

OSÉIAS PINTO DOS SANTOS

Estudo Comparativo da Comunicação de Dados Via Celular e Via Rede
Cabeada Aplicada a uma Estação do Metrô

São Paulo

2016

OSÉIAS PINTO DOS SANTOS

Estudo Comparativo da Comunicação de Dados Via Celular e Via Rede
Cabeada Aplicada a uma Estação do Metrô

Monografia apresentada para a conclusão
do Curso de Especialização em
Tecnologia Metroferroviária pela ESCOLA
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO.

São Paulo

2016

OSÉIAS PINTO DOS SANTOS

Estudo Comparativo da Comunicação de Dados Via Celular e Via Rede
Cabeada Aplicada a uma Estação do Metrô

Monografia apresentada para a conclusão
do Curso de Especialização em
Tecnologia Metroferroviária pela ESCOLA
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO.

Área de concentração:
Tecnologia Metroferroviária

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio
Cugnasca

São Paulo
2016

Santos, Oséias Pinto dos

Estudo comparativo da comunicação de dados via celular e via rede cabeada aplicada a uma estação do Metrô / O. P. Santos -- São Paulo, 2016.

43 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia Metroferroviária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.REDES E COMUNICAÇÃO DE DADOS I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

AGRADECIMENTOS

Antes de agradecer as pessoas e entidades, agradeço a Deus por permitir a conclusão de deste trabalho.

Ao professor Paulo Sérgio Cugnasca, pela orientação e suporte na elaboração deste trabalho.

A minha esposa Lena pela sua compreensão e pelo tempo consumido na elaboração desta monografia.

Não posso esquecer-me dos colegas da Companhia do Metropolitano de São Paulo que forneceram informações e dados utilizados durante o desenvolvimento.

RESUMO

Este trabalho apresenta as formas de comunicação de dados entre os equipamentos e os sistemas de monitoramento e controle existentes para os operadores de uma estação do Metrô de São Paulo. O sistema de transmissão de dados utiliza basicamente uma estrutura de rede cabeada ou, então, uma rede sem fio. Este estudo apresenta como é a arquitetura dessas tecnologias de comunicação na estação e realiza uma análise comparativa das vantagens e desvantagens entre uma rede de telefonia celular e uma rede cabeada. A comparação entre os dois sistemas permite fornecer os subsídios para a determinação e escolha da forma de comunicação mais adequada para a implantação de um sistema de telemetria de medição de consumo de água. Diante desse estudo, conclui-se que a comunicação via rede cabeada se mostra adequada para a transmissão de informações de um sistema de telemetria do consumo de água de uma estação do Metrô de São Paulo, quando comparada a uma comunicação via rede de telefonia celular.

Palavra chave: Transmissão de dados. Comunicação na estação do Metrô.

ABSTRACT

This work shows the data communications ways between the equipment and the monitoring and controlling systems for operators of the São Paulo Metro station. The data transmission system basically uses a wired network structure, or a wireless network. The study shows how the architecture of these communication technologies at the station and makes a comparative analysis of the advantages and disadvantages of a mobile network and a wired network. The comparison between the two systems allows subsidies to determine and select the most appropriate form of communication for the implementation of a telemetry measuring water consumption system. In view of this study, it was concluded that communication by wired network is adequate for the transmission of information of a telemetry system water consumption of a subway station in São Paulo compared to communication by mobile network.

Keyword: Data transmission. Communication at the Metro station

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Topologia em barramento	19
Figura 2 – Topologia em anel.....	19
Figura 3 – Topologia em anel.....	20
Figura 4 – topologia em estrela	21
Figura 5 – Representação de uma RCTM.....	22
Figura 6 – Células triangulares.....	23
Figura 7 – Células quadradas	23
Figura 8 – Células hexagonais ou forma de colmeia.....	24
Figura 9 – Arquitetura GSM.....	27
Figura 10 – Arquitetura GPRS.....	29
Figura 11 – Topologia da rede	30
Figura 12 – Topologia entre estações	32
Figura 13 – Arquitetura dentro da Estação.....	32
Figura 14 – Rede com falha	33
Figura 15 – Sistema de controle local	34
Figura 16 – Exemplo de hidrômetro eletrônico com sensor acoplado.....	36
Figura 17 – Dados coletados e transmitidos via rede celular.	37
Figura 18 – Dados coletados e transmitidos via rede de dados	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Camadas do modelo OSI	16
Tabela 2 – Evolução das tecnologias de telefonia celular	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
AUC	<i>Authentication Center</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BSS	<i>Base Station System</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CMSP	Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô
DMZ	<i>Demilitarized Zone</i>
DNA	<i>Digital Network Architecture.</i>
EIR	<i>Equipment Identity Register</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
HDLC	<i>High Level Data Link Control.</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IHM	Interface Homem Máquina
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISDN	<i>Integrated Service Digital Network</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
MSC	<i>Mobile Services Switching Center</i>
MSO	<i>Mobile Switching Line</i>
NSS	<i>Net Switching System</i>
OMS	<i>Operations and Maintenance System</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Networking</i>
SDLC	<i>Synchronous Data Link Control</i>
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer</i>

SNA	<i>System Network Architecture</i>
STD	Sistema de Transmissão de Dados
TCP	<i>Transmission System Protocol</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
VLAN	<i>Virtual Lan</i>
VLR	<i>Visitor Location Register</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1.	Justificativa	11
1.2.	Objetivos	12
1.3.	Estrutura	12
2.	ESTADO DA ARTE – CONCEITOS DE REDES	13
2.1.	Modelo OSI	15
2.2.	Topologia de redes	18
3.	REDES SEM FIOS	22
3.1.	Redes celulares de telefonia móvel (RCTM)	22
3.2.	Arquitetura de rede celular	26
3.3.	Arquitetura de transmissão de dados – GPRS	28
3.4.	Rede transmissão por cabo	29
3.5.	Aplicação de redes físicas numa estação do Metrô	31
3.6.	Descrição do Sistema de Controle Local – SCL	33
4.	PROPOSTA DE REDE PARA O SISTEMA DE TELEMETRIA DE CONSUMO E DETECÇÃO DE VAZAMENTOS NO METRÔ	36
4.1.	Análise comparativa entre a rede via celular e a rede cabeada	38
5.	CONCLUSÃO	42
6.	REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os fatos que motivaram a realização deste trabalho. A crise hídrica no abastecimento de água fez com que várias medidas e ações de redução do consumo e combate aos desperdícios de água fossem adotadas. Dentre elas, o monitoramento de consumo mostrou ser uma ferramenta importante para combater as perdas nas estações do Metrô de São Paulo. Dessa forma, levantou-se a necessidade de se definir tecnicamente qual é a forma de comunicação mais adequada para a especificação de um sistema de telemetria de consumo de água aplicada a uma estação do Metrô.

1.1. Justificativa

No final de 2014, iniciou-se no Estado de São Paulo uma grave crise no sistema de abastecimento de água e viu-se a necessidade de adoção de estratégias e ações para o seu enfrentamento, conforme o relatório de crise hídrica elaborada pela Companhia de Saneamento Básico de São Paulo - SABESP (CHESS, 2015).

A crise hídrica levou a uma necessidade das instituições adotarem medidas de combate ao desperdício e perdas de água. O Metrô de São Paulo vem realizando ações para a redução e o controle do consumo de água nas estações, contribuindo para as estratégias de enfrentamento da crise hídrica. Diante disso, surgiu uma proposta de implantação de um sistema de telemedição de consumo de água aplicada a uma estação do Metrô.

A telemedição permite um monitoramento contínuo do consumo de água e a detecção de possíveis vazamentos na rede hidráulica. Uma estação do Metrô possui aspectos construtivos que influenciam na forma de transmissão dos dados. Dessa forma, este trabalho traz como motivação uma contribuição para o estudo e determinação da rede de comunicação mais adequada para a transmissão de dados do sistema de telemedição.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é a apresentação e o estudo das formas de comunicação de dados via rede cabeada e via rede de telefonia celular de uma estação do Metrô. Este estudo comparativo permitirá determinar qual é a forma de comunicação mais adequada para a implantação de um sistema de medição de consumo de água. Dessa forma, este trabalho fornece os subsídios necessários para a especificação do sistema de comunicação de dados a ser utilizado pelo equipamento de telemedição de consumo de água.

1.3. Estrutura

Este trabalho está dividido em três partes. A primeira parte mostra o estado da arte nos sistemas de redes de computadores, conceituando os principais protocolos de comunicação e as topologias de redes existentes. A segunda parte apresenta os conceitos das redes de comunicação sem fio e sua evolução, como as redes celulares de telefonia móvel. A terceira parte mostra a aplicação das redes de comunicação dentro de uma estação do Metrô de São Paulo, realizando uma análise comparativa das alternativas de utilização de transmissão de dados coletados dos medidores de consumo de água. Na quarta parte, é apresentada a proposta de um tipo de rede para o sistema de telemetria de consumo e detecção de vazamento no Metrô de São Paulo. E, por fim, na quinta parte, são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2. ESTADO DA ARTE – CONCEITOS DE REDES

No ambiente do século XXI, as pessoas encontram-se mergulhadas profundamente no mundo das redes de computadores, parecendo impossível imaginar que há pouco tempo na história humana não havia sequer esse conceito de conectividade. O surgimento das redes está intimamente ligado ao desenvolvimento dos computadores de grande porte, designados na atualidade como *mainframes* (Marino, 2003).

Na atualidade, as redes estão presentes no uso de caixas eletrônicos para saques em dinheiro e para uma centena de outras transações bancárias, como o pagamento de despesas em alguma dependência comercial (bar, farmácia, mercado, etc.).

As redes existiam muito antes da difusão do conceito de computadores pessoais (PC), mas enraizaram profundamente nesta época, tirando vantagem dos aperfeiçoamentos tecnológicos alicerçados na drástica diminuição dos custos dos componentes e equipamentos (Marino, 2003). Dessa forma, a rede de computadores permite:

- a troca de informações entre computadores e outros dispositivos que fazem parte dela;
- o compartilhamento de recursos;
- o comando e ajustes remotos, no caso de máquinas;
- a centralização do gerenciamento de recursos e dados.

Segundo Mazzola (2000), as redes podem ser classificadas em dois tipos:

- Ponto a ponto, modelo utilizado em pequenas redes.
- Cliente servidor, aplicável em pequenas ou grandes redes.

A arquitetura cliente-servidor permite a implementação da centralização da administração, organização e segurança da rede. A rede básica é composta pelos seguintes componentes: cliente, servidor, usuário, administrador, mídia, *hardware*, sistema operacional de rede, protocolo e topologia.

