

ALEX KARCHER MONTEIRO

TÉCNICAS PARA GESTÃO DE ACESSO SEGURO A SISTEMAS COM BANCOS
DE DADOS CRÍTICOS

SÃO PAULO
2015

ALEX KARCHER MONTEIRO

TÉCNICAS PARA GESTÃO DE ACESSO SEGURO A SISTEMAS COM BANCOS
DE DADOS CRÍTICOS

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Tecnologia de Software

Área de Concentração:
Tecnologia de Software

Orientador: Prof. Dr. Jorge Rady de
Almeida Jr.

SÃO PAULO
2015

Dedico este trabalho a meus pais e amigos próximos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Jorge Rady de Almeida Júnior pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante todo o trabalho.

Aos meus pais, Manuel Martins Monteiro e Sandra Regina Karcher Monteiro, por me guiarem pelo caminho da ética, honestidade, dedicação e perseverança.

Aos amigos de infância com os quais convivo até hoje, e aos amigos que tive oportunidade de fazer ao longo de meus estudos nas instituições ETEC Professor Basílides de Godoy, Faculdade de Tecnologia de São Paulo e Universidade de São Paulo.

Não há conhecimento
que não seja poder.
(Ralph Waldo Emerson)

RESUMO

Na presente monografia são descritos conceitos básicos relacionados à organização e arquitetura de bancos de dados, passando pelas principais métricas e técnicas conhecidas de garantia e gerenciamento de acesso a aplicações que dependem de bancos de dados críticos, identificando também as principais causas que afetam a disponibilidade de tais sistemas, bem como formas de prevenção e recuperação de falhas. Para fins de exemplificação, é apresentado um estudo de caso real de um sistema de reservas e distribuição de conteúdo de viagens que se conecta a bases de dados distribuídas de companhias aéreas, trens, hotéis e locadoras de carros distribuídas mundialmente e distribui tal conteúdo entre milhares de agências globais em tempo real, de modo a demonstrar como a teoria se aplica na prática para garantir o acesso sem falhas a tal sistema. Conceitos associados à indústria de viagem também são apresentados de modo a garantir a compreensão das funcionalidades de sistema. Ao final, é apresentada uma conclusão que visa relatar como os conceitos teóricos apresentados se aplicam na prática sob o sistema de informação alvo do estudo, de modo a avaliar a eficiência de tais meios bem como sua correspondência no mundo real para garantir alta disponibilidade de acesso a dados.

Palavras-chave: Sistemas de Informação, Bancos de Dados, Global Distribution System.

ABSTRACT

Along the present monograph are described basic concepts related to database architecture and organization, navigating through metrics and techniques recognized to provide guarantees of management and access to applications based on critical databases, and identifying the main sources of issues that affect availability of these systems, as well as methods to prevent and recover from failures. For exemplification purposes, this monograph presents a real business case of a company that provides systems to deliver travel content, which are interconnected to various databases from global content suppliers (such as air carriers, train companies, hotels and car rentals) and distributes such content amongst thousands of travel agencies around the world in real time. The objective of the case is to demonstrate how the theory applies in a practical manner in order to ensure the access of systems to critical databases free of failures, or as close as this target is possible. Nevertheless, concepts associated to travel industry are presented to facilitate the comprehension of system's requirements and functionalities. At the end, the dissertation offers a conclusion based on the concepts and facts described which aims to report the level of adherence between theory and practice, and also identify the characteristics and efficiency of the strategy adopted to ensure high availability of data.

Keywords: Information Systems, Database Management Systems, Global Distribution System.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação	13
1.2 Objetivos.....	14
1.3 Estrutura do Trabalho	14
2 CONCEITOS DE BANCOS DE DADOS	16
2.1 Bancos de dados.....	16
2.2 Tipos de Bancos de dados	16
2.3 Modelos de Bancos de Dados.....	17
2.4 Sistema Gerenciador de Banco de Dados.....	21
2.5 Conclusão.....	22
3 SISTEMAS CRÍTICOS E CONCEITOS DE DISPONIBILIDADE.....	23
3.1 Sistemas Críticos.....	23
3.1 Conceitos de Disponibilidade – Alta Disponibilidade	24
3.2 Causas de Baixa Disponibilidade em Sistemas Computacionais.....	25
3.3 Métricas de Disponibilidade.....	26
3.4 Conclusão.....	28
4 TÉCNICAS E FERRAMENTAS PARA GARANTIA DE ALTA DISPONIBILIDADE	29
4.1 Técnica de Redundância de dados	29
4.2 Técnica de Redundância Geográfica	33
4.3 Técnicas de Segurança.....	33
4.4 Ferramentas de Cluster	35
4.5 Ferramentas de Mainframe	37
4.6 Ferramentas de Computação em Nuvem.....	38
4.7 Ferramentas de Virtualização.....	38

4.8 Ferramentas de Controle de Concorrência	39
4.9 Conclusão.....	40
5 Estudo de Caso: GDS, UM SISTEMA DE ALTA DISPONIBILIDADE	41
5.1 Conceitos.....	41
5.1.1 GDS.....	43
5.1.2 IATA.....	45
5.1.3 EDIFACT	45
5.1.4 GDS <i>Hosting</i>	46
5.1.5 Acordos <i>Interline</i>	46
5.2 Infraestrutura	48
5.2.1 Armazenamento e Processamento	49
5.2.2 Arquitetura e Distribuição	54
5.2.3 Escalabilidade	57
5.2.4 Organização e Gerenciamento.....	59
5.3 Resultados.....	60
6 CONCLUSÕES	62
6.1 Trabalhos Futuros	65
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	Application Programming Interface.
GDS	Global Distribution System
ERP	Enterprise Resource Planning.
FTP	File Transfer Protocol
IATA	International Air Transportation Association
I/O	Input/Output.
IOPS	Input/Output per Second.
JSON	JavaScript Object Notation.
LAN	Local Area Network.
LPO	Lógica de Primeira Ordem.
MIPS	Millions of Instructions per Second.
MTBF	Mean Time Between Failures.
MTTF	Mean Time To Failure.
MTTR	Mean Time To Repair.
ODBMS ou OODBMS	Object-Oriented Database Management System.
OLAP	Online Analytical Processing.
OLTP	Online Transactional Processing.
PGP	Pretty Good Privacy
PKI	Public Key Infrastructure
RAID	Redundant Array of Independent Disks.
SFTP	Secure File Transfer Protocol
SGBD	Sistema Gerenciador de Bancos de Dados.
SLA	Service Level Agreement.
SSL	Secure Sockets Layer
SQL	Structured Query Language.
TI	Tecnologia da Informação.
XML	eXtensible Markup Language.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre modelos de dados e stakeholders (SIRMACSTRONGER, 2014).	19
Figura 2- Exemplo de tabela em um banco de dados relacional (SILBERSCHATZ; KORTH e SUDARSHAN, 2001).	20
Figura 3- Esquema de banco de dados no modelo orientado a objetos (W3, 2014).20	
Figura 4- Exemplo de dimensões em um modelo multidimensional (O'BRIEN e MARAKAS, 2006).....	21
Figura 5 - Dimensões da Confiança (SOMMERVILLE, 2007).....	24
Figura 6 - Organização de discos na implantação de RAID 01 (BROADBERRY, 2014).	31
Figura 7 - Organização de discos na implantação de RAID 10 (ORACLE APPENDIX , 2009).....	32
Figura 8 - Cluster de alta disponibilidade (COADY, 2015).....	36
Figura 9 - Cluster de balanceamento de carga (COADY, 2015).....	37
Figura 10 - GDS como interface entre fornecedores de consumidores de conteúdo de viagem.	44
Figura 11 - Arquitetura padrão para acordos interlines.	47
Figura 12 - Sistema de armazenamento distribuído do GDS.	53
Figura 13 - Infraestrutura de serviços GDS.	54
Figura 14 - Infraestrutura de acesso a dados e persistência.....	55
Figura 15 - Arquitetura de armazenamento e distribuição de conteúdo.	56
Figura 16 - Particionamento de Banco de Dados com cache.	58
Figura 17 - Particionamento de Banco de Dados com réplicas dedicadas.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre sistemas transacionais e analíticos (MSDN, 2007)....	17
Tabela 2 - Diferenças entre modelos de dados (1KEYDATA, 2014).	18
Tabela 3 - Ranking de SGBDs por popularidade (DB-ENGINES, 2013).....	22
Tabela 4 - Relação de tempo de disponibilidade em termos de contagem de “noves”.	28
Tabela 5 – Aplicação no estudo de caso das técnicas e ferramentas apresentadas.	64

