



**Créditos** Estes guiões constituem um trabalho continuado de refinamento que contou com a colaboração de João Paulo Barraca, Diogo Gomes, André Zúquete, João Manuel Rodrigues, António Adrego da Rocha, Tomás Oliveira e Silva, Sílvia Rodrigues e Óscar Pereira.

# TEMA 15

## Comunicação entre aplicações

### Objetivos:

- Comunicação entre aplicações
- *Sockets* UDP
- *Sockets* TCP
- Acesso Assíncrono

### 15.1 Introdução

As aplicações informáticas realizam trabalho sobre dados que lhes são fornecidos, o que tem sido feito através de argumentos, introdução de informação pelo teclado, ou de ficheiros. No entanto também é possível e extremamente útil as aplicações trocarem informação diretamente entre si. Um exemplo muito comum é a consulta de páginas na Internet. Segundo a indicação do utilizador, um navegador *Web* irá consultar os diversos servidores de forma a obter páginas. Tanto o navegador, como o(s) servidores *Web* são aplicações que possuem a capacidade de trocarem informação, o que é feito através de mensagens que são transmitidas através de uma rede. A construção e transmissão das mensagens foi já abordado anteriormente. Este guião aborda a geração, envio e receção das mensagens pelas aplicações.

## 15.2 Conceitos de comunicação

### 15.2.1 Modelo Cliente-Servidor

Nas comunicações entre aplicações é usual distinguir-se dois tipos de intervenientes: o cliente e o servidor. O cliente é aquele que inicia a comunicação e faz um pedido, enquanto o servidor é aquele que aceita um pedido e realiza uma ação, podendo emitir uma resposta. Por exemplo, o navegador *Web* é um cliente que emite pedidos enquanto os servidores *Web* são aqueles que aceitam pedidos dos clientes, fornecendo depois as páginas como resposta. A Figura 15.1 representa uma simples interação entre vários clientes e um servidor.

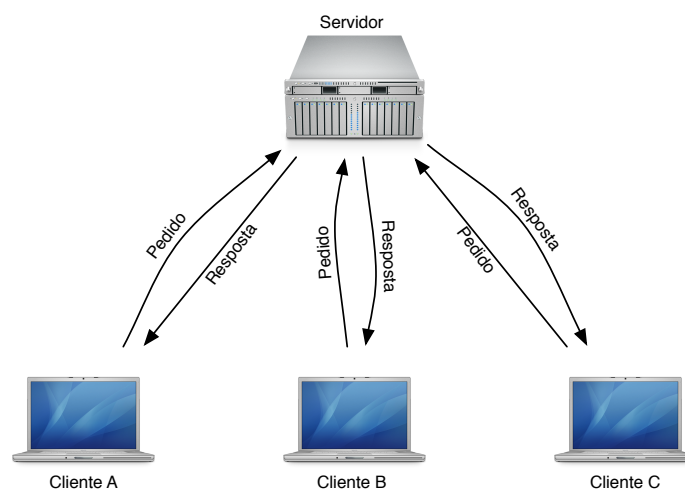


Figura 15.1: Modelo Cliente-Servidor

Esta separação de funções é importante porque implica que as aplicações do cliente e do servidor são distintas: o fluxo lógico (algoritmo) do cliente é diferente do fluxo lógico do servidor. Considerando o mesmo exemplo, os servidores *Web* têm de fornecer páginas e outros ficheiros, enquanto os clientes têm de processar HyperText Markup Language (HTML)[1], JavaScript (JS)[2], Cascading Style Sheets (CSS)[3], construir a página e interagir com o cliente. Outra característica deste modelo é que vários clientes se podem ligar a um único servidor.

Existem aplicações, como as utilizadas nas redes Peer to Peer (P2P) que são construídas de forma a funcionarem ao mesmo tempo como cliente e servidor. Isto não vai contra o dito anteriormente relativamente a existirem dois tipos de aplicações, pois para suportar esta modalidade, estas aplicações têm de possuir código para ambas as funções. Quando um aplicação P2P comunica com outra, durante esta transação essa age como servidor e

a outra como cliente.