Neste documento, são explanadas somente as mídias e as topologias de redes. A mídia descreve a forma física de conexão entre os componentes da rede. Existem basicamente duas formas:

- Cabeamento ou conexão por fios. Exemplo: par de fios de cobre trançado, coaxial, fibra ótica e etc.;
- *Wireless* – conexão sem fio. Exemplo infravermelho e rádio.

Como já citado, as redes começaram com os computadores de grande porte no início dos anos 60. Iniciando com a comunicação *time sharing* para o uso de múltiplos usuários, ou seja, compartilhavam o acesso a um computador de grande porte, esses sistemas utilizavam sistemas proprietários que não permitiam a interoperabilidade de computadores de fabricantes diferentes. Surgiram o SNA (*System Network Architecture* – IBM) e DNA (*Digital Network Architecture* – DEC).

Com o surgimento do conceito de computador pessoal (PC), iniciou-se a introdução de soluções que permitiam compartilhar impressoras, mas não abrangiam todos os periféricos. Com o desenvolvimento do conceito de redes locais (*Local Area Network* – LAN), estes problemas começaram a ser resolvidos pela adoção de uma tecnologia comum que permitia o compartilhamento de periféricos por PC interconectados. Com o conceito de redes locais, neste ponto podia-se conectar prédios e laboratórios localizados em um mesmo campus (Mazzola, 2000). Para a conexão de computadores dispersos numa região, lançou-se mão do uso dos serviços das companhias de telecomunicação, criando o conceito de redes de longas distâncias (*Wide Area Network* – WAN) e, para áreas mais extensas, o conceito de redes metropolitanas (*Metropolitan Area Network* – MAN).

As redes sem fios, chamadas pelo termo inglês de *Wireless*, permitem a conexão de computadores entre si e também a infraestrutura de redes convencionais cabeadas. O grande apelo destas redes é a mobilidade propiciada aos dispositivos que contam com este recurso, como os *notebooks* e *smartphones* que se conectam à Internet por serviços de *Wi-Fi* ou de telefonia celular (Mazzola, 2000).

Com a conceituação de topologias, que iniciou com a conexão ponto a ponto, para permitir a comunicação entre pontos ou nós, houve a necessidade de hierarquizar e descentralizar através de um modo teórico as redes, em forma de camadas

interligadas, com funções distintas para permitir a comunicação entre componentes de diferentes fabricantes. O propósito específico de uma rede é a transmissão de dados entre máquinas. Essa transmissão se dá de três formas:

- *Simplex*: cada componente possui um dispositivo transmissor e receptor que nunca invertem os papéis;
- *Half duplex*: permite a transmissão de dados nos dois sentidos, mas como compartilha o mesmo meio de transmissão, os componentes só podem exercer um papel por vez;
- *Full duplex*: permite a comunicação bidirecional, onde os componentes podem transmitir e receber dados simultaneamente.

A transmissão pode se dar de forma serial ou paralela, síncrona ou assíncrona, e parametrizada por protocolos de comunicação. Pode-se citar, por exemplo, os protocolos *Base Station Controller (BSC)*, *Synchronous Data Link Control (SDLC)* e *High Level Data Link Control (HDLC)*.

Todos os sistemas tinham que lidar com problemas de distorção, ruído na transmissão, atenuação e retardo do sinal. Dessa forma, muitos destes sistemas eram proprietários e conversavam somente com equipamentos da mesma marca ou fabricante, como por exemplo, o *System Network Architecture (SNA)* e o *Digital Network Architecture (DNA)*. Neste universo que clamava por interoperabilidade, coube à Organização Internacional para Padronização, conhecida por ISO, criar e introduzir o conceito de interconexão denominado de modelo *OSI (Open System Interconnection)* [Mazzola 2000].

2.1. Modelo OSI

Segundo Tanenbaum (2003), o modelo *OSI* é um modelo de arquitetura para sistemas abertos que visa permitir a interoperabilidade, compatibilidade e portabilidade dos equipamentos de comunicação em qualquer tipo de rede. No conceito de protocolo *OSI*, tem-se um modelo que define um padrão de sete camadas, conforme é apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Camadas do modelo OSI

Nº da camada	Descrição
7	Aplicação
6	Apresentação
5	Sessão
4	Transporte
3	Rede
2	Enlace
1	Física

Fonte: do autor

2.1.1. Camada 1 – Física

A camada 1 é a denominada camada física e visa assegurar o transporte dos dados entre dois terminais, definindo como os quadros de *bits* são enviados para a rede. Dessa forma, a camada física é a responsável por converter os dados que vem do meio físico (sinais elétricos, luz e outros) em *bits* e enviá-los para a camada de enlace.

2.1.2. Camada 2 – Enlace

A camada de enlace tem como objetivo oferecer o caminho para transportar os dados entre entidades da camada de rede, adicionando endereços físicos de origem e destino e dados de controle. É nesta camada que ocorre o agrupando dos *bits* advindos da camada física em quadros. O quadro de *bits* tem como conceito a decomposição dos dados em porções menores de informações, onde são adicionando códigos, como caracteres especiais, que permitem o controle e detecção de erros, dando ao receptor a capacidade de verificação de erros nos dados.

Dessa forma, a camada de enlace permite a adição de mecanismo de detecção de erros, controle do fluxo e limitação do volume de dados trocados entre fonte e destino, fazendo a gestão das ligações.

2.1.3. Camada 3 – Rede

A camada de rede tem por objetivo assegurar o transporte dos pacotes da máquina origem para a máquina destino, fazendo o roteamento adequado e convertendo os endereços lógicos em endereços físicos, propiciando que os pacotes cheguem corretamente ao destino, levando em conta o estado da rede, como volume de tráfego, e evitando trechos sobrecarregados.

O endereçamento é uma função importante que é fornecida à camada transporte por meio de uma codificação especial. Para a execução desta tarefa, a camada de rede utiliza a função de roteamento, que tem a capacidade de encaminhar os pacotes trocados por entidades e de garantir a comunicação entre eles.

2.1.4. Camada 4 – Transporte

A função da camada de transporte é ofertar a transferência entre emissor e receptor, subdividindo os dados advindos da camada de sessão em pacotes que serão transmitidos pela rede. O receptor tem a responsabilidade de receber os pacotes vindos da camada de rede e fazer a sua remontagem na forma original para enviar à camada de sessão.

Este serviço tem de ser executado de forma confiável e independente da informação transportada ou da rede de comunicação. Esta função é feita em três etapas:

- Estabelecimento de conexão;
- Transferência dos dados;
- Liberação da conexão.

2.1.5. Camada 5 – Sessão

Esta camada permite que usuários, em máquinas diferentes, estabeleçam uma sessão entre eles. Nesta camada, os dados recebem uma marcação, permitindo que, no caso de falha na rede, esteja garantida a continuidade da transmissão quando a conexão for restabelecida.

2.1.6. Camada 6 – Apresentação

A função principal da camada de apresentação é oferecer meios aos usuários para o estabelecimento das conexões chamadas pelas sessões. Desta forma, permite a troca de dados num formato compreendido pelo protocolo. Na prática, funciona como se fosse um tradutor entre as camadas de sessão e aplicação.

2.1.7. Camada 7 – Aplicação

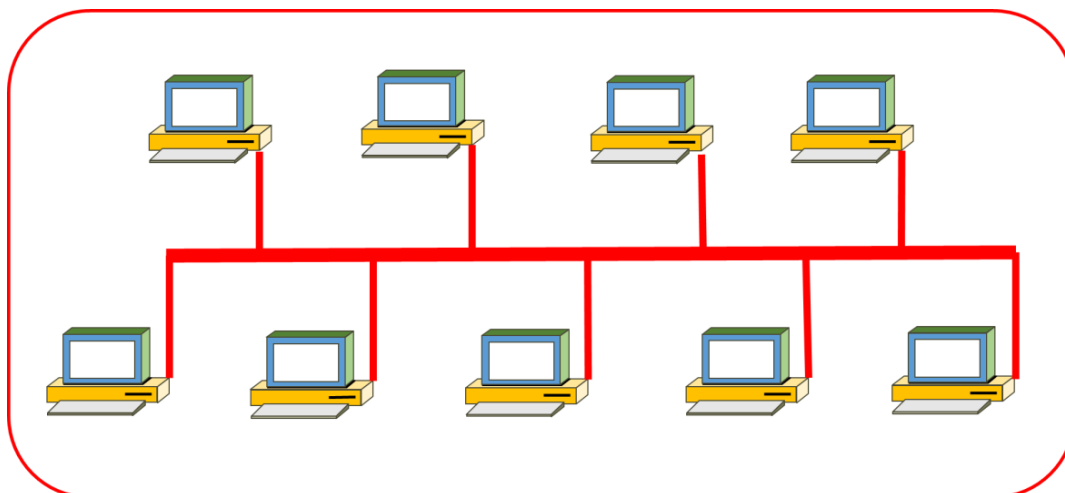
Esta camada diferencia-se das demais, pois não provê nenhum serviço a estas. E ao mesmo tempo, é a camada que está mais perto do usuário, pois nela se encontram as aplicações como o correio eletrônico e a consulta a diretórios. São exemplos de aplicações: transferência de arquivos, leitura e atualização de banco de dados, operação de correio eletrônico, etc.

2.2. Topologia de redes

Conforme Borba Netto (2007), seja qual for a topologia, é preciso que sempre exista um caminho através de cabos ligando cada equipamento a todos os demais equipamentos da rede. A topologia de redes trata da descrição do encaminhamento dos cabos, nos quais computadores, roteadores e demais componentes de uma rede estão localizados. São três as formas mais comuns de topologias: barramento, anel e estrela.

A topologia mais simples é o barramento. Nesta topologia, todos os nós estão ligados a uma única barra, conforme a figura 1.

