameserver 172.16.2.1' > /etc/
    resolv.conf

# No tux3
echo 'nameserver 172.16.2.1' > /etc/
    resolv.conf
```

3.5.4 Como configurar o DNS num host?

No terminal do TUX2 e do TUX3, precisamos de correr o comando `hlsudo nano /etc/resolv.conf` e adicionar a seguinte linha:

```
nameserver <DNS IP address>
```

O DNS (Domain Name System) mapeia um nome de um host/domínio para endereços de IP. Portanto, ao utilizar este comando, estamos a permitir dar pings a hosts e domínios.

3.5.5 Que pacotes são trocados pelo DNS e que informação é transportada?

Os pacotes DNS trocados são o DNS query e o DNS response. O DNS query contém o nome de domínio e o DNS response contém o endereço IP do nome de domínio. Tornando possível traduzir o nome de domínio num endereço IP no router.

3.5.6 Análise dos logs

Nesta experiência, a partir do TUX62, damos ping ao google.com. Como google.com não é um IP, é necessário utilizar o DNS. Inicialmente, o DNS procura os nameservers que estão definidos no ficheiro `/etc/resolv.conf`. De seguida, o DNS envia um pacote DNS query para o nameserver. O nameserver responde com um pacote DNS response que contém o endereço IP do google.com, permitindo com que o ping seja bem sucedido.

3.6 Experiência 6

3.6.1 Objective

Nesta experiência devemos testar a aplicação que desenvolvemos na primeira parte do trabalho prático dentro da rede que configuramos nas experiências anteriores.

3.6.2 Quantas conexões TCP são abertas pela aplicação FTP?

A aplicação FTP abre duas conexões TCP. Uma para o controlo da aplicação e outra para a transferência de dados.

3.6.3 Em que conexão é transportada a informação de controlo do FTP?

A informação de controlo do FTP é transportada na primeira conexão TCP que é aberta pela aplicação.

3.6.4 Quais são as fases de uma conexão TCP?

As fases de uma conexão TCP são as seguintes:

1. **Estabelecimento de conexão** - O cliente envia um pacote SYN para o servidor para iniciar uma conexão TCP. O servidor responde com um pacote SYN-ACK para o cliente. O cliente responde com um pacote ACK para o servidor.
2. **Transferência de dados** - O cliente e o servidor trocam dados.

3. Encerramento da ligação - O cliente envia um pacote **FIN** para o servidor para terminar a conexão TCP. O servidor responde com um pacote **ACK** para o cliente. Opcionalmente, o servidor também pode enviar um pacote **FIN** para o cliente para terminar a conexão TCP ao qual o cliente responderá com um pacote **ACK** para o servidor.

3.6.5 Como funciona o mecanismo ARQ TCP? Quais são os campos de TCP relevantes?

O mecanismo ARQ (**A**utomatic **R**epeat **r**eQuest) TCP é um mecanismo que permite que o protocolo TCP recupere pacotes perdidos. Este protocolo assegura que os pacotes são entregues ao destino sem erros e na ordem correta. Este mecanismo opera através de ACKs (**A**cknowledgement) e timeouts. Quando um pacote é enviado, o emissor espera por um ACK. Se o ACK não chegar dentro de um determinado período de tempo, o emissor reenvia o pacote. Os campos de TCP que refletem este protocolo são os campos "Sequence Number" e "

3.6.6 Como é que o mecanismo de controlo de congestão do TCP funciona? Como é que a taxa de transferência de dados evolui com o passar do tempo?

O protocolo de controlo de congestão do TCP visa otimizar o desempenho da transferência de dados ao mesmo tempo que procura evitar a congestão da rede. A taxa de transferência de dados começa lenta e aumenta exponencialmente até que ocorra uma perda de pacotes. Quando uma perda de pacotes ocorre, a taxa de transferência de dados diminui e aumenta gradualmente até que ocorra uma nova perda de pacotes.

3.6.7 A taxa de transferência de conexões de dados TCP é perturbada pelo aparecimento de uma segunda conexão TCP? Como?

4 Conclusão

Com a realização completa e correta das experiências, como também da aplicação de download. Foi possível aprender mais sobre o funcionamento e configuração de uma rede como também e sobre os protocolos envolvidos na transferência dos dados, tanto ao longo da propagação pela network layer como na link layer.

5 Anexos

```
#ifndef DOWNLOAD_H
#define DOWNLOAD_H

#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

#include "url.h"
#include "server.h"

int download(const char *arg);

#endif
```