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Sommerville (2007), sistemas críticos são sistemas cuja falha pode implicar em severas consequências humanas ou econômicas. Dentro do universo de sistemas críticos, esta monografia visa identificar as técnicas mais utilizadas para a operação de sistemas críticos corporativos, em especial aqueles responsáveis pelo gerenciamento de bancos de dados.

Ao longo da monografia será discorrido a respeito das metodologias de prevenção, medição e recuperação de falhas de disponibilidade, usando para fins de exemplificação o caso de bases de dados utilizadas por Sistemas Globais de Distribuição (tradução livre do acrônimo em inglês GDS, *Global Distribution System*), utilizado para distribuição de conteúdo de viagem para sistemas de reservas e agências de viagem.

Para garantir a compreensão das explicações, objetivos e conclusões desta monografia, faz-se necessária a descrição de alguns dos conceitos fundamentais ligados a banco de dados e sistemas de informação diretamente relacionados ao tema.

Não é objetivo deste trabalho discorrer a respeito do tema banco de dados de maneira muito abrangente, mas sim garantir a compreensão das metodologias de mitigação de falhas de acesso a sistemas centrados em bancos de dados críticos.

1.1 Motivação

A tecnologia atualmente se faz presente nos mais diversos campos de atuação humana, e apesar de haver uma impressão comum de que a computação assumiu este papel a partir da década de noventa, em função da popularização dos computadores pessoais, ela se faz presente desde décadas anteriores. Embora a indústria do turismo não seja uma das citações mais óbvias quando se pensa nos primórdios da tecnologia, fato é que já no início da década de sessenta do século XX o primeiro sistema de reserva de passagens aéreas computadorizado iniciou sua operação, e desde então este tipo de sistema se popularizou de modo a atingir uma

abrangência global, gerando assim grandes necessidades de infraestrutura e serviços de alto desempenho disponíveis vinte e quatro horas por dia.

Neste cenário, vários são os recursos, humanos e computacionais, necessários para suprir tais necessidades. Esta monografia explora os conceitos envolvidos na operação em alta disponibilidade destes verdadeiros sistemas críticos, que existem há mais de cinquenta anos, e visa contribuir no enriquecimento do conteúdo disponível a respeito do tema em língua portuguesa.

1.2 Objetivos

O objetivo fundamental desta monografia é apresentar uma série de conceitos ligados à demanda de alta disponibilidade para sistemas críticos, percorrendo a respeito de técnicas de prevenção, medição e recuperação de falhas que influenciam diretamente a disponibilidade dos mesmos, ilustrando como tais técnicas se aplicam em um sistema crítico real. Para elucidar as formas pelas quais tais técnicas se aplicam no mundo real, é apresentado um estudo de caso de sistema crítico para reserva de conteúdo de turismo, de modo a traçar um paralelo entre teoria e prática, apontando a importância de se considerar os vários fatores humanos e computacionais envolvidos, bem como a constante necessidade de adaptação e evolução dos mesmos.

1.3 Estrutura do Trabalho

O capítulo 2 descreve os conceitos básicos de bancos de dados necessários para o embasamento teórico sobre arquitetura e gerenciamento de bases de dados, dado que a manipulação de tais estruturas se faz presente em diversos tipos de sistemas críticos e representam um fator altamente relevante para a obtenção de alta disponibilidade nos mesmos.

O capítulo 3 contém as definições das características comuns para identificação de sistemas críticos, bem como conceitos de disponibilidade, fatores principais que a afetam e métricas mais usadas para sua medição.

O capítulo 4 discorre acerca das técnicas para garantia de alta disponibilidade,

abordando várias das técnicas mais atuais indicadas na literatura computacional para sistemas distribuídos.

O capítulo 5 apresenta um estudo de caso real de sistema crítico para reserva de conteúdo de turismo, de maneira a correlacionar os conceitos listados na monografia ao que é aplicado na prática por uma empresa de tecnologia, bem como apontar as necessidades específicas de adaptação para atingir o objetivo de alta disponibilidade.

Por fim, no capítulo 6 é posta uma conclusão acerca dos fatores predominantes para a obtenção de alta disponibilidade em sistemas críticos baseada nas observações provenientes do estudo da teoria e prática descritas ao longo da monografia.

2 CONCEITOS DE BANCOS DE DADOS

Neste capítulo são descritos os principais conceitos ligados a bancos de dados necessários à compreensão e contextualização do tema, através da descrição dos tipos e modelos de bases de dados mais empregados atualmente, bem como o sistema responsável por gerenciá-los.

2.1 Bancos de dados

Date (2003) aponta que um banco de dados consiste em uma coleção persistente de dados que é utilizada por sistemas de aplicação de alguma empresa/empreendimento e gerida por um sistema gerenciador de banco de dados. Já o dado pode ser compreendido, de acordo com Setzer (2001), como uma representação simbólica (isto é, por meio de símbolos) quantificada ou qualificada. Desta forma, o dado é livre de contexto, podendo ser representado através de um texto, uma foto ou um *pixel*.

2.2 Tipos de Bancos de dados

Os bancos de dados atuais podem ser enquadrados em duas categorias primordiais: analíticos (conhecidos pela sigla OLAP, da definição em inglês *Online Analytical Processing*) e transacionais (conhecidos pela sigla OLTP, da definição em inglês *Online Transactional Processing*). Os bancos de dados transacionais (OLTP) são voltados a registrar transações que ocorrem em operações organizacionais, caracterizados por altas taxas de atualização, grandes volumes de dados e acessos pontuais. Já os bancos de dados analíticos (OLAP) são voltados a subsidiar a tomada de decisão, baseadas na análise e interpretação de dados históricos por vezes através de agrupamentos de dados. A tabela 1 permite elucidar as principais diferenças entre ambos:

Característica	Sistemas Transacionais(OLTP)	Sistemas Analíticos(OLTP)
Atualizações	Mais frequentes	Menos frequentes
Tipo de Informação	Detalhes	Agrupamento
Quantidade de Dados	Poucos	Muitos
Precisão	Dados atuais	Dados históricos
Complexidade	Baixa	Alta
Consistência	Microscópica	Global
Exemplos	CRM, ERP, <i>Supply Chain</i>	MIS, DSS, EIS
Terminologia	Linhas e Colunas	Dimensões, Medidas e Fatos

Tabela 1 - Comparação entre sistemas transacionais e analíticos (MSDN, 2007).