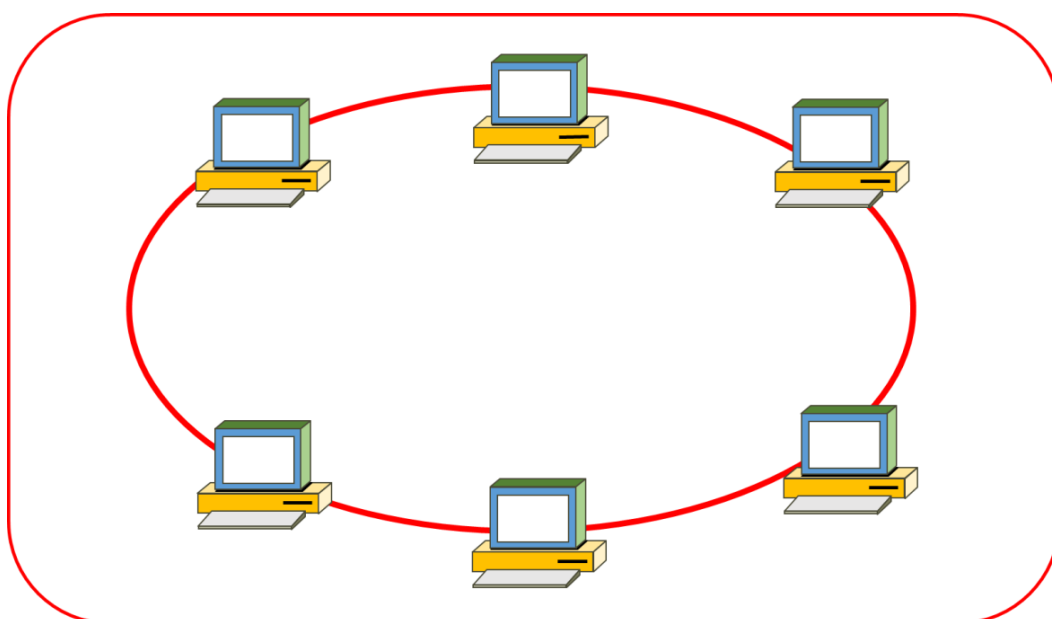
Figura 1 – Topologia em barramento



Fonte: adaptada de <https://web.fe.up.pt/~goii2000/M3/redes2.htm>

A topologia em anel é a ligação em série, formando um circuito fechado, com as transmissões feitas de forma unidirecional. Se houver uma grande quantidade de computadores, haverá um retardo de sinal, pois as mensagens passam de computador a computador até atingir o destino final. A tecnologia *token ring* aparece usualmente com esta topologia. A figura 2 exemplifica a topologia em anel.

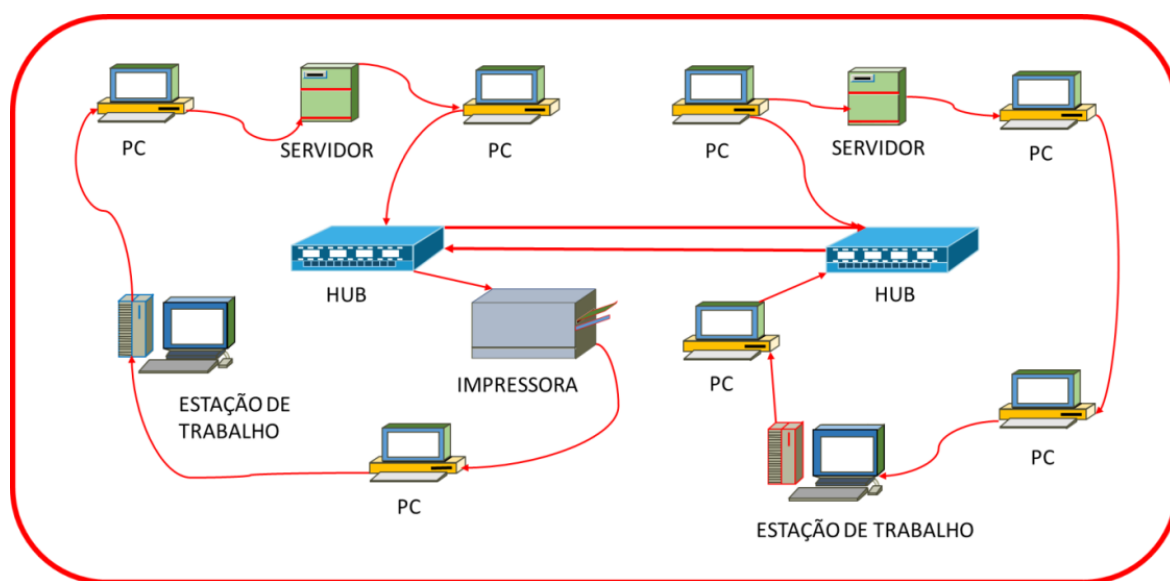
Figura 2 – Topologia em anel



Fonte: adaptada de <https://web.fe.up.pt/~goii2000/M3/redes2.htm>

A partir da topologia em anel apresentada na figura 2, podem-se representar outras configurações nas quais um anel está ligado a outro por meio de dispositivos de interconexão, como os *hubs*. A figura 3 apresenta uma topologia em anel entre *hubs*, em que caso a comunicação seja interrompida numa parte do anel, o *hub* garante a redundância da comunicação dos dispositivos pela outra ligação do anel.

Figura 3 – Topologia em anel

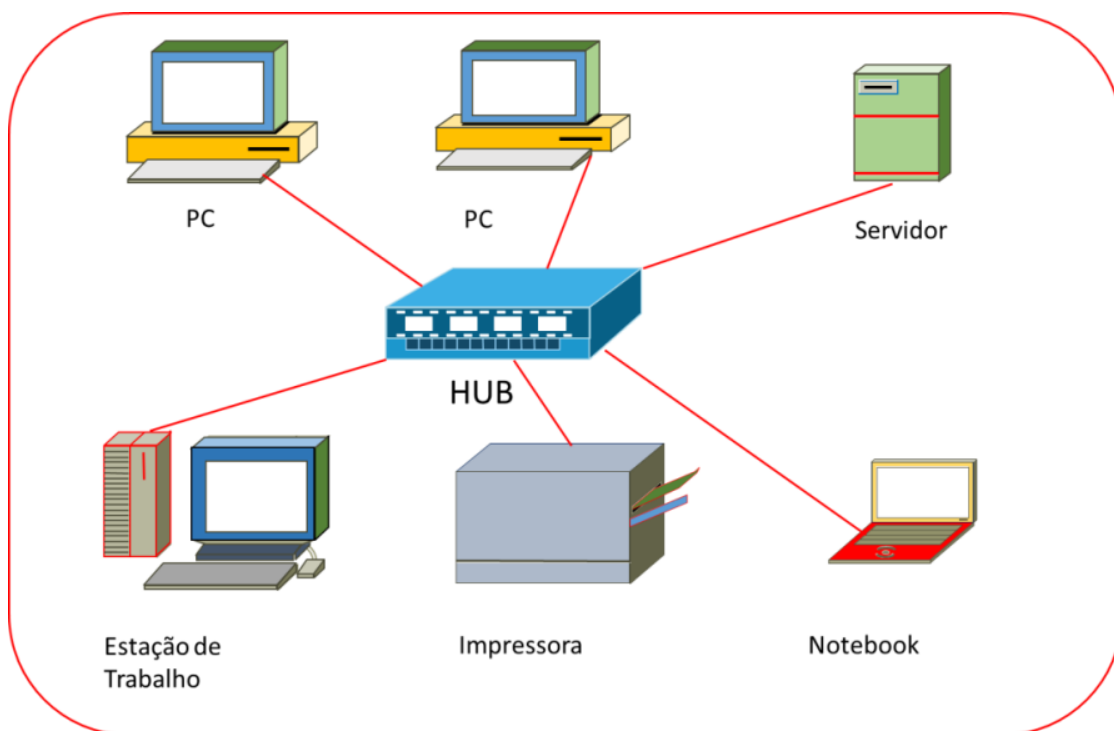


Fonte: adaptada de <https://web.fe.up.pt/~goii2000/M3/redes2.htm>

A topologia em estrela, figura 4, utiliza um par trançado de fios ligados a um *hub*, que faz a intermediação dos dados entre todas as estações de trabalho da rede. Esta topologia é aplicável somente em pequenas redes.

Além das topologias apresentadas, existe a topologia lógica. Ao contrário da topologia física, que descreve o leiaute das ligações entre os componentes de uma rede, a topologia lógica descreve a forma como os dados percorrem a rede. Os dois modos mais comuns são o *Broadcast* e o *Token*.

Figura 4 – topologia em estrela



Fonte: adaptada de <https://web.fe.up.pt/~goii2000/M3/redes2.htm>

No modo *Broadcast*, os dados são enviados a todos os nós da rede. No modo *Token*, as estações de trabalho aguardam a disponibilidade de um *Token* livre para poder encaminhar o pacote de dados. Quando uma estação transmite, as demais têm que aguardar a finalização da transmissão. Quando o *Token* estiver novamente livre, a próxima estação pode realizar a transmissão. A vantagem desse sistema é que não há colisões dos pacotes de informações.

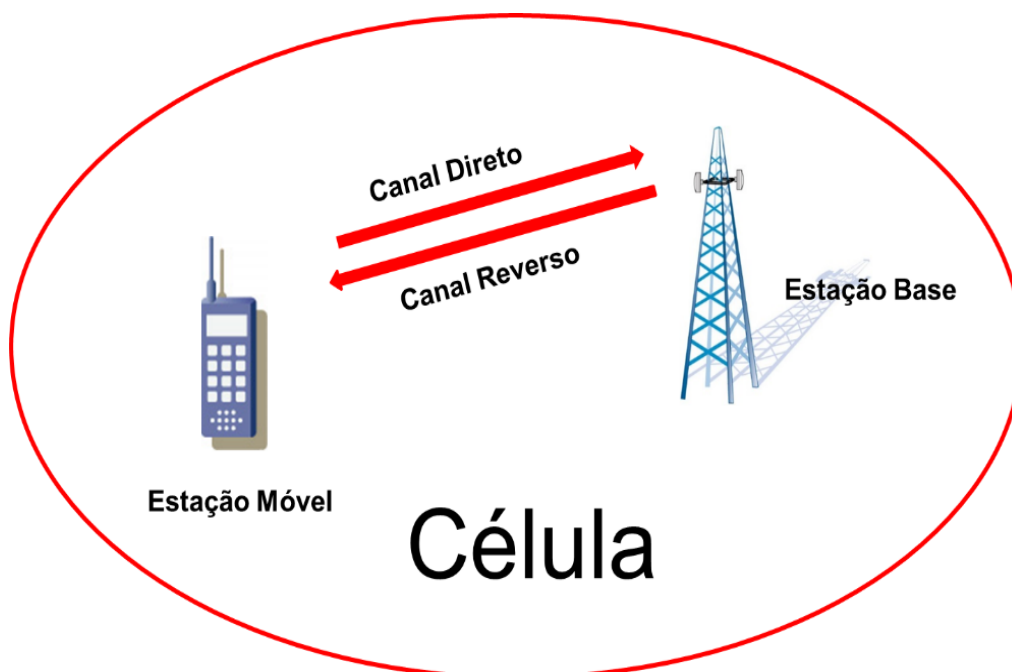
3. REDES SEM FIOS

Conforme Nakamura (2003) entende-se por rede de computadores a conexão de dois ou mais dispositivos eletrônicos que utilizam um conjunto de regras, denominada de protocolo. Essa conexão permite o compartilhamento de recursos (*hardware*, Internet, impressora), podendo ser cabeada (fibra ótica, cabo coaxial, par trançado), ou sem fio (*Wi-fi*, celular, satélite, etc.).