### 15.2.2 Sockets

As aplicações na consola podem interagir com o utilizador através de três dispositivos básicos: **stdin**, **stdout** e **stderr**. Estes dispositivos têm sido extensivamente utilizados quando se lê texto do teclado ou se escreve para a consola. As aplicações também podem criar representações internas de ficheiros e diretórios, que depois utilizam para ler, escrever, criar ou apagar estes elementos. Para permitir a comunicação entre processos, ou Inter Process Communication (IPC), existem outros mecanismos como o *Socket*. O termo inglês *Socket* designa uma tomada onde se pode ligar uma ficha, tal como uma tomada de corrente eléctrica ou uma tomada de rede ethernet. No âmbito do software, um *Socket* é um mecanismo pelo qual as aplicações podem criar tomadas virtuais onde outras aplicações se podem “ligar”. Uma aplicação pode criar quantos *Sockets* quiser, tal como uma casa pode ter quantas tomadas forem necessárias. A Figura 15.2 demonstra uma aplicação com vários pontos de comunicação, sendo que alguns são *Sockets*.

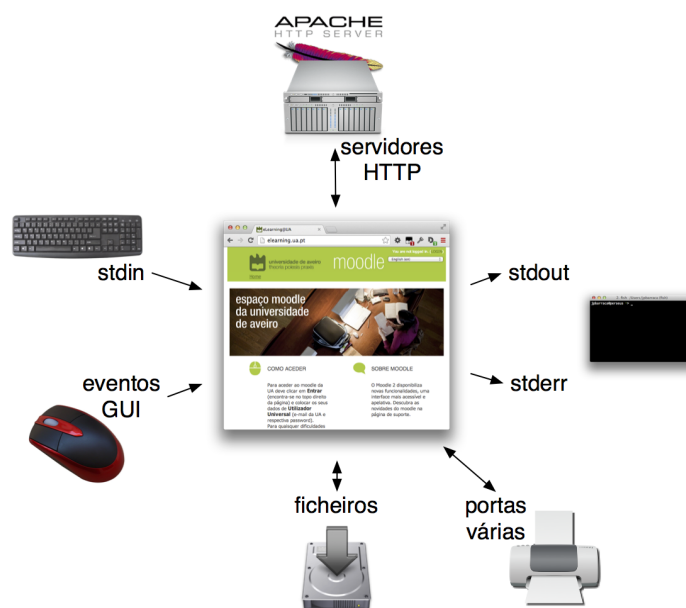


Figura 15.2: Vários pontos de comunicação com um navegador Web.

Tal como uma tomada possui uma dada especificação, quanto à sua forma e contactos, também um *Socket* possui algumas características distintivas, das quais se destacam a *família* e o *tipo*. Um *Socket* de uma dada família e tipo só aceita ligações com essas características e não com outras. Existem várias famílias de *Socket*. As principais são:

**AF\_UNIX:** Indica um *Socket* para ser utilizado em comunicações entre aplicações locais (na mesma máquina).

**AF\_INET:** Indica um *Socket* para ser utilizado sobre endereços Internet Protocol v4 (IPv4)[4]. Pode ser utilizado para comunicações entre aplicações locais ou remotas.

**AF\_INET6:** Indica um *Socket* para ser utilizado sobre endereços Internet Protocol v6 (IPv6)[5]. Pode ser utilizado para comunicações entre aplicações locais ou remotas.

Neste caso, um *Socket* da família **AF\_INET** pode ser utilizado para trocar mensagens com aplicações que estejam em sistemas com um IPv4 disponível, mas não permite trocar mensagens com aplicações que estejam em sistemas que só possuam IPv6.

Além da família, o tipo do *Socket* irá indicar como as mensagens devem ser encapsuladas antes de serem enviadas. Há dois tipos mais relevantes:

**SOCK\_DGRAM:** As comunicações deverão utilizar o protocolo User Datagram Protocol (UDP)[6]. Com este tipo de *Socket*, é possível que as mensagens se percam ou cheguem fora de ordem.

**SOCK\_STREAM:** As comunicações deverão utilizar o protocolo Transmission Control Protocol (TCP)[7]. Com este tipo de *Socket*, em caso de perda, o protocolo TCP irá retransmitir as mensagens. Este também garante que a ordem de envio é mantida à chegada.