2.3 Modelos de Bancos de Dados

A definição sobre o tipo de banco de dados é uma decisão importante, mas representa apenas o primeiro passo para a implantação do mesmo. Outra decisão importante é definir o modelo de banco de dados a ser implantado de acordo com os objetivos e necessidades no uso do mesmo. O modelo de banco de dados determina de que maneira os dados podem ser armazenados, organizados e manipulados. Uma forma útil de suportar a decisão sobre qual modelo de banco de dados empregar é através do envolvimento dos *stakeholders* na definição dos modelos de dados, de modo a garantir que o ponto de vista de cada participante esteja contemplado na definição final do banco de dados. Desta forma, é importante também discernir os tipos de modelos de dados existentes:

- **modelo conceitual**: representa as regras de negócio desconsiderando limitações tecnológicas, tendo assim uma natureza mais abstrata, com uso para fins estratégicos. Ele apresenta somente entidades e atributos principais, o que permite obter uma visão geral do negócio e facilita o entendimento entre usuários e desenvolvedores.

- **modelo lógico**: este modelo deriva do modelo conceitual e acrescenta um nível extra de aprofundamento através do detalhamento das entidades e seus atributos, embora ainda apresente grande independência em relação a restrições tecnológicas.

- **modelo físico**: deriva do modelo conceitual e acrescenta mais um grau de aprofundamento, neste caso, considerando as imposições tecnológicas de implantação em um determinado sistema gerenciador de bancos de dados.

A tabela 2 apresenta um comparativo entre os três tipos de modelos descritos

Característica	Modelo Conceitual	Modelo Lógico	Modelo Físico
Nomes de entidades	✓	✓	
Relacionamentos entre Entidades	✓	✓	
Atributos		✓	
Chaves Primárias		✓	✓
Chaves Estrangeiras		✓	✓
Nomes de Tabelas			✓
Nomes de Colunas			✓
Tipos de Dados das Colunas			✓

Tabela 2 - Diferenças entre modelos de dados (1KEYDATA, 2014).

A figura 1 também denota quais os *stakeholders* de um projeto de banco de dados podem ser envolvidos em cada etapa de definição do modelo de dados.

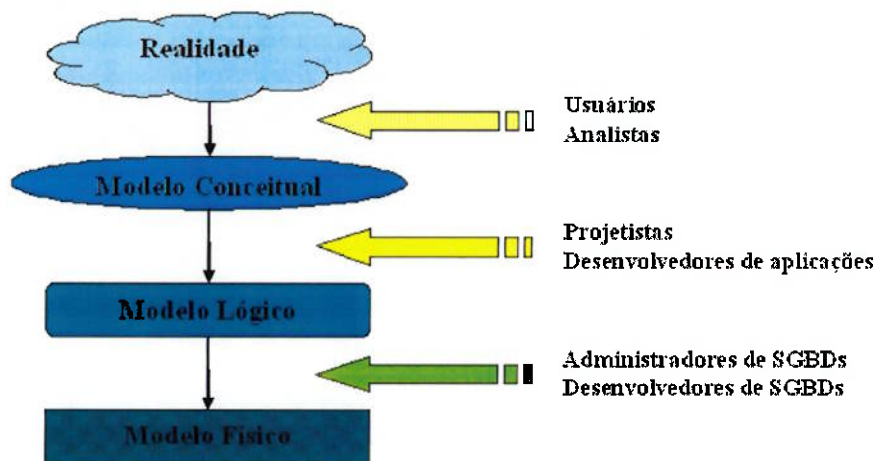


Figura 1 - Relação entre modelos de dados e *stakeholders* (SIRMACSTRONGER, 2014).

A partir da definição dos modelos de dados é possível então derivar e aplicar vários tipos de modelos de bancos de dados. A seguir, são listados alguns dos principais aplicados atualmente:

- modelo relacional: modelo baseado na lógica de primeira ordem (LPO), onde os dados são representados através de tuplas (sequências ordenadas de elementos) agrupadas em tabelas que podem possuir ou não relacionamentos, permitindo a manipulação da base de dados através de instruções declarativas como *queries* em SQL (structured query language) ou álgebra relacional. A figura 2 ilustra tal modelo.

ID	nome	dpto_nome	salário
10101	Srinivasan	Comp. Sci.	65000
12121	Wu	Finance	90000
15151	Mozart	Music	40000
22222	Einstein	Physics	95000
32343	El Said	History	60000
33456	Gold	Physics	87000
45565	Katz	Comp. Sci.	75000
58583	Califieri	History	62000
76543	Singh	Finance	80000
76766	Crick	Biology	72000
83821	Brandt	Comp. Sci.	92000
98345	Kim	Elec. Eng.	80000

Figura 2- Exemplo de tabela em um banco de dados relacional (SILBERSCHATZ; KORTH e SUDARSHAN, 2001).

- modelo orientado a objetos: neste modelo as informações são armazenadas na forma de objetos, ao invés de tabelas. A implementação deste modelo requer um tipo específico de sistema gerenciador de banco de dados, denominado ODBMS ou OODBMS (do termo em inglês *object-oriented database management system*). A figura 3 exemplifica a aplicação do modelo em um banco de dados de uma universidade.

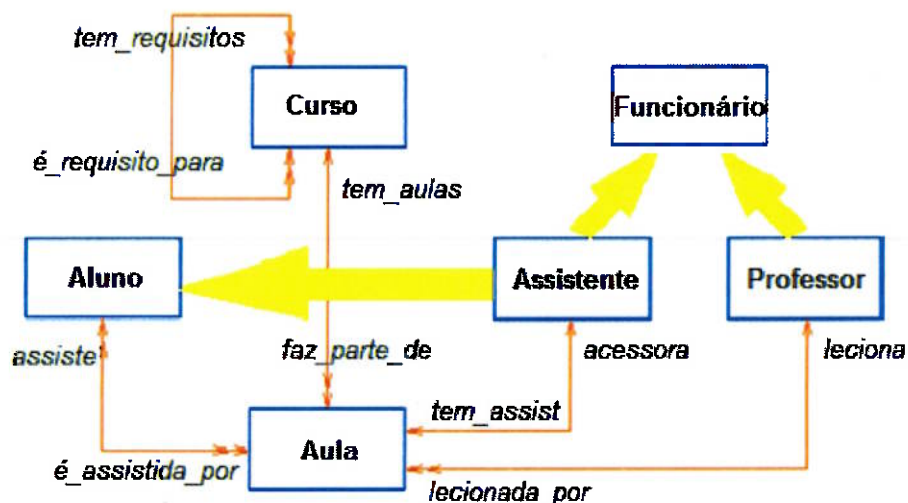


Figura 3- Esquema de banco de dados no modelo orientado a objetos (W3, 2014).