3.1. Redes celulares de telefonia móvel (RCTM)

A definição de Redes Celulares de Telefonia Móvel (RCTM), conforme, Barcelos e Pufal (1995), está estruturada sobre um conjunto de canais de rádio frequência (canais RF) definidas para uma área geográfica limitada, chamada célula, que pode ser acessada por demanda para estabelecer um enlace de comunicação do tipo *duplex* com uma estação base fixa, integrada a uma rede telefônica fixa, conforme a figura 5.

Figura 5 – Representação de uma RCTM



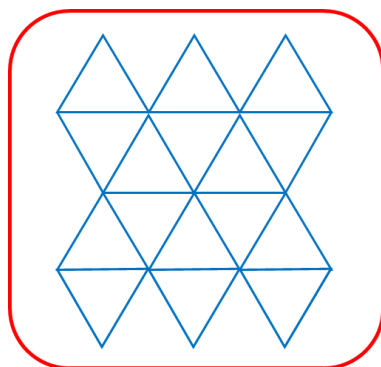
Fonte: adaptada de Barcelos e al. (1995)

O nome celular está vinculado ao arranjo físico para a divisão da área de cobertura. Cada divisão tem a denominação de célula, e para cada célula existe uma estação de rádio base. Estas últimas, por sua vez, são interconectadas por rede de fibras óticas, formando uma rede física de comunicação.

O sistema de rede de comunicações celulares foi concebido pelos Laboratórios Bell em 1947. O telefone propriamente dito foi patenteado pela Motorola, em 1973, e a primeira rede comercial em 1981, na Suécia. Desta forma, os sistemas celulares significam a divisão de uma área de atuação em diversas células.

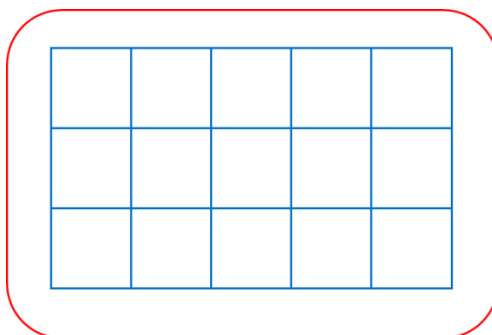
Paulo Gomes, afirma que quando se considera os formatos geométricos que podem cobrir uma região sem que haja falhas ou sobreposições as três melhores escolhas recaem em: quadrado, triângulo equilátero e hexágono, como apresentado, nas figuras 6, 7 e 8.

Figura 6 – Células triangulares



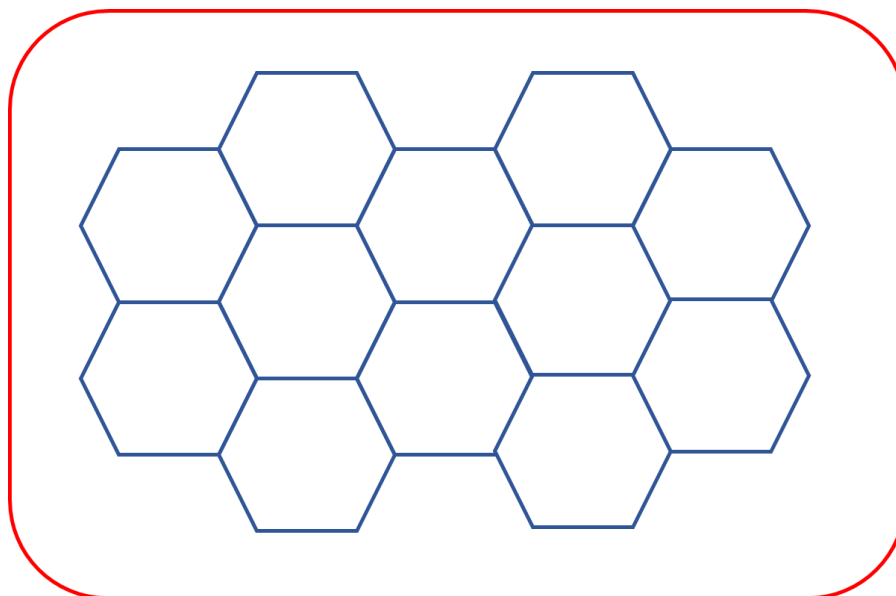
Fonte: adaptada de Paulo Gomes (2008)

Figura 7 – Células quadradas



Fonte: adaptada de Paulo Gomes (2008)

Figura 8 – Células hexagonais ou forma de colmeia



Fonte: adaptada de http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcelb/pagina_2.asp

No Brasil, a atual tecnologia utilizada pelas quatro grandes operadoras (VIVO, CLARO, TIM e OI) é o *Global System for Mobile Communications (GSM)*. Na rede celular em forma de colmeia, estas estão organizadas em grupos de sete células, também conhecidos pelo termo em inglês *cluster*. No centro de cada célula fica instalado um transmissor, as antenas e os equipamentos de transmissão, recepção e comutação, que são chamados de rádio base.

O tamanho da célula depende diretamente da quantidade de habitantes da região. Se o local for densamente povoado as células, serão menores para evitar a degradação da qualidade do serviço. Outra forma de garantir a qualidade do sinal é a sobreposição de células. Todas as estações de rádio base estão ligadas a um ponto central chamado *Mobile Switching Office (MSO)* por linhas fixas ou micro-ondas e conectadas à rede pública de telefone, conhecida por *Public Swithed Telephone Networking (PSTN)*.

O histórico da evolução das redes móveis celulares mostra que, da década de 80 até a presente data, os celulares evoluíram em etapas denominadas de gerações. Em passado recente, a primeira geração, chamada de 1G, utilizou um sistema avançado de telefonia móvel que transmitia somente áudio, o *Advanced Mobile Phone System (AMPS)*. Nesta evolução, há a constatação do potencial de outros

serviços além da voz, mas também ocorreram problemas técnicos tais como: incompatibilidade entre sistemas adotados pelas diversas operadoras, baixa qualidade de áudio, falta de segurança e perda de sinal.

A segunda geração, conhecida por 2G, surgiu nos sistemas de telefonia celular na América do Norte, Europa e Ásia e empregou a transmissão digital. Nos Estados Unidos, criou-se o D-AMPS (*Digital Advanced Mobile Phone System*), que mais tarde foi denominado de TDMA (*Time Division Multiple Access*). Surge, também, nesta geração, a tecnologia CDMA (*Code Division Multiple Access*).

Na Europa, desenvolveu-se o modelo chamado de GSM (na época significava *Group Special Mobile*, mais tarde denominado de *Global System for Mobile Communications*). As tecnologias CDMA e TDMA foram então substituídas, na terceira geração (3G) pelo sistema GSM. Na Ásia, precisamente no Japão, o modelo adotado foi o PDC (*Personal Digital Cellular*).

A tabela 2 mostra resumidamente a evolução da telefonia celular, conforme a tecnologia empregada.

Tabela 2 – Evolução das tecnologias de telefonia celular

Geração	1G	2G	3G	4G
Características	Transmissão de dados analógica (AMPS)	Transmissão digital de dados (TDMA, CDMA e GSM)	Evolução CDMA e GSM	Elevação das taxas de transmissão de dados
	Taxas de 9600 bps	Taxas de 9600 a 14400 bps	Taxas de até 2 Mbps	Tecnologias e aplicações ainda em discussão
		Surgimento de aplicações WAP	Surgimento de aplicações Multimídia	

Fonte: Nakamura (2003)

Cabe mencionar que entre a segunda e a terceira gerações surgiram serviços que usavam os recursos de ambas. Esta tecnologia foi chamada de 2.5G. Um produto surgido desta hibridização de gerações foi o GPRS (*General Packet Radio Service*). O GPRS é um serviço projetado pela ETS (*European Telecommunications Standard*

Institute) para a transmissão de dados por pacotes suportando IP (*Internet Protocol*), X25, WWW, FTP, Email e SMS. A definição de GPRS, conforme Dantas e Sadok Dezembro (2001) é uma extensão do *Global System for Mobile Communications* para suportar a transmissão por pacotes. As características principais do GPRS são:

- Taxa de transporte de dados de 26 a 40 kb/s (modelo teórico até 171 kb/s);
- Conexão de dados independente do circuito telefônico, não tarifado por tempo de conexão, com serviço sempre disponível;
- Implantação com poucas alterações de infraestrutura;
- Padronização de transporte de dados definido pelos protocolos IP e X-25.

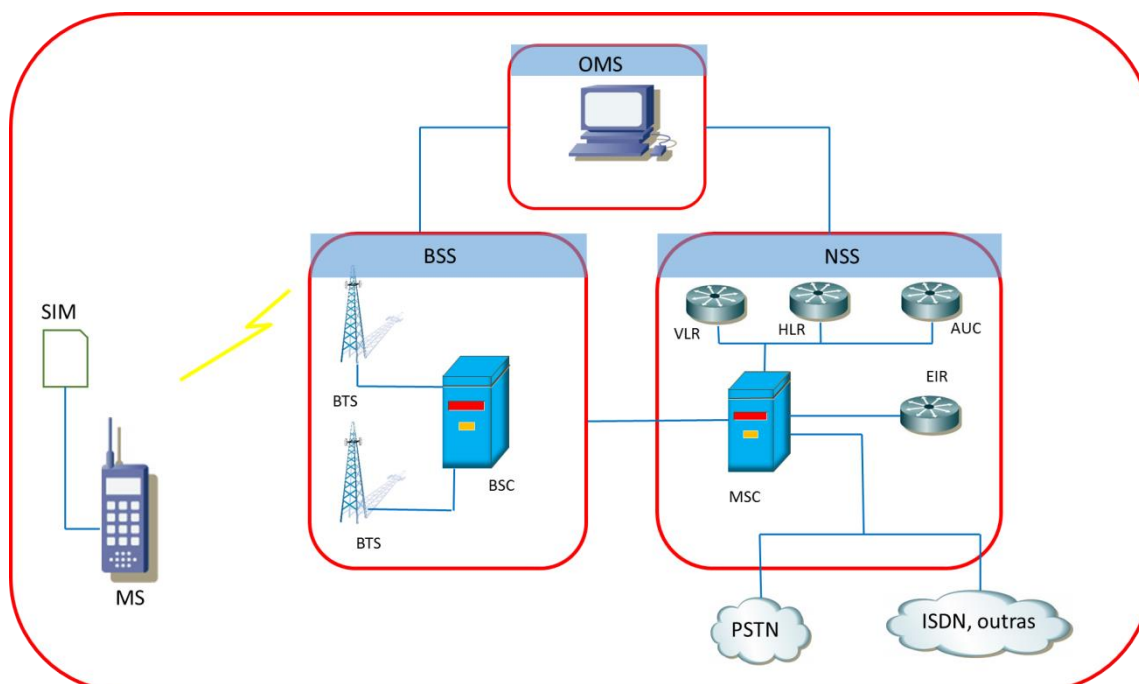
A terceira geração (3G), surge de um conjunto de normas, regras e especificações sob a supervisão da IMTS (*Improved Mobile Telephone Services*). O nome adotado chama-se IMT-2000, que é um padrão baseado no CDMA e com abrangência em três modos de operações: *Direct Sequence Division Duplex (FDD)*, *Multicarrier FDD* e *Time Division Duplex*. Desta forma, o sistema atendeu aos padrões adotados na Europa, Estados Unidos e Ásia. O sistema IMT-2000 engloba cinco tipos de rádios baseados nas três tecnologias predominantes: *FDMA*, *CDMA* e *TDMA*.