### 15.3 Sockets não orientados à ligação (UDP)

Um tipo de *Sockets* permite o envio de mensagens entre aplicações sem que estas estabeleçam uma ligação explícita persistente. Entre muitos outros cenários, são indispensáveis para envio de mensagens de *broadcast*, para sistemas com baixas capacidades computacionais, ou para comunicações com restrições de tempo real. Este tipo de *Sockets* são normalmente utilizados nas redes IP TeleVision (IPTV) que temos em casa, nas aplicações Voice Over IP (VoIP) como o *Skype*, ou no processo de atribuição de endereços dinâmicos (Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)[8]). Este tipo de *Socket* utiliza o protocolo UDP para o transporte das mensagens.

Um *Socket*, seja ele orientado à ligação ou não, não realiza comunicações de forma imediata só porque existe. Comunicar com um *Socket* requer uma sequência de acções, nomeadamente:

**Criação:** Um *Socket* é criado, definindo-se a sua família e tipo. Utiliza-se para isso a instrução **socket**.

**Nomeação:** É necessário dar um nome ao *Socket*, usando-se a primitiva **bind**. O nome permite identificar **unicamente** um dado *Socket* num dado sistema que pode ter inúmeros *Sockets* de várias aplicações. As aplicações trocam informação a partir de e para um *Socket* em particular. O nome é composto por um caminho, normalmente um endereço IPv4 e um porto (ou porta).

**Enviar Informação:** A aplicação emissora usa a acção **send** para enviar informação para o *Socket*. O sistema de destino armazena essa informação numa memória associada ao *Socket*, temporariamente.

**Receber Informação:** A aplicação recetora usa a acção **receive** para recolher a informação recebida e armazenada pelo *Socket*.

**Fechar:** Tal como um ficheiro, o *Socket* deve ser fechado quando a comunicação termina.

A Figura 15.3 representa uma utilização destas primitivas numa comunicação entre uma aplicação cliente e uma aplicação servidora. Note que não há nenhuma diferença formal entre um *Socket* no servidor ou no cliente, mas a lógica das aplicações é diferenciada. Uma espera por pedidos, a outra efetua pedidos.

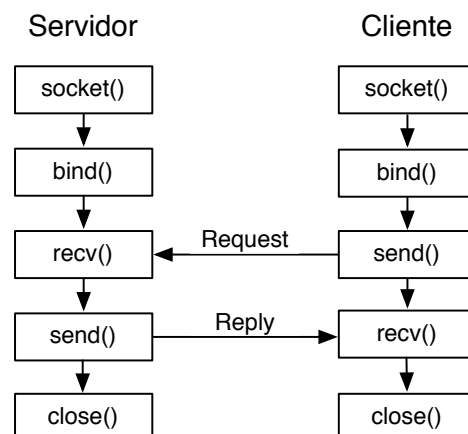


Figura 15.3: Sequência de primitivas utilizadas num *Socket* UDP.

Em *Python* é possível utilizar *Sockets* através da inclusão do módulo **socket**. Assim, um *Socket* pode ser criado e nomeado através das seguintes instruções:

---

```
import socket

def main():
    udp_s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
    udp_s.bind( ("127.0.0.1", 1234) )

main()
```

---

Neste exemplo o *Socket* é criado de forma a comunicar na porta **1234** para aplicações no próprio computador (**127.0.0.1**). Este endereço determina em que interface de rede o *Socket* vai comunicar, sendo que o valor especial **0.0.0.0** indica que irá comunicar através de todos os interfaces. Se o valor da porta for igual a 0, o sistema operativo irá escolher uma porta aleatória.

**Atenção: Num dado sistema, não é possível existirem dois *Sockets* com o mesmo nome (endereço e porta)!**

Para a troca de informação, é agora necessário receber e enviar informação. O exemplo seguinte espera por uma mensagem e responde enviando a mesma mensagem em maiúsculas. De notar que se utiliza o método **recvfrom** que possui como parâmetro o número máximo de octetos a receber e devolve 2 valores: uma string com os dados recebidos e o endereço do socket que os enviou.

---

```
...
def main():
    ...
    while 1:
        data, addr = udp_s.recvfrom(4096)
        udp_s.sendto(data.upper(), addr)
    udp_s.close()
...
```

---

### Exercício 15.1

Utilizando os exemplos anteriores, implemente um servidor de mensagens UDP. Pode testar o servidor utilizando o comando **nc -u localhost 1234**.