- modelo multidimensional: conforme O'Brien e Marakas (2006) este modelo é uma variação do modelo relacional que utiliza estruturas multidimensionais para organizar os dados e expressar relacionamentos entre eles. As estruturas multidimensionais podem ser vistas como cubos contendo dados ou cubos contendo outros cubos com dados, conforme demonstrado na figura 4:

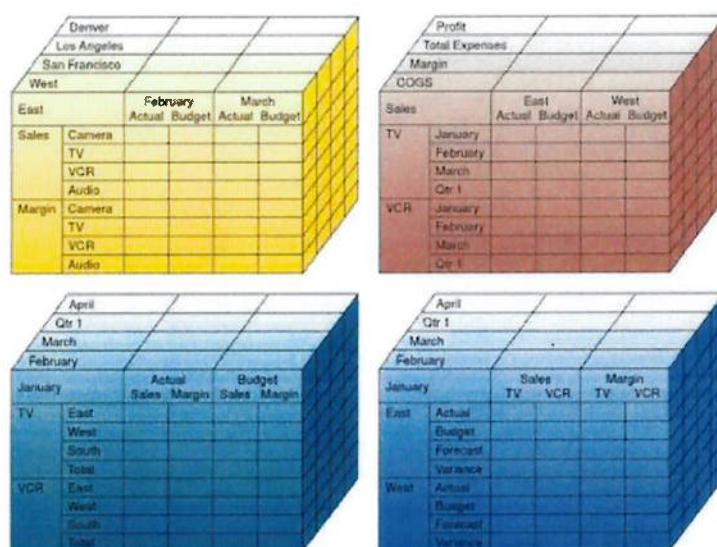


Figura 4- Exemplo de dimensões em um modelo multidimensional (O'BRIEN e MARAKAS, 2006)

2.4 Sistema Gerenciador de Banco de Dados

De acordo com Silberschatz, Korth e Sudarshan (2001), um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) é uma coleção de dados inter-relacionados e um conjunto de programas para acessar tais dados. A coleção de dados, geralmente referida como banco de dados, contém informações relevantes para uma empresa/empreendimento. O objetivo primário de um SGBD é prover uma forma de armazenar e recuperar informações de um banco de dados de maneira conveniente e eficiente.

Faz parte do papel de um SGBD manipular grandes volumes de informação garantindo os princípios básicos da segurança de informação (confidencialidade, integridade e disponibilidade), o controle de acesso (tanto do ponto de vista da

segurança como da disponibilidade), o registro do histórico de atividades e também prover condições para recuperação de falhas e perda de dados.

O portal DB-Engines, uma iniciativa para coletar e apresentar informações acerca de SGBDs, possui um *ranking* atualizado mensalmente que elenca os principais sistemas gerenciadores de banco de dados em ordem de popularidade, listado na Tabela 3.



Rank	Last Month	DBMS	Database Model	Score	Changes
1.	1.	Oracle	Relational DBMS	1439.72	+0.56
2.	2.	MySQL	Relational DBMS	1272.45	-5.06
3.	3.	Microsoft SQL Server	Relational DBMS	1177.48	-21.13
4.	 5.	MongoDB	Document store	267.24	+16.35
5.	 4.	PostgreSQL	Relational DBMS	262.34	+7.85
6.	6.	DB2	Relational DBMS	202.42	+2.29
7.	7.	Microsoft Access	Relational DBMS	140.54	+1.41
8.	8.	Cassandra	Wide column store	107.08	+8.34
9.	9.	SQLite	Relational DBMS	99.56	+3.37
10.	10.	Redis	Key-value store	99.21	+4.97

Tabela 3 - Ranking de SGBDs por popularidade (DB-ENGINES, 2013).

Dentre os dez mais populares, sete são sistemas de gerenciamento de bancos de dados relacionais (*relational dbms*), um é dedicado a armazenamento de documentos (*document store*), um é estruturado em forma armazenamento por chave e valor (*key-value store*) e outro foca em armazenamento através de organização dos dados em grande número de colunas dinâmicas (*wide column store*).

2.5 Conclusão

Diante de um universo vasto de opções, é possível aplicar tipos, modelos e sistemas gerenciadores de bancos de dados de acordo com necessidades distintas de aplicação do mesmo. A complexidade da aplicação, a quantidade de armazenamento, o volume de transações e o tipo de dado armazenado são fatores decisivos na escolha do banco de dados adequado.

3 SISTEMAS CRÍTICOS E CONCEITOS DE DISPONIBILIDADE

Este capítulo trata da fundamentação teórica do conceito de sistemas críticos e suas derivações, discorrendo ainda acerca da questão de disponibilidade de sistemas, suas causas e formas de mensurá-la.

3.1 Sistemas Críticos

Conforme Sommerville (2011), um sistema crítico é um sistema cujas falhas podem ameaçar vidas humanas, o ambiente em que está alocado ou a existência da organização que opera tal sistema. Neste contexto, o conceito de falha não se refere a uma inconformidade em relação a uma especificação, mas sim qualquer comportamento do sistema potencialmente ameaçador.

Ainda de acordo com Sommerville (2011), os sistemas críticos podem ser classificados em três categorias:

- Sistema Crítico de Segurança: sistemas cujas falhas podem ameaçar vidas humanas, causar prejuízos ou danos ambientais.
- Sistema Crítico de Missão: sistemas cujas falhas podem ocasionar problemas em atividades orientadas a metas.
- Sistema Crítico de Negócio: sistemas cujas falhas podem resultar em problemas para o negócio que utiliza tal sistema.

Seguindo ainda a linha de pensamento de Sommerville (2007), a confiança é uma propriedade do sistema essencialmente baseada no grau de confiança do usuário de que o sistema irá operar conforme sua expectativa e sem falhas. Tal propriedade se sustenta em quatro dimensões, também destacadas na figura 5:

- Confiabilidade: a probabilidade de operação sem falhas do sistema por um determinado período de tempo, em um determinado ambiente e para um dado propósito.
- Disponibilidade: a probabilidade de o sistema estar operacional e apto a fornecer serviços úteis a qualquer instante.
- Segurança: o julgamento da probabilidade de o sistema causar danos

a pessoas ou ao ambiente.

- Proteção: o julgamento da probabilidade de o sistema resistir a invasões intencionais ou não intencionais.