Para a transmissão de dados, a tecnologia de múltiplo acesso GSM é a responsável por prover o acesso físico (canal de rádio) aos dispositivos de transmissão e recepção, tornando possível o compartilhamento da rede e com atuação na camada de enlace do modelo OSI. Na atualidade, existem outros serviços com maior capacidade como, por exemplo, *UMTS*, *HSPA*, *HSPA+*, *EDGE*, entre outros.

3.2. Arquitetura de rede celular

A arquitetura de rede celular GSM é composta pelos seguintes componentes: SIM, BSS, NSS, OMS, MS, BTS, BSC, MSC, VLR, HLR, EIR, AUC, PSTN e ISDN. A figura 9 apresenta a configuração dessa arquitetura.

Figura 9 – Arquitetura GSM



Fonte: adaptada de Barcelos e Zuccolotto (2008)

O SIM significa módulo de identidade do assinante e tem a função de identificar o assinante. Ele fica instalado no MS (*Mobile Station*), ou seja, fica no aparelho celular ou no equipamento que o contenha e esteja conectado a uma rede de telefone celular GSM. O BSS é acrônimo de *Base Station Subsystem*, sendo responsável pela conexão com a rede. Analisando a figura 9, verifica-se que esta entidade é formada pela agregação de estações transceptoras, designadas de *Base Transceiver Stations* (BTSs).

A segunda agregação, mostrada pela figura 9, é o sistema de comutação da rede (*Net Switching System* - NSS). Esse sistema é formado pela central de comutação móvel juntamente com quatro bases de dados:

- *Visitor Location Register* (VLR), responsável pelo registro da localização dos visitantes;
- *Home Location Register* (HLR), responsável pelo registro de origem do assinante;
- *Authentication Center* (AUC), responsável pela autenticação;
- *Equipment Identity Register* (EIR), registrador do equipamento.

O NSS também é responsável pela conexão da rede GSM à rede telefônica pública (*Public Switched Telephone Networking* - PSTN) e à rede de serviços digitais (*Integrated Service Digital Network* – ISDN).

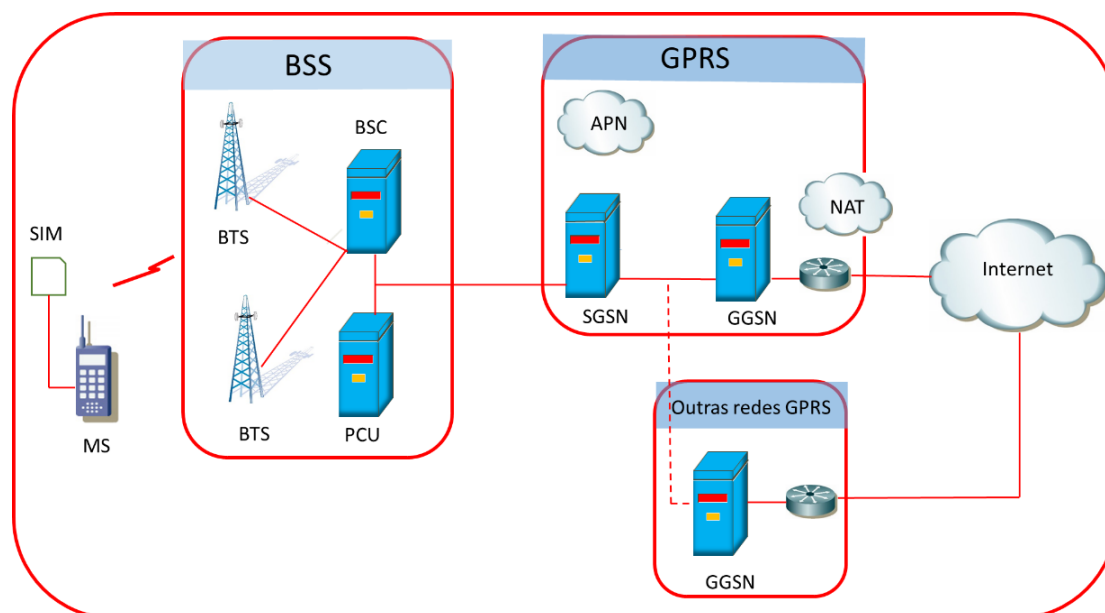
3.3. Arquitetura de transmissão de dados – GPRS

Com o desenvolvimento e a popularidade da telefonia celular houve uma implementação de novas formas de serviços, além da vocação natural que é transmissão de voz. Um destes serviços foi a transmissão de dados. Com base na arquitetura GSM, foi implementado o GPRS (*General Packet Radio Service*).

O principal atrativo deste serviço é que a transmissão é realizada por comutação de pacotes diferente do GSM, feita por circuito, e a uma taxa muito superior. Esse novo serviço, também designado de rede GPRS, utiliza os recursos GSM com acréscimo de equipamentos à infraestrutura já existente. Conforme a figura 10 acrescentam-se os seguintes equipamentos:

- PCU – (*Packet Control Unit*) que é uma interface para o tráfego dos dados;
- SGSN – (*Serving GPRS Support Node*) que permite o acesso do MS à rede GPRS;
- GGSN – (*Gateway GPRS Support Node*), responsável por prover a conexão da rede GPRS com as redes externa.

Figura 10 – Arquitetura GPRS



Fonte: adaptada de Barcelos e Zuccolotto (2008)

3.4. Rede transmissão por cabo

A rede de transmissão de dados (RTD), também é chamada de Sistema de Transmissão de Dados (STD). Esta diferença de denominação é decorrente da etapa de construção das linhas metroviárias, dada por diferentes fornecedores de equipamentos.

A rede utiliza transmissão de dados por pacotes TCP/IP, para integrar os diversos sistemas operacionais, e de controle, existentes nas Estações, Pátios de Manobras e no Centro de Controle Operacional (CCO).

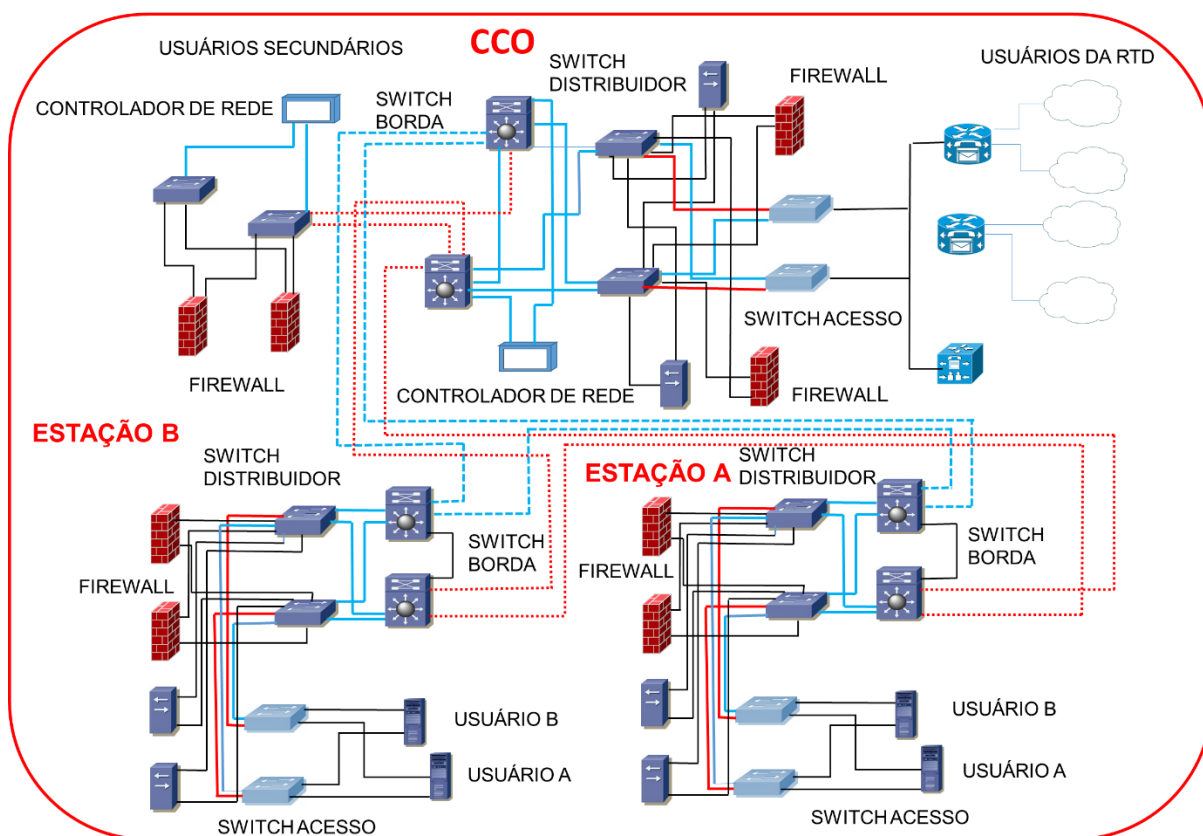
Esta rede é composta por:

- *Switches* de borda;
- *Switches* de distribuição;
- *Switches* de acesso;
- *Firewalls*;
- Servidores de Gerenciamento de rede;
- Servidores de autenticação (virtualizado);
- Servidores DAPC (virtualizado).

A comunicação entre as localidades utiliza um sistema composto de dois anéis de fibra ótica, de forma redundante, garantindo a continuidade das transmissões de dados quando da ocorrência de falha de componentes do sistema.