O cliente para comunicar com esta aplicação seria programado de maneira muito semelhante. Apenas teria as instruções de envio e recepção por ordem inversa: primeiro envia e depois recebe a resposta. O trecho seguinte demonstra um cliente que lê uma frase do teclado, envia-a para o servidor, espera uma resposta e imprime-a.

```
...
def main():
    ...
    udp_s.bind(("127.0.0.1", 0))
    server_addr = ("127.0.0.1", 1234)
    while 1:
        data = raw_input("<-:")
        udp_s.sendto(data, server_addr)
        data, addr = udp_s.recvfrom(4096)
        print "->: %s \n" % data

    udp_s.close()
...
```

### Exercício 15.2

Utilizando os exemplos fornecidos implemente um cliente que permita a troca de mensagens. Tenha em consideração que, por residirem no mesmo sistema, o cliente não pode criar um *Socket* na mesma porta que o servidor.

### Exercício 15.3

Coordene com o grupo ao seu lado de forma a executarem um servidor com um *Socket* no endereço 0.0.0.0. Deverá conseguir enviar mensagens para este servidor se o seu cliente se ligar ao endereço do computador onde reside o servidor.

## 15.4 Sockets orientados à ligação (TCP)

Além das primitivas já vistas, um *Socket* do tipo **SOCK\_STREAM** necessita de mais três. Isto deve-se ao facto dos *Sockets* deste tipo serem orientados à ligação, existindo a necessidade de se estabelecer uma ligação (ou sessão) entre as duas aplicações antes da transmissão de informação.

**Aceitar Ligações:** Um *Socket* do servidor irá ser definido como aceitando ligações de novos clientes, realizando-se esta ação através da instrução **listen**.

**Estabelecer ligação:** O cliente necessita de se ligar ao servidor antes de se poder trocar informação, usando-se para isso a instrução **connect**.

**Aceitar Clientes:** O servidor, após receber o pedido de ligação, pode aceitá-lo através da instrução **accept**.

Estas primitivas são utilizadas da forma descrita na Figura 15.4. Como pode ser visto, neste tipo de *Sockets*, **existe** uma declaração formal de que *Socket* é servidor ou cliente e a lógica das aplicações é também diferenciada. Uma aplicação espera por pedidos, outra efetua pedidos. As primitivas adicionais, necessárias ao estabelecimento da sessão, estão realçadas na figura.

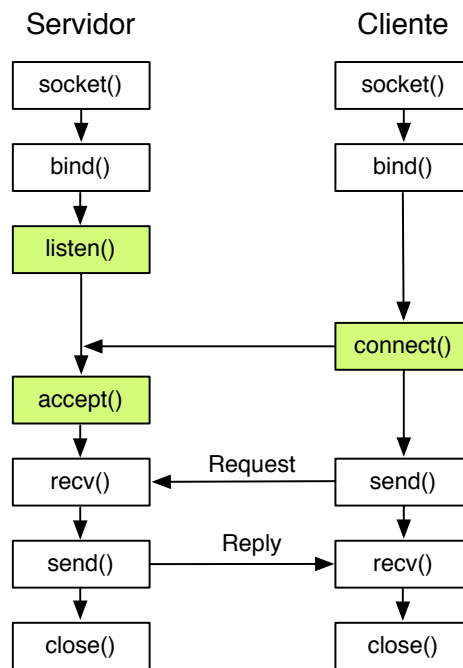


Figura 15.4: Sequência de primitivas utilizadas num *Socket* TCP.

Utilizando *Python* é possível utilizar *Sockets* orientados à ligação de uma forma semelhante aos anteriores, mas agora considerando a necessidade de estabelecimento da ligação antes da troca de informação. Assim, um *Socket* TCP pode ser criado e nomeado através das seguintes instruções:

---

```

# encoding=utf-8
import socket

def main():
    tcp_s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    tcp_s.bind( ("127.0.0.1", 1234) )

main()

```

---



Para o estabelecimento da sessão é agora necessário que o servidor defina o *Socket* como aceitando ligações e que espere por novos clientes, aceitando-os depois. Note que quando se aceita uma ligação de um novo cliente **é criado um novo *Socket***, que é utilizado para identificar a ligação entre o servidor e o cliente.