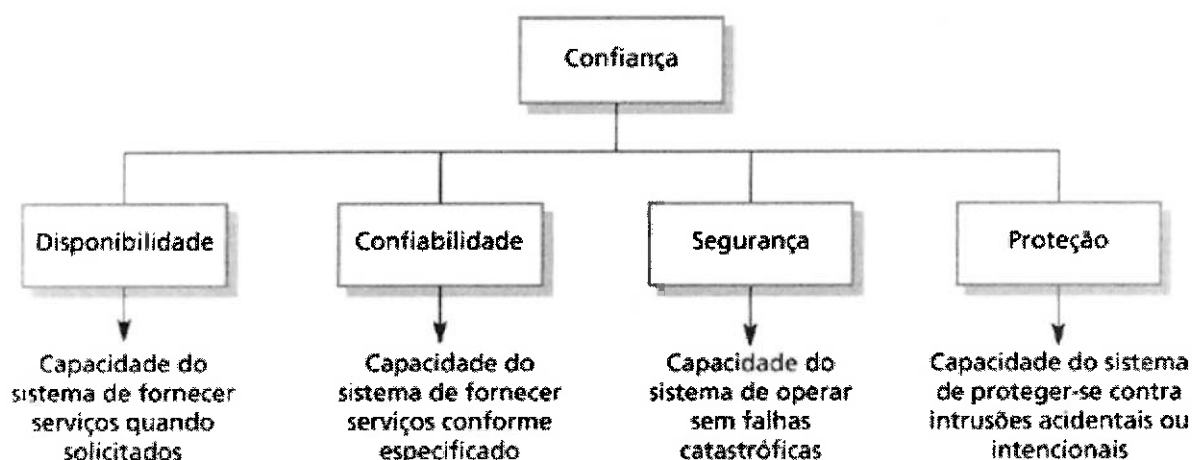


Figura 5 - Dimensões da Confiança (SOMMERVILLE, 2007).

O autor salienta que muito embora os conceitos de confiabilidade e disponibilidade sejam aparentemente similares, um sistema pode ter, ao mesmo tempo, alta disponibilidade e baixa confiabilidade caso ocorram falhas críticas, porém com rápida recuperação do sistema.

As quatro dimensões da confiança são igualmente importantes, mas é foco desta monografia o quesito disponibilidade em sistemas críticos, tema que é descrito em detalhes ao longo do texto.

3.1 Conceitos de Disponibilidade – Alta Disponibilidade

Em uma definição clássica, disponibilidade diz respeito à proporção de tempo em que um sistema pode ser utilizado de maneira produtiva (CISCO, 2004). Ou ainda, trata-se da disponibilidade de recursos em um sistema computacional, no que concerne a falhas em componentes de um sistema (IEEE, 2002).

A alta disponibilidade em sistemas computacionais, englobando os sistemas gerenciadores de banco de dados (SGBDs), é uma preocupação que advém desde os primórdios da computação, e que cresce em paralelo à demanda de usuários e à alta integração entre sistemas. Embora altas taxas de disponibilidade sejam o objetivo de qualquer sistema, quando se analisa os sistemas críticos, a alta

disponibilidade se apresenta não apenas como uma questão desejável, mas uma questão crucial.

3.2 Causas de Baixa Disponibilidade em Sistemas Computacionais

Dentre os fatores principais que afetam a disponibilidade de sistemas pode-se listar:

- Falhas de Hardware: de acordo com o relatório “*Quorum Disaster Recovery Report, Q1 2013*”, fornecido pela empresa americana de recuperação de desastres Quorum, 55% das causas de indisponibilidade de sistemas (*downtime*) em pequenas e médias empresas ocorreram devido a falhas de *hardware* (QUORUM, 2013). À medida que redundâncias de equipamentos são adicionadas na tentativa de balancear o consumo de processamento e de dados, a complexidade de gerenciar tais equipamentos também aumenta, o que pode se tornar um desafio para empresas que não possuam setores bem organizados ou com grandes recursos para tal gerenciamento. Equipamentos como fontes de energia, controladores de rede e discos rígidos estão sujeitos a fatores imprevisíveis como variações de temperatura, tensão na rede de energia ou na Internet, e tais fatores podem se tornar catalizadores para indisponibilidades de sistema.
- Falhas Humanas: de acordo com o mesmo relatório da empresa Quorum citado anteriormente, as falhas humanas correspondem, diretamente, à segunda maior causa (22%) de indisponibilidade de sistemas em pequenas e médias empresas. Contudo, outros relatórios como o da empresa global de consultoria e auditoria Deloitte demonstram que a falha humana pode estar de alguma forma ligada a 75% das indisponibilidades de sistema (DELOITTE, 2007). Um funcionário que, inadvertidamente, ajuste a temperatura de um *datacenter* da escala Celsius para Fahrenheit, mesmo que temporariamente, pode comprometer os equipamentos de modo a causar uma falha, e tal falha posteriormente ser identificada apenas como falha do *hardware*.
- Falhas de Software: Ainda de acordo com o estudo da empresa Quorum, as falhas de *software* representam a terceira maior causa de *downtime* em sistemas computacionais (18%). A título de exemplo, somente em 11 de Novembro de

2014 a Microsoft liberou quatorze *patches* de segurança, corrigindo falhas diversas em seu Sistema operacional Windows 8 (MICROSOFT, 2014), o que permite ter uma perspectiva do grau de exposição a que os sistemas operacionais estão submetidos. Ainda no mês de Novembro de 2014, a Oracle lançou cerca de quarenta *patches* de correção para seus diversos produtos (ORACLE SECURITY, 2014), sendo quatro destes *patches* destinados especificamente a seus produtos de banco de dados, o que demonstra que os SGBDs não estão menos expostos que os sistemas operacionais.

Além da questão de segurança a que os sistemas desatualizados, ou não, estão expostos, há ainda o risco que os *patches* representam sobre a integridade dos dados, o que demanda atenção redobrada de administradores de sistemas e administradores de bancos de dados antes de aplicar as atualizações. Um estudo publicado pelo Centro de Estudos Estratégicos e Internacionais dos Estados Unidos em conjunto com a empresa de segurança digital McAfee revelou que falhas de segurança geram atualmente, um prejuízo anual de cerca de \$500 bilhões de dólares em todo o mundo (MCAFEE, 2013).

Os desastres naturais são responsáveis por 5% das causas de indisponibilidade de sistemas, como aponta o estudo já citado anteriormente da empresa Quorum. Muito embora a taxa de ocorrência seja baixa em se comparando com outras causas de *downtime*, tais eventos costumam causar prejuízos notavelmente maiores e maior complexidade no restabelecimento da disponibilidade de sistemas. Governos e empresas costumam estabelecer diretrizes para criação de redundâncias geográficas de modo a prevenir desastres naturais na tentativa de mitigar os problemas oriundos de tais ocorrências.

3.3 Métricas de Disponibilidade

Existem duas métricas principais largamente utilizados nas indústrias (PTS, 2010) que podem ser utilizados para medição de disponibilidade de produtos ou sistemas, a saber:

- MTBF (*Mean Time Between Failures*): trata-se do tempo médio entre falhas, ou

seja, o intervalo de tempo médio transcorrido entre as falhas de um sistema. Pode ser obtido através da seguinte expressão: $MTBF = (\text{horas em operação} - \text{horas de falha}) / \text{número de falhas}$. Por exemplo, um sistema que permanece 10.000 horas em operação, 1.000 horas com falha e um total de 5 falhas no período, terá um MTBF de $(10.000 - 1.000) / 5 = 1.800$ horas de tempo médio entre falhas.

- **MTTR (*Mean Time to Repair*):** é o tempo médio para recuperação, ou seja, o intervalo de tempo médio transcorrido para reparar/recuperar um sistema de uma falha ocorrida. Pode ser obtido através da seguinte expressão: $MTTR = \text{horas de falha} / \text{número de falhas}$. Por exemplo, se o sistema permanece 1.000 horas com falhas e apresenta um total de 5 falhas no período, terá um MTTR de $1.000 / 5 = 200$ horas de tempo médio para recuperação de uma falha.