A rede de transmissão de dados da Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô) utiliza transmissão por pacotes TCP/IP para fazer a integração dos vários sistemas operacionais, e de controle, existentes nas estações, nos pátios (onde a rede está completamente instalada) e no Centro de Controle Operacional (CCO). A figura 11 mostra a topologia da rede de dados.

Figura 11 – Topologia da rede



Fonte: Procedimento Operacional da CMSP (2013)

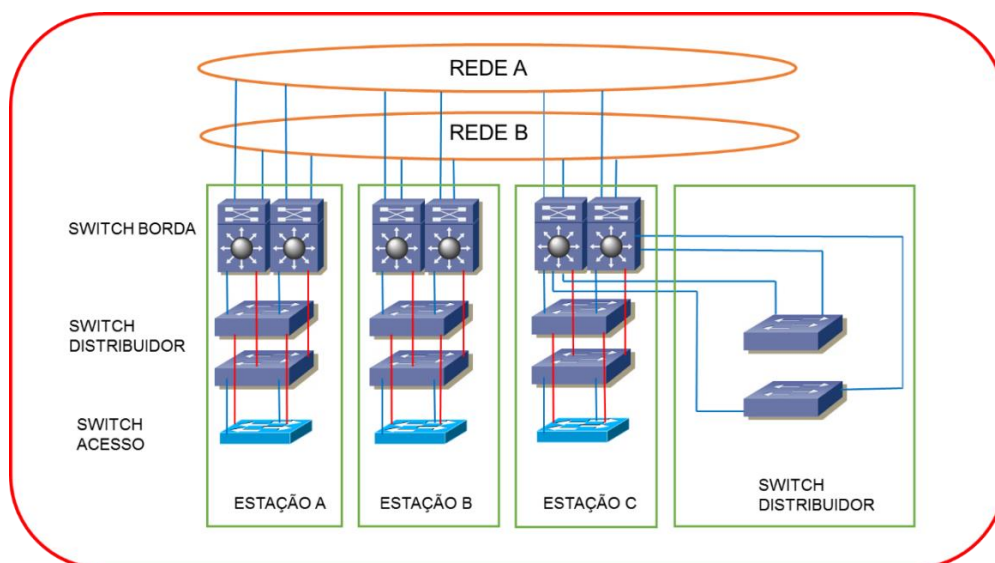
3.5. Aplicação de redes físicas numa estação do Metrô

Descreve-se, a seguir, a composição da rede ou sistema de transmissão de dados utilizadas para o controle dos equipamentos de uma estação típica do Metrô de São Paulo. Dentro desta rede são suportados os seguintes sistemas:

- Sistema de Comunicações Fixas (SCF);
- Sistema de Telefonia IP;
- Sistema de Controle Local (SCL);
- Sistema de Multimídia (SMM);
- Sistema Controle de Arrecadação (SCAP);
- Sistema de Monitoração Eletrônica (SME);
- Sistema de Controle de Acesso (SCA);
- Sistema de Comunicações Móveis (SCM);
- Sistema de Apoio à Manutenção (SAM);
- Comunicações Móveis de Voz e Dados (SCMVD);
- Sistema de Controle Centralizado (SCC);
- Sistema de Controle do Pátio (SCP);
- Sistema de Alimentação Elétrica (SAL);
- Sistema de Informática Administrativa;
- Sistemas de Aplicações Comerciais;
- Sistemas Auxiliares;
- Sistema Porta de Plataformas (PSD);
- Sistemas e equipamentos controlados.

Em cada sistema, cada usuário está configurado como uma VLAN, evitando assim que os dados fiquem dispersos por toda a rede. A rede de transmissão de dados é somente um meio de transmissão de dados de um ponto a outro. As funções são executadas pelos equipamentos que se ligam a rede local através de um *Switch* de acesso. Estes serviços são: telefonia, servidores, câmeras, sistemas de prevenção contra incêndio, entre outros. A figura 12 mostra a topologia da rede de comunicação entre estações do Metrô:

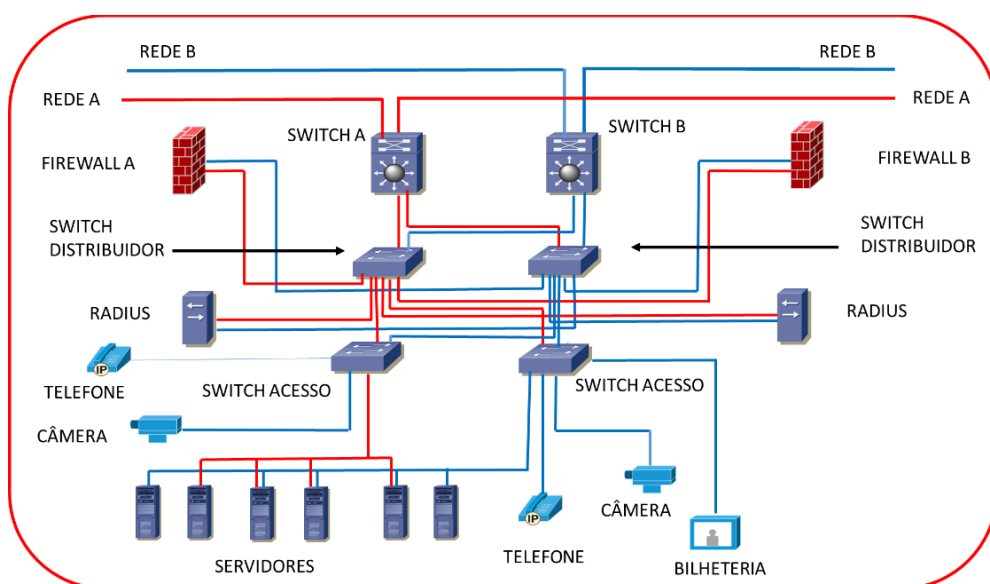
Figura 12 – Topologia entre estações



Fonte: Procedimento Operacional da CMSP (2013)

Com relação à arquitetura de transmissão de dados, as redes são dispostas em dois anéis, representados pelas redes A e rede B, conforme figura 12. Isso permite a conexão de rede entre estações e o Centro de Controle Operacional do Metrô (CCO). Já a figura 13 apresenta, com mais detalhes, a arquitetura de rede dos equipamentos dentro de uma estação.

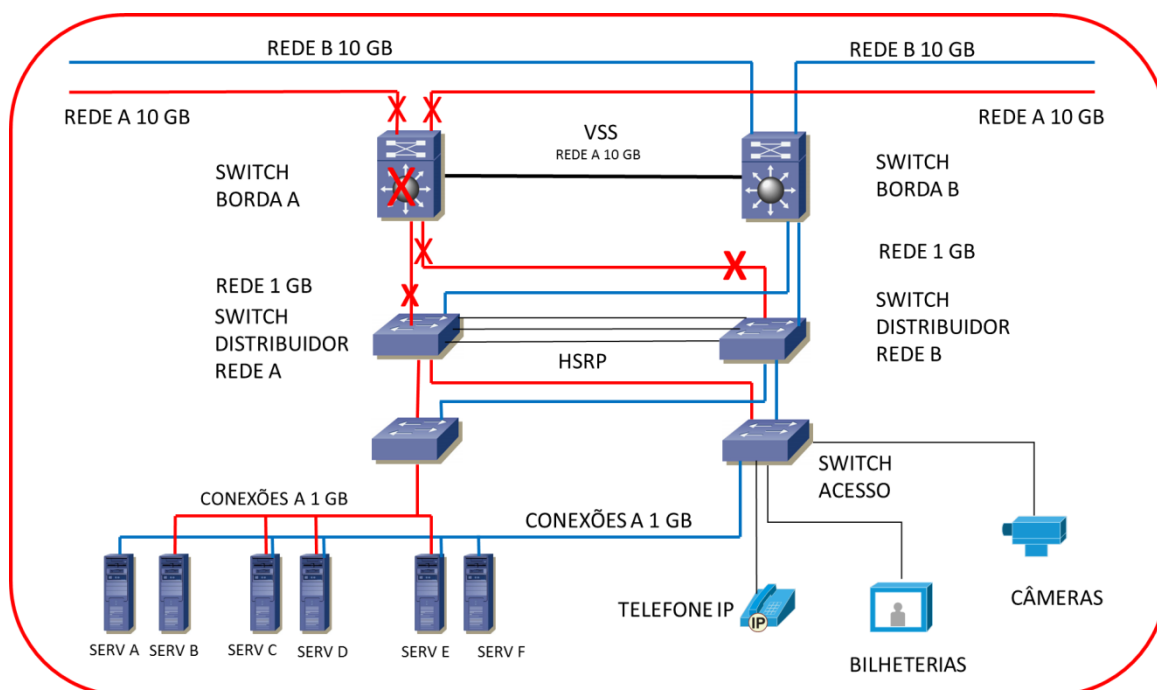
Figura 13 – Arquitetura dentro da Estação



Fonte: Procedimento Operacional da CMSP (2013)

Analisando-se a figura 13, verifica-se que as redes A e B conectam todos os *Switches* existentes na rede. Esta forma de redundância garante a continuidade das comunicações entre as estações e os equipamentos, em caso de falhas em componentes da rede. Na figura 14 é apresentado um exemplo de como a redundância atua em caso de falha de uma das redes de transmissão de dados. Quando a rede A está com problemas, a rede B mantém a conexão e comunicação com os equipamentos da rede.