---

```
...
def main():
    ...
    # máximo de 1 cliente à espera de
    # aceitação
    tcp_s.listen(1)

    # esperar por novos clientes
    client_s, client_addr = tcp_s.accept()

    while 1:
        data = client_s.recv(4096)
        client_s.send(data.upper())

    client_s.close()
    tcp_s.close()
...
```

---

De notar que neste caso utiliza-se o *Socket* chamado **client\_s** para todas as futuras comunicações. Também se utilizam os métodos **recv** em vez de **recvfrom** e **send** em vez de **sendto**. Isto porque não é necessário saber de onde chegou ou para onde vai a informação: toda a informação que seja lida ou escrita no **client\_s** é trocada entre o servidor e o cliente específicos.

#### Exercício 15.4

Implemente um servidor TCP utilizando o exemplo fornecido. Pode testar o servidor utilizando o comando **telnet localhost 1234**, ou o comando **nc localhost 1234**.

O cliente será bastante semelhante ao caso dos *Sockets* não orientados à ligação, mas neste caso, é necessário estabelecer previamente a sessão.

```
...
def main():
    ...
    # Ligar ao servidor
    tcp_s.connect( ("127.0.0.1", 1234) )
    while 1:
        data = raw_input("Mensagem: ")
        tcp_s.send(data)
        data = tcp_s.recv(4096)
        print data

    tcp_s.close()
...
```

Tal como acontece com a implementação do servidor, a troca de informação é feita através dos métodos **recv** e **send**, não existindo necessidade de especificar sempre qual o destino das mensagens, ou de obter informação relativa à sua origem.

### Exercício 15.5

Implemente um cliente que utilize *Sockets* orientados à ligação. Mais uma vez, tenha em atenção que os clientes devem utilizar portas aleatórias de forma a não colidirem com serviços existentes.

## 15.5 Servidor de Mensagens Instantâneas

De uma forma simples é possível implementar um servidor que actue como uma ferramenta de *chat*, permitindo a troca de mensagens entre utilizadores. Este exemplo é útil pois permite demonstrar com é possível interagir com múltiplos clientes e, no caso do cliente, ler de forma alternada de duas fontes de informação. De notar que o servidor e o cliente podem ser implementados utilizando qualquer um dos tipos de *Socket* abordados. De forma a simplificar a explicação, o exemplo irá focar-se no caso de comunicações através de UDP deixando-se a implementação com TCP para exercício.

A implementação do servidor é simples, bastando que possua uma lista de *Sockets* conhecidos e envie as mensagens recebidas de um *Socket* para todos.

---

```

...
def main():
    ...
    # Lista de sockets conhecidos
    addr_list = []

    while 1:
        data, addr = udp_s.recvfrom(4096)
        print data

        # Adicionar o nome do socket à lista de sockets conhecidos
        if not addr in addr_list:
            addr_list.append(addr)

        # Enviar a mensagem para todos
        for dst_addr in addr_list:
            udp_s.sendto(data.upper(), dst_addr)

```

---

### Exercício 15.6

Implemente um servidor como o indicado no exemplo. Este deverá funcionar com os clientes UDP criados anteriormente. No entanto o cliente não irá suportar a nova lógica, pelo que não serão apresentadas as mensagens de todos os clientes.

Um cliente de *chat* também necessitaria de pequenas alterações de forma a permanentemente ouvir novos dados do teclado e do *Socket*. O teclado permite ao utilizador enviar mensagens, o *Socket* permite receber as mensagens dos outros clientes. Isto é possível através da utilização da instrução **select**, que basicamente permite ficar à escuta de informação de múltiplas fontes, indicando depois qual das fontes possui informação para ser consumida.

O método **select** aceita três parâmetros: a lista de *Sockets* (ou outros dispositivos) onde se espera por dados, a lista de *Sockets* onde recentemente foram escritos dados e se espera que estes sejam transmitidos e a lista de *Sockets* onde se querem receber notificações de exceções (p.ex, *Socket* fechado). Irá devolver igualmente três listas com os *Sockets* que tiveram os eventos respetivos. Aqui apenas nos interessa a primeira das listas, a que indica os *Sockets* com informação pronta a ser consumida.