Assim, como apontam Özsü e Valdúriez (2011), o curso estável de disponibilidade de um sistema pode ser calculado através da expressão: $\text{Disponibilidade} = MTBF / (MTBF + MTTR)$. Por exemplo, um sistema cujo MTBF seja de 9.750 horas, e cujo MTTR seja de 250 horas, terá $\text{Disponibilidade} = 1.800 / (1.800 + 200) = 0,9$. Ao multiplicar-se o resultado por 100 para fins de normalização, obtemos a porcentagem de disponibilidade do sistema, que no exemplo anterior é de 90%.

Uma prática muito difundida no universo da tecnologia é a contagem de ocorrências do número nove na porcentagem de disponibilidade do sistema. Desta forma, um sistema cuja disponibilidade seja de cinco ou seis “noves” (99,999%) representaria o maior objetivo de um sistema um banco de dados de alta disponibilidade.

Na tabela 4, é possível verificar, em uma escala anual, quanto a contagem de “noves” representa em tempo de disponibilidade:

Número de noves	Taxa de Disponibilidade	Tempo Disponível	Tempo Indisponível
1	90%	328.50 dias	36.50 dias
2	99%	361.35 dias	3.65 dias
3	99.9%	364.64 dias	8.76 horas
4	99.99%	364.96 dias	52.56 minutos
5	99.999%	~ 365 dias	5.26 minutos
6	99.9999%	~ 365 dias	31.54 segundos

Tabela 4 - Relação de tempo de disponibilidade em termos de contagem de “noves”.

3.4 Conclusão

Sistemas críticos são sistemas cuja falha pode ocasionar em prejuízo, seja em vidas ou materiais. Neste contexto, disponibilidade não significa confiabilidade, tratam-se de conceitos complementares. As falhas humanas diretas ou indiretas representam o principal fator causador de incidentes em sistemas computacionais.

4 TÉCNICAS E FERRAMENTAS PARA GARANTIA DE ALTA DISPONIBILIDADE

Garantir a alta disponibilidade de sistemas e bancos de dados depende necessariamente do correto planejamento da infraestrutura física, arquitetura computacional e recursos humanos e computacionais empregados na implantação e manutenção dos mesmos. Altos índices de disponibilidade podem ser obtidos através da aplicação de várias técnicas e ferramentas de prevenção e recuperação em conjunto, sendo as principais delas descritas a seguir.

4.1 Técnica de Redundância de dados

O conceito de redundância em bancos de dados pode ser aplicado de duas formas: através da redundância de discos ou da redundância de dados. A redundância de dados consiste em replicar campos e tabelas em um mesmo banco de dados, visando garantir a existência de uma cópia segura para fins de recuperação de dados. Já a redundância de discos consiste em replicar toda a base de dados em discos distintos – e em geral geograficamente separados – porém sob o mesmo ambiente controlado.

A redundância de dados pode ser controlada (gerenciada por um software) ou não controlada (gerenciada pelo usuário/administrador). A complexidade da redundância de dados é proporcional à quantidade de dados e à estrutura da base de dados. Desta forma, quanto maior a base de dados, maior a complexidade, o que pode tornar tal gerenciamento complexo demais para o ser humano. Todos os SGBDs mais modernos possuem tecnologia para gestão de redundância de dados, de modo a promover o sincronismo dos dados e mitigar inconsistências, embora a utilização de tal técnica, mesmo que controlada, leva, inevitavelmente, a uma maior demanda de processamento e espaço de armazenamento em disco.

A redundância de discos é uma técnica antiga, porém largamente utilizada, seja para garantir a segurança dos dados através de simples espelhamento dos mesmos, seja para garantir velocidade através da distribuição dos dados. A forma mais comum de aplicação prática desta técnica é através dos arranjos denominados RAID (sigla para a definição em inglês *Redundant Array of Independent Disks*), uma tecnologia utilizada em servidores (inclusive de bancos de dados) que consiste em

um conjunto controlado de múltiplos discos com o objetivo de prover melhor desempenho, tolerância a falhas e flexibilidade no armazenamento de dados, a custos aceitáveis (BROADBERRY, 2014). O RAID permite a implantação de arquiteturas que visam exclusivamente o espelhamento dos dados, arquiteturas que visam exclusivamente a distribuição dos dados e também arquiteturas com a combinação de espalhamento e distribuição de dados. A seguir são descritos os principais níveis de RAID:

- RAID 0: foca exclusivamente na distribuição dos dados através de dois discos distintos. Desta forma, não há replicação dos dados, nem controle por *bits* de paridade, mas há melhorias no desempenho de I/O (*input/output*) no acesso a dados.
- RAID 1: foca exclusivamente no espelhamento dos dados, através da cópia exata do conteúdo de um disco em outro disco, provendo tolerância a falhas, porém sem controle por *bits* de paridade e com depreciação de desempenho de I/O no acesso a dados.
- RAID 2: similar ao RAID 0, foca na distribuição dos dados, agregando controle por *bits* de paridade via código de Hamming, um código binário de detecção e correção de erros usado em transmissão de dados, que pode detectar erros em *bits* únicos ou pares de *bits*, e corrigir os erros nos bits únicos (ITS, 1996). É uma implementação rara nos dias de hoje uma vez que os discos já possuem, de fábrica, métodos internos de correção de falhas semelhantes.
- RAID 3: similar ao RAID 2, porém com uma implementação de controle por *bits* de paridade mais simplificada, com apenas um *bit* de paridade por dado. Ainda assim, é pouco utilizada nos dias de hoje por exigir sincronismo entre os eixos das unidades de disco, algo de difícil implantação.
- RAID 4: similar às outras formas de RAID com controle por *bits* de paridade, porém emprega um dos discos especialmente para guardar a paridade dos dados contidos nos demais discos, melhorando o desempenho de I/O para operações de leitura e facilitando o escalonamento, porém não agrega melhorias no desempenho de I/O para gravação de dados por exigir constante atualização do disco que controla a paridade.
- RAID 5: semelhante ao RAID 4, porém distribui as informações sobre paridade ao longo de todos os discos, promovendo melhor desempenho de I/O para

escrita em relação ao RAID 4, bem como tolerância a falhas.

- **RAID 6:** similar ao RAID 5, porém utiliza o dobro de *bits* para controle de paridade, suportando a falha de até dois discos simultaneamente. Tal implementação representa um ganho importante em relação ao RAID 5 para sistemas de alta disponibilidade e grande volumes de dados, uma vez que o tempo de recuperação para discos de grande volume tende sempre a ser mais lento. Como ponto negativo há o fato de que a falha de um disco qualquer resulta em queda no desempenho de todo o conjunto de discos, até que a recuperação esteja completa.
- **RAID 0+1 ou 01:** trata-se de uma mescla dos RAIDs 0 (distribuição) e 1 (espelhamento), com distribuição dos dados entre vários discos e também o emprego de discos dedicados para duplicação dos dados. Esta implantação permite unir o melhor das duas técnicas, porém torna-se mais custosa do ponto de vista financeiro, principalmente diante de necessidades de escalonamento. A implantação se dá através de pares de discos distribuídos com dados originais, que são então espelhados para pares de discos distribuídos de replicação destes dados. Desta forma, a implantação fornece alto desempenho, mas se um disco falhar, o outro disco de seu par também ficará inutilizado mesmo estando intacto, e a implantação passará a funcionar como um RAID 0 simples. O esquema é ilustrado na figura 6.