Figura 14 – Rede com falha



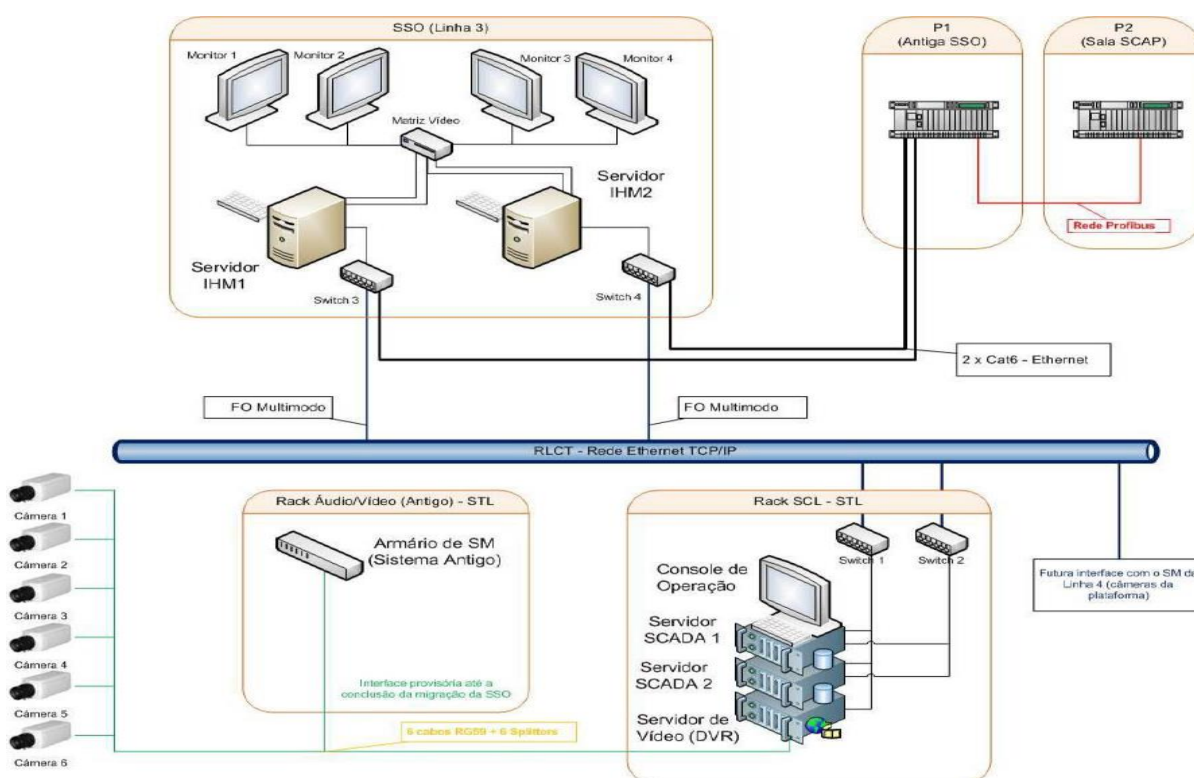
Fonte: Procedimento Operacional da CMSP (2013)

3.6. Descrição do Sistema de Controle Local – SCL

O Sistema de Controle Local (SCL) é um dos sistemas utilizados para controlar a operação dos bloqueios de entrada e saída de usuários, elevadores, escadas rolantes, iluminação, sistemas de bombas, geradores, ventilação, sonorização e sistema de câmeras de uma estação do Metrô. As operações destes equipamentos são realizadas pelos operadores de transporte metroviários da estação. Estes empregados acessam, através de terminais, as interfaces humano-máquina (IHM) que estão instalados dentro da Sala de Supervisão Operacional (SSO).

No exemplo da figura 15, tem-se a presença da rede *Ethernet*, que utiliza o protocolo de comunicação TCP/IP. As informações ficam centralizadas em duas estações de IHM, o que permite a automação das funcionalidades dos equipamentos da estação. Como funcionalidade de diagnóstico durante as operações, o sistema divide as funcionalidades em dois grupos: equipamentos auxiliares e equipamentos de fluxo de passageiros.

Figura 15 – Sistema de controle local



Fonte: Procedimento Operacional da CMSP (2009)

Compreende-se como equipamentos auxiliares de uma estação do Metrô:

- Bilheteria;
- Bombas;
- Gerador e Inversores;
- Iluminação;
- Detecção de Incêndio;

- Ventilação Principal;
- Ventilação Salas Técnicas;
- Elevadores;
- Escadas Rolantes;
- Sonorização;
- Linha de Bloqueio.

4. PROPOSTA DE REDE PARA O SISTEMA DE TELEMETRIA DE CONSUMO E DETECÇÃO DE VAZAMENTOS NO METRÔ

Partindo da proposta de instalação de um sistema de telemetria de consumo de água e detecção de vazamentos, proposto por Nozawa (2016)¹, considerou-se duas formas de abordagem para o gerenciamento dos dados coletados a partir de teledímetros que utilizam sensores instalados nos hidrômetros das estações do Metrô:

- Transmissão dos dados coletados por meio externo, com auxílio da telefonia celular;
- Utilização da rede de dados operacionais, existente em toda a malha metroviária.

A figura 16 mostra um hidrômetro com sensor acoplado, fazendo continuamente a leitura do consumo de água.

Figura 16 – Exemplo de hidrômetro com sensor eletrônico acoplado



Fonte: dos autores

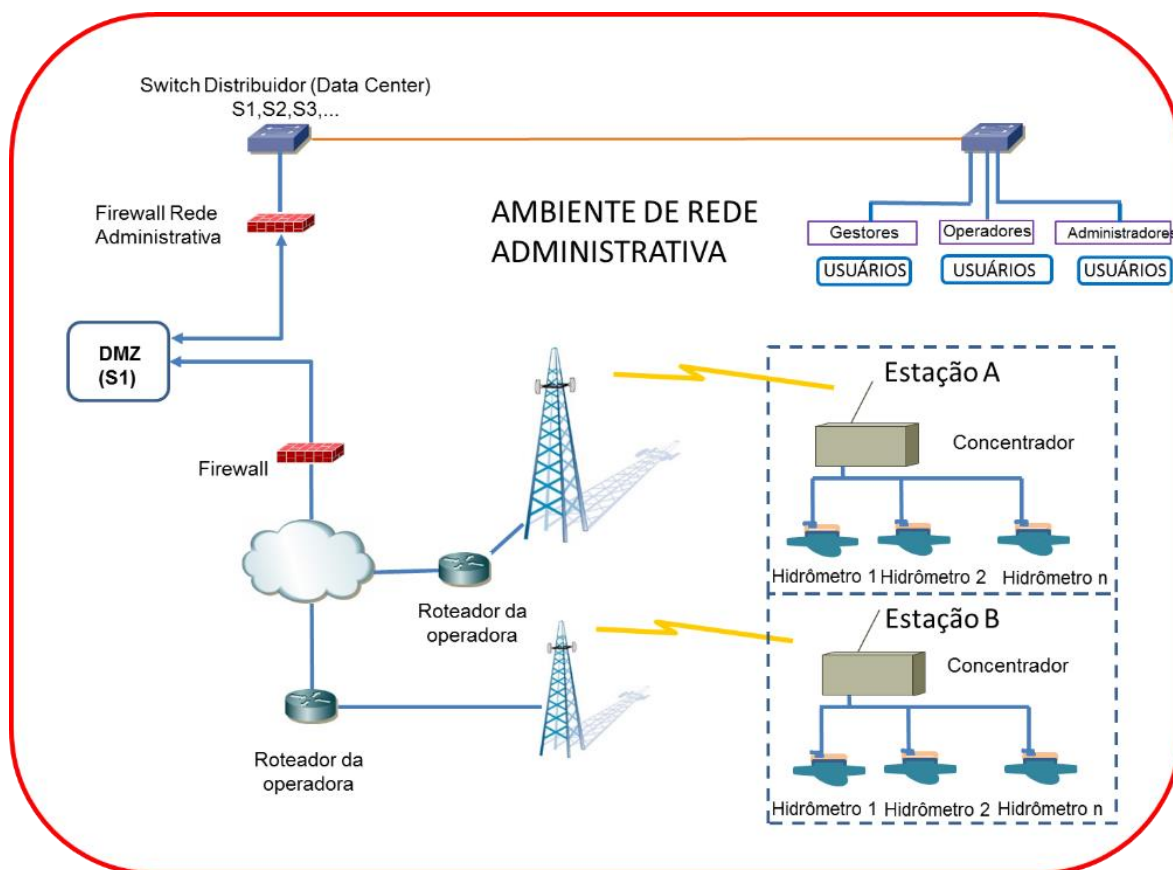
Na primeira forma, os dados coletados pelos teledímetros são enviados à operadora de telefonia celular e disponibilizados em um servidor desta ou da rede do Metrô. Os dados oriundos dos teledímetros devem ser coletados em todas as

¹ Monografia de conclusão do Curso de Especialização em Tecnologia Metroferroviária: Monitoramento de Consumo e Detecção de Vazamentos no Sistema de Abastecimento de uma Estação Padrão do Metrô de São Paulo, de autoria de Sergio Trahiko Nozawa. EPUSP, 2016.

estações e armazenados no servidor de telemedidores localizados no Centro de Controle Operacional (CCO). Esses dados devem ser disponibilizados aos usuários, que são os operadores das estações, aos analistas do departamento de engenharia e à alta administração da gerência de operações do Metrô. Os dados são disponibilizados aos operadores através da IHM localizada na SSO da estação.

Na segunda forma, é utilizada a rede de transmissão de dados, também denominada de rede operacional, que está definida como uma rede que utiliza tecnologia de transmissão de pacotes TCP/IP e é utilizada para integrar os sistemas operacionais e de controle existentes nas estações, pátios de manobras e no CCO. As figuras 17 e 18 apresentam os dois esquemas funcionais de integração do Sistema de Monitoramento de Consumo de Água e Detecção de Vazamentos (SMCADV), proposto por Nozawa (2016). A figura 17 apresenta a transmissão de dados de medição dos hidrômetros, considerando uma rede via celular.