---

```

import select
...
def main():
    ...
    while 1:
        rsocks = select.select([udp_s, sys.stdin, ], [], [])[0]

        for sock in rsocks:
            if sock == udp_s:
                # Informação recebida no socket
                data, addr = udp_s.recvfrom(4096)
                sys.stdout.write("%s\n" % data)
            elif sock == sys.stdin:
                # Informação recebida do teclado
                data = sys.stdin.readline()
                udp_s.sendto(data, server_addr)
    ...

```

---

### Exercício 15.7

Implemente um cliente de *chat* de forma a que possa dialogar com os outros utilizadores ligados ao mesmo servidor.

### Exercício 15.8

Implemente o mesmo cliente e servidor mas utilizando TCP. Neste caso tenha em consideração que o servidor irá possuir um *Socket* por cliente, armazenando estes *Sockets* na lista de clientes (e não o endereço e porta utilizados pelo cliente).

## 15.6 Para Aprofundar

### Exercício 15.9

Implemente um programa que dado um endereço HyperText Transfer Protocol (HTTP)[9] como primeiro argumento, e um nome de ficheiro como segundo argumento, crie uma ligação TCP e envie os cabeçalhos HTTP de forma a obter o recurso (ficheiro) indicado. A resposta deverá ser escrita para o ficheiro indicado no segundo argumento. (Este programa é um cliente HTTP simples.)

### Exercício 15.10

Implemente um programa que escute por mensagens no *Socket* TCP no formato:

```
GET /dir/fname
```

O programa deve responder com o conteúdo do ficheiro que se encontra no local indicado. Considere que os ficheiros pedidos encontram-se em diretórios e sub-diretórios de um diretório raiz específico. A título de exemplo, se o diretório raiz for `/tmp` e for pedido o ficheiro `/labi/aula/a.txt`, o programa deve fornecer o conteúdo do ficheiro `/tmp/labi/aula/a.txt`. (Este programa é um servidor HTTP simples.)

## Glossário

<b>CSS</b>	Cascading Style Sheets
<b>DHCP</b>	Dynamic Host Configuration Protocol
<b>HTML</b>	HyperText Markup Language
<b>HTTP</b>	HyperText Transfer Protocol
<b>IPC</b>	Inter Process Communication
<b>IPTV</b>	IP TeleVision
<b>IPv4</b>	Internet Protocol v4
<b>IPv6</b>	Internet Protocol v6
<b>JS</b>	JavaScript
<b>P2P</b>	Peer to Peer
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>VoIP</b>	Voice Over IP

## Referências

- [1] W3C. (1999). HTML 4.01 Specification, endereço: <http://www.w3.org/TR/1999/REC-html401-19991224/>.
- [2] ECMA International, *Standard ECMA-262 – ECMAScript Language Specification*, Padrão, dez. de 1999. endereço: <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-262.htm>.
- [3] W3C. (2001). Cascading Style Sheets Level 2 Revision 1 (CSS 2.1) Specification, endereço: <http://www.w3.org/TR/2011/REC-CSS2-20110607/>.
- [4] J. Postel, *Internet Protocol*, RFC 791 (Standard), Updated by RFC 1349, Internet Engineering Task Force, set. de 1981.
- [5] S. Deering e R. Hinden, *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*, RFC 2460 (Draft Standard), Updated by RFCs 5095, 5722, 5871, Internet Engineering Task Force, dez. de 1998.
- [6] J. Postel, *User Datagram Protocol*, RFC 768 (Standard), Internet Engineering Task Force, ago. de 1980.
- [7] —, *Transmission Control Protocol*, RFC 793 (Standard), Updated by RFCs 1122, 3168, 6093, Internet Engineering Task Force, set. de 1981.
- [8] R. Droms, *Dynamic Host Configuration Protocol*, RFC 2131 (Draft Standard), Updated by RFCs 3396, 4361, 5494, Internet Engineering Task Force, mar. de 1997.
- [9] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, L. Masinter, P. Leach e T. Berners-Lee, *Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1*, RFC 2616 (Draft Standard), Updated by RFCs 2817, 5785, 6266, Internet Engineering Task Force, jun. de 1999.