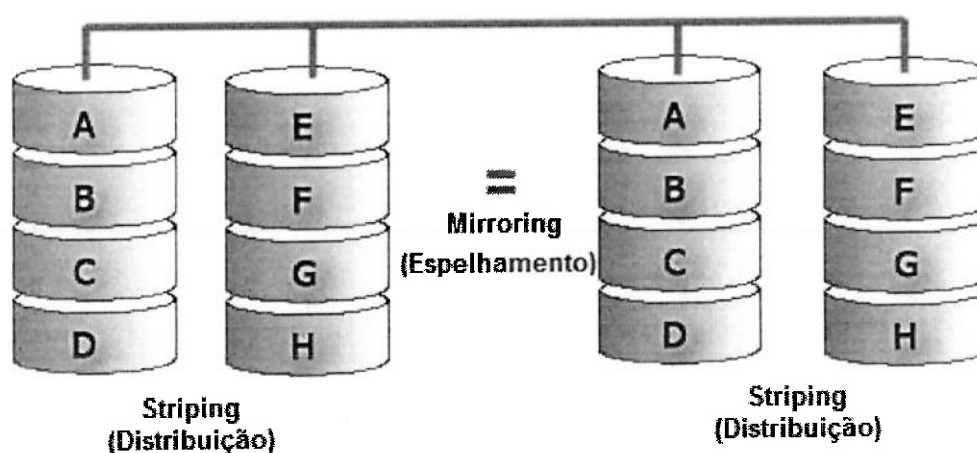


Figura 6 - Organização de discos na implantação de RAID 01 (BROADBERRY, 2014).

- RAID 1+0 ou 10: também emprega uma mescla dos RAIDs 0 (distribuição) e 1 (espelhamento), porém com outra forma de distribuição. Ao invés de os discos de dados serem distribuídos em pares de discos de dados originais, separados de pares de discos de replicação dos dados, a distribuição se dá em pares mistos, compostos por um disco de dados originais e um disco de replicação dos dados, o que permite a implantação o mesmo nível de desempenho que o RAID 0+1, porém com maior tolerância a falhas já que pode suportar a falha de até metade dos discos existentes em todo o conjunto de discos (desde que pertençam ao mesmo grupo de discos, ou aos de distribuição ou aos de espelhamento). Este tipo de RAID é o mais utilizado em sistemas de alta disponibilidade que utilizam bancos de dados, pois garante tanto o desempenho, quanto a redundância dos dados. A figura 7 demonstra a aplicação de tal estrutura.

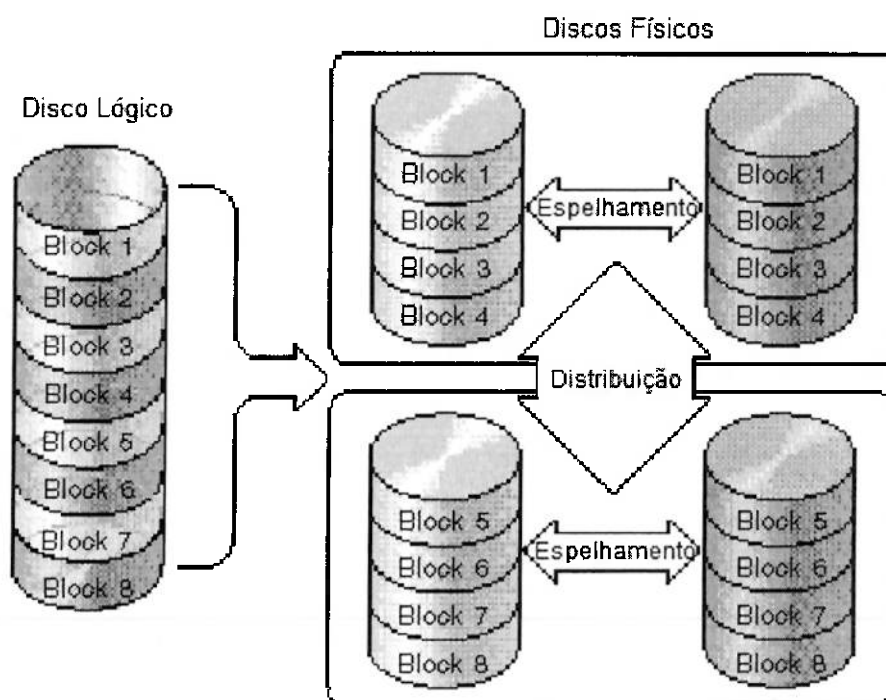


Figura 7 - Organização de discos na implantação de RAID 10 (ORACLE APPENDIX , 2009).

4.2 Técnica de Redundância Geográfica

Embora técnicas de *software* e *hardware* possam prover ótimos mecanismos de prevenção a falhas, desastres naturais podem atingir fisicamente os *datacenters* e causar falhas irreversíveis a servidores e redes de computadores, e por consequência resultar em falhas graves de disponibilidade, uma vez que a recuperação da infraestrutura abalada pode levar mais do que horas, mas dias ou até meses.

Desta forma, é importante que haja ao menos uma redundância de servidores em uma região geográfica consideravelmente distante da original de modo a prevenir que eventos catastróficos atinjam ao mesmo tempo ambos os *datacenters*. Tudo isso requer ainda um conjunto bem afinado de *hardware*, rede e *software*, trabalhando em conjunto para garantia de sincronismo de dados entre os servidores e rápida recuperação em caso de um deles tornar-se inativo.

4.3 Técnicas de Segurança

Ainda que se possua uma excelente infraestrutura, *software*, *hardware* e redundâncias bem arquitetadas e funcionando em sintonia, os riscos de segurança podem causar sérios danos à integridade de dados e sistemas, além de tirá-los do ar por longos períodos de tempo.

Muito embora a primeira ideia de risco à segurança remeta a ameaças externas, existem riscos internos causados voluntária e involuntariamente, através da aplicação de *patches* de segurança mal planejados, reconfiguração de redes ou servidores de forma inadvertida, ou mesmo funcionários insatisfeitos e com poderes plenos de acesso.

Dentre as principais medidas de mitigação para falhas de segurança causadas por fatores internos ou externos, pode-se listar as seguintes:

- Gerenciamento de usuários e permissões de acesso: é importante que o acesso a sistemas seja controlado, tanto no que se refere a usuários, quanto a outros sistemas. Permissões de escrita em aplicações e bancos de dados devem ser

restritas a um grupo controlado e monitorado, de modo a prevenir a criação de condições que possam expor o conteúdo e a disponibilidade a falhas. Mesmo permissões de leitura devem ser controladas de alguma forma, comumente por *logins* de acesso. A criação ou revogação de acessos deve ser rápida.