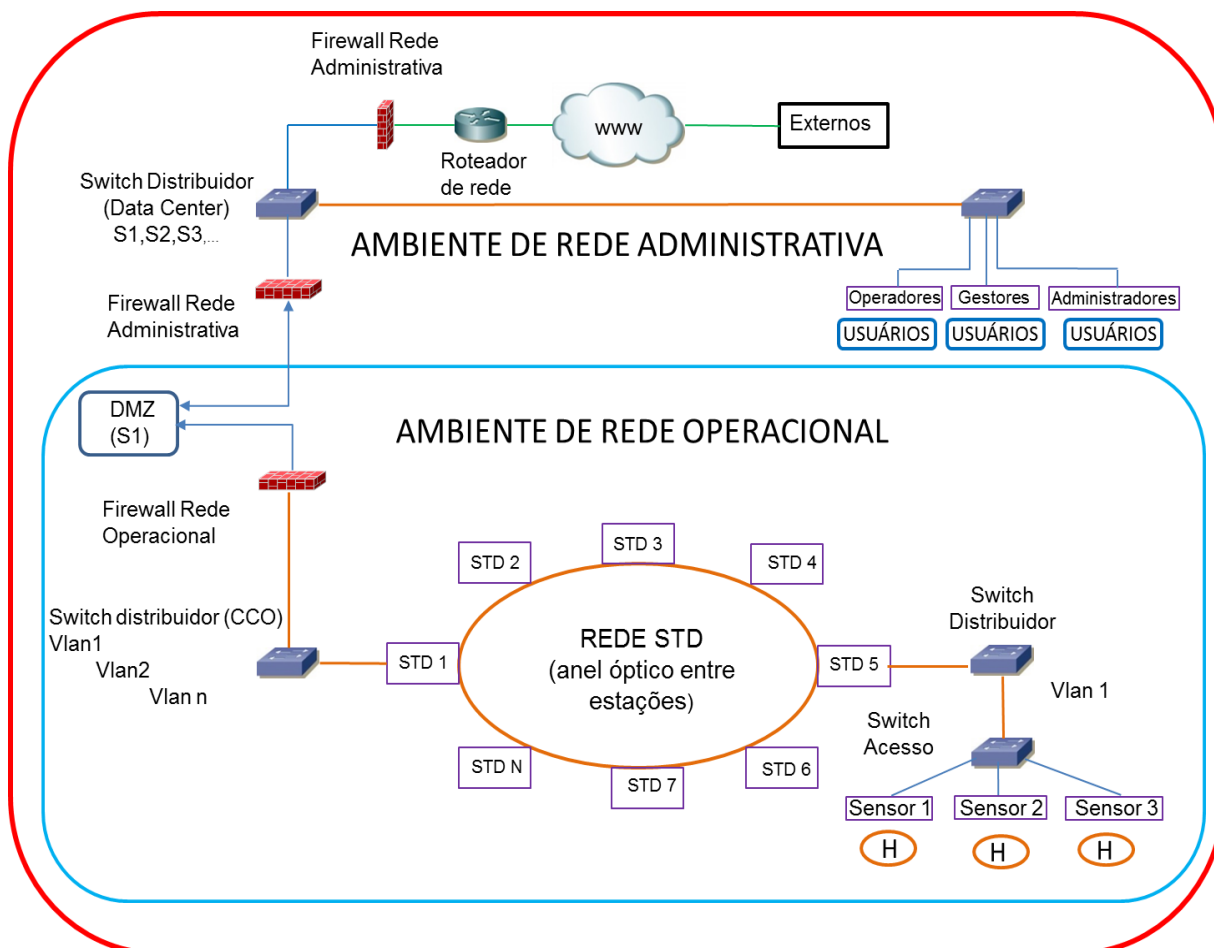
Figura 17 – Dados coletados e transmitidos via rede celular.



Fonte: adaptada de Procedimento Operacional da CMSP

A figura 18, por sua vez, representa a transmissão de dados utilizando a rede de dados operacionais.

Figura 18 – Dados coletados e transmitidos via rede de dados



Fonte: adaptada de Procedimento Operacional da CMSP

Verifica-se que, na transmissão via rede de telefonia celular, haverá a dependência do serviço de uma operadora.

4.1. Análise comparativa entre a rede via celular e a rede cabeada

A Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP) utiliza um sistema redundante de redes de fibra ótica dispostas em anel, que liga todas as estações, chamado de Sistema de Transmissão de Dados (STD). Esta configuração permite o

monitoramento das funções de controle das estações da movimentação dos trens e do fluxo de passageiros. Esta rede consolidada possui capacidade de transmissão de dados superior ao sistema de transmissão via celular, pois esta segunda forma de transmissão pertence a entidades fora do controle da companhia e os respectivos contratos têm tempo finito e precisam ser licitados periodicamente. As disputas comerciais entre concorrentes poderiam causar interrupções de serviços, o que acarretaria problemas para a operação do serviço.

O sistema de rede em fibra ótica pertence aos ativos do Metrô, de forma que isto garante uma operação contínua (24 horas por 365 dias), sendo interrompido somente por problemas técnicos pontuais, mas sob o controle da empresa.

Uma experiência realizada com a transmissão de dados via rede celular para os bloqueios de uma estação reforça os motivos para utilização da transmissão de dados por rede por cabo. Os bloqueios são as áreas onde os usuários validam sua passagem no validador e acessam o sistema metroviário. Uma vez que a passagem esteja liberada, o sistema deve realizar a contabilização para o levantamento das receitas obtidas. Para que isso ocorra, o Metrô atende aos mais diversos tipos de tráfego de dados.

Em meados de 2005 foi introduzido no âmbito da CMSP o Bilhete Único, que é produto da SPTRANS, gerenciadora dos serviços de ônibus da prefeitura de São Paulo (Gerência de Operações do Metrô, GOP 2015). Neste momento, não havia dentro do Metrô uma rede de transmissão disponível para transmissão dos dados provenientes do Bilhete Único. A implantação do sistema por rede cabeada seria demorada por conta da necessidade de adequação de infraestrutura. Então, para atender aos interesses do Governo do Estado de São Paulo que precisava de implantação imediata, adotou-se o processo de transmissão GPRS, que consistia em transmitir os dados do validador de Bilhete Único através uma operadora preferencial por código IP. Esse processo foi escolhido por permitir utilizar a rede de telefonia celular existente na região das estações, o que implicaria somente em adequar os bloqueios das estações.

Quando os volumes de dados eram pequenos (em torno dos 30 Kbytes diários), o processo de transmissão via GPRS era rápido. Mas quando os dados originavam de uma estação com grande quantidade de passageiros, o volume de dados alcançava

valores da ordem de 1,5 MB e o processo de transmissão levava cerca de 20 minutos, caso obtivesse sucesso na primeira tentativa de comunicação.

Os dados eram recepcionados por uma antena da operadora próxima a estação em que estavam instalados aos bloqueios. Neste ponto, os dados provenientes dos bloqueios concorriam com a disponibilidade de canais de dados e de voz da operadora, o que influenciava diretamente na velocidade de transmissão das informações.

Por determinação do poder concedente, no caso as operadoras, o tráfego de voz tem prioridade sobre o de dados. Desta forma, ocorria a interrupção de transmissão dos dados com frequência. Com estes problemas, os dados contidos no validador do bilhete único ficavam acumulados no equipamento, forçando, em determinadas situações, que estes fossem transferidos para outra estação, onde os dados pudessem ser descarregados. Ou seja, esta operação dependia da necessidade de um técnico de manutenção retirar o equipamento e instalá-lo em outra estação com disponibilidade de sinal da rede via celular. Uma vez que os dados fossem descarregados, o validador era novamente reinstalado em sua estação de origem. Caso esta operação não fosse realizada, o validador ficaria inoperante, por falta de espaço na memória, prejudicando a prestação de serviço do Metrô.

Com o passar do tempo, o contrato da operadora do sistema de rede via celular necessitaria de renovação. Isso despendia a necessidade de realização de nova licitação para contratação, pois o Metrô é uma empresa pública. E nesta ocasião, as novas operadoras deveriam novamente adequar tecnicamente os validadores.

Para tornar o processo mais adequado às necessidades da companhia, os validadores foram, ao longo do tempo, substituídos por um modelo de transmissão de dados via rede cabeada. Dessa forma, os validadores dos bloqueios passaram a utilizar o sistema de comunicação de dados (STD).

Para a aplicação do sistema de telemedição do consumo de água, a transmissão de dados por rede de telefonia celular poderia trazer problemas semelhantes ao do caso dos bloqueios. Além disso, o fato de os telemídiores estarem localizados em pontos da estação em que nem sempre existe o sinal de celular é um fator desfavorável para este tipo de comunicação.

Por sua vez, a comunicação de dados via rede cabeada é uma estrutura que está contida dentro do Metrô e, por isso, o seu uso fica dentro do controle da companhia. O telemetro, por ser conectado a esta rede cabeada e, assim, com uma alta disponibilidade do equipamento comunicador, independente se o local possui ou não sinal de celular.

5. CONCLUSÃO

O estudo mostra que, para uma aplicação de telemedição de consumo de água, o sistema de comunicação via rede cabeada é mais adequado que a comunicação via rede de telefonia celular.

Embora a infraestrutura de um sistema de transmissão de dados via celular já esteja pronta na maior parte da cidade, a principal desvantagem, neste caso, é que os equipamentos de telemedição de água sejam instalados em reservatórios que localizados em pontos inacessíveis aos sinais de rádios de sistemas celulares. Isso inviabiliza a transmissão das informações.

De fato, as instalações das células de telefonia móvel estão focadas para oferecer o serviço às pessoas que circulam nas áreas públicas das estações e dentro dos trens. A transmissão de dados via celular se mostra mais adequada para controle de equipamentos geograficamente localizados a grandes distâncias do centro de controle de operação, que não é o caso do Metrô.

Portanto, os estudos desenvolvidos neste trabalho permitem concluir que, dado às características existentes na estação do Metrô, a rede de comunicação cabeada é superior à rede via celular. Além de possuir a autonomia de controle da rede operacional, as necessidades de investimentos na infraestrutura, manutenção, preocupação com a obsolescência dos equipamentos e custos com mão de obra e gestão de administração de materiais ficam sob o domínio e controle do Metrô.

6. REFERÊNCIAS

BARCELOS, Marcelo Boeira; PUFAL, Henrique; ROCHOL, Juergen. **Comunicação de Dados em Redes Celulares de Telefonia Móvel (RCTM)**. Salão de iniciação científica out 1995 . Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 1995. Disponível em <<http://ce-resd.facom.ufms.br/sbrc/1995/p14.pdf>>. Acesso em 01 fev.2016.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Documento **CHESS- Crise Hídrica, Estratégias e Soluções da Sabesp**, São Paulo, 30 de abril 2015, disponível em <www.sabesp.com.br>, acesso em: set. 2015.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, **Documento Técnico Sistema de Telecomunicações: MO-3.83.XX.PA/6XX-101 RB 2009 e DS-15.93.TD.XX/6XX-001**. São Paulo, 2013.

_____. **Manual do Sistema de transmissão de dados da Linha 3**. Revisão 0, 2001

DANTAS, Suzana F. **Avaliação de Serviços de Dados em Redes GPRS**. Trabalho de conclusão de Pós-graduação Recife Dezembro 2001.

FIGUEIREDO, Carlos Maurício S.; NAKAMURA, Eduardo Freire. **Computação Móvel: Novas Oportunidades e Novos Desafios**. Revista T&C Amazônia, Ano 1, nº2, Junho de 2003. Publicação Quadrimestral da FUCAPI – Fundação Centro de análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica.

GOMES, Paulo. **Apostila Tele 2**. Instituição Moura Lacerda, 2008.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de Computadores e a Internet**. 5ª edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010.

MAZZOLA, Vitorio B. **Arquitetura de Redes de Computadores**. Santa Catarina, 2000. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de informática e de estatística do curso de pós-graduação em ciência da computação. UFSC 2000.

MARINO, Donato Jr. **Fundamentos de Redes de Computadores** Gama Filho 2003

PIROTTI, Rodolfo Pedó; ZUCCOLOTTO, Marcos. **Transmissão de Dados Através da Telefonia Celular: Arquitetura das Redes GSM e GPRS**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v.10 n 13, p.81-89 jan/jun 2009. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2008.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. 4ª edição. Editora Campus, 2003.