- Logging: registrar as atividades desempenhadas por aplicações e usuários é fundamental. A existência de tais registros coíbe ações irresponsáveis, bem como permite a identificação rápida das causas que eventualmente levam a aplicação a um estado inesperado, direcionando os esforços de recuperação para o foco correto.
- Backups e pontos de restauração: aplicações podem ser submetidas a mal funcionamento por várias razões, como releases defeituosos da própria aplicação ou mesmo de *firmwares* e *softwares* de terceiros, invasões externas através de brechas de segurança ou modificações inadvertidas de configuração. *Backups* podem recuperar dados perdidos ou cuja integridade tenha sido prejudicada, enquanto pontos de restauração de sistema podem recuperar os estados das aplicações para suas configurações esperadas.
- Separação de ambientes: aplicações necessitam de desenvolvimento constante para evitar entropia ou para ampliação do leque de funcionalidades. Para tanto, ao menos dois níveis de ambientes são recomendados: um ambiente de teste e o ambiente de produção. Desta forma, modificações de código, configurações, aplicações de *patches* e estudos e comportamento podem ser testados em um ambiente de teste isolado, sem causar reflexos no ambiente produtivo, e estratégias de implantação podem ser definidas de modo a garantir a disponibilidade do ambiente de produção. Em empresas que possuem desenvolvimento de código, é comum que o ambiente de teste seja subdividido em dois outros ambientes: um ambiente de desenvolvimento (voltado aos desenvolvedores e codificação) e um ambiente de homologação (voltado para testes de software).
- Criptografia de dados: a criptografia é importante para garantir o sigilo das informações contidas nos bancos de dados, mas no que tange à questão da alta disponibilidade ela é fundamental para proteger os dados trafegados entre aplicações, um clássico foco de ataques de *hackers*. A utilização deste mecanismo tem impacto direto no desempenho da aplicação, e o tipo de

criptografia aplicado pode afetar a disponibilidade, uma vez que a depender dos fatores envolvidos, como a segurança do canal de comunicação, a criptografia pode consumir mais ou menos processamento para criptografar e descriptografar, afetando a quantidade de recursos alocados para outras tarefas. Existem tecnologias para estabelecer canais seguros de comunicação entre clientes e servidores, sendo a mais conhecida o SSL (*Secure Sockets Layer*), que consiste em um protocolo de segurança criptografado para comunicação e troca de dados via Internet (SYMANTEC, 2015). Dentre as técnicas de criptografia mais difundidas atualmente pode-se destacar a criptografia assimétrica, através de infraestruturas de chaves públicas, do inglês PKI (*Public Key Infrastructure*), que consiste na utilização de um par de chaves, uma pública distribuída abertamente, e uma privada conhecida apenas pelo dono da chave, de modo que apenas a chave privada pode descriptografar a informação cifrada pela chave pública (ENTRUST, 2015). Esta técnica é bastante utilizada para garantir tanto a privacidade dos dados trocados quanto a autenticidade de pessoas e entidades na Internet.

4.4 Ferramentas de Cluster

De acordo como Pfister (1998), um *cluster* é um tipo de sistema paralelo ou distribuído que consiste em um grupo de computadores interconectados utilizados como uma unidade computacional unificada.

Dentre os principais componentes de um *cluster*, pode-se citar unidades computacionais (computadores pessoais, estações de trabalho, servidores), sistemas operacionais distribuídos, conexões de alto desempenho, *middleware* e aplicativos específicos. Um *cluster* é criado visando a melhoria de desempenho e/ou disponibilidade, evitando a dependência de unidades computacionais individuais de modo a promover escalabilidade. Devido à sua complexidade de criação e manutenção, tende a ser mais custosa que uma solução de *mainframe* de poder computacional equivalente.

Dentre as principais categorias de *cluster*, destacam-se duas:

- Cluster de alta disponibilidade: também conhecidos como *failover clusters* são usados para garantir a disponibilidade dos serviços computacionais que abrigam. Ele é operado através de nós de redundância, de modo que em caso de um dos nós falhar, o outro possa assumir a operação. Desta forma, um mínimo de dois nós é necessário para o funcionamento deste modelo. Pode haver ainda redundância da rede de interconexão dos nós. Há inúmeras implementações comerciais para este tipo de *cluster*, principalmente ligadas a bancos de dados figura 8);

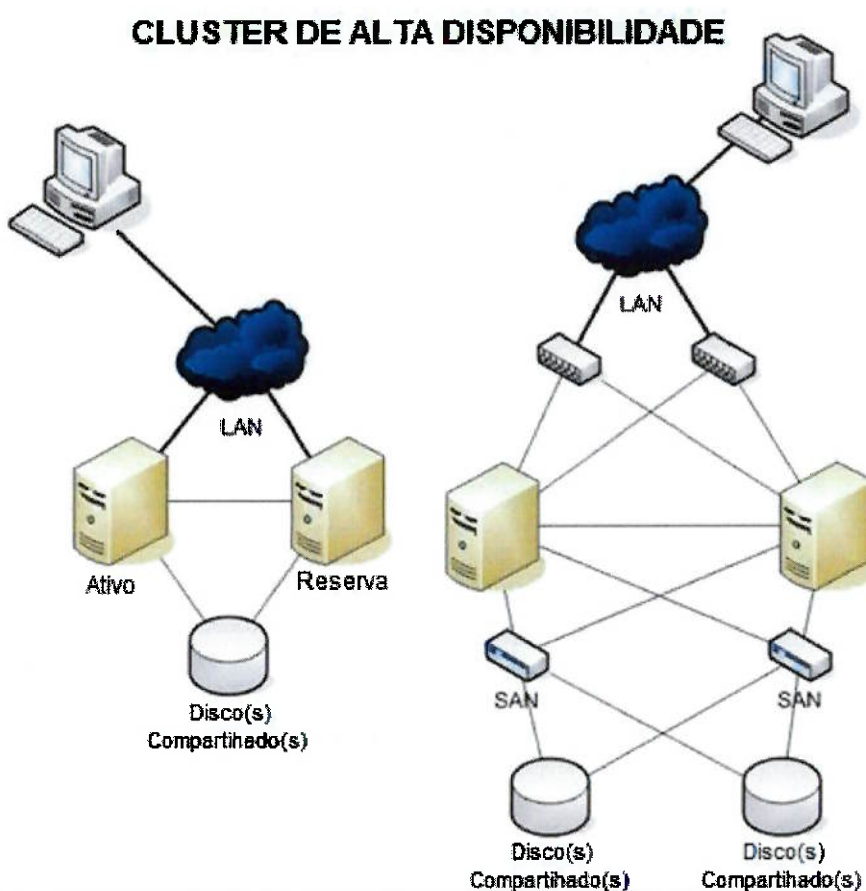


Figura 8 - Cluster de alta disponibilidade (COADY, 2015).

- Cluster de balanceamento de carga: por vezes também designado como fazendas de servidores (*server farms*), primordialmente concebido para melhoria de desempenho, mas também aplicável para obtenção de alta disponibilidade, as requisições são concentradas em uma camada de recepção (*front end*), e então distribuídas para uma camada de servidores no *back end*. O balanceador de carga pode ser definido por *hardware* ou *software*, e opera baseado em uma

regra de distribuição pré-definida e na identificação dos nós disponíveis para tal distribuição (figura 9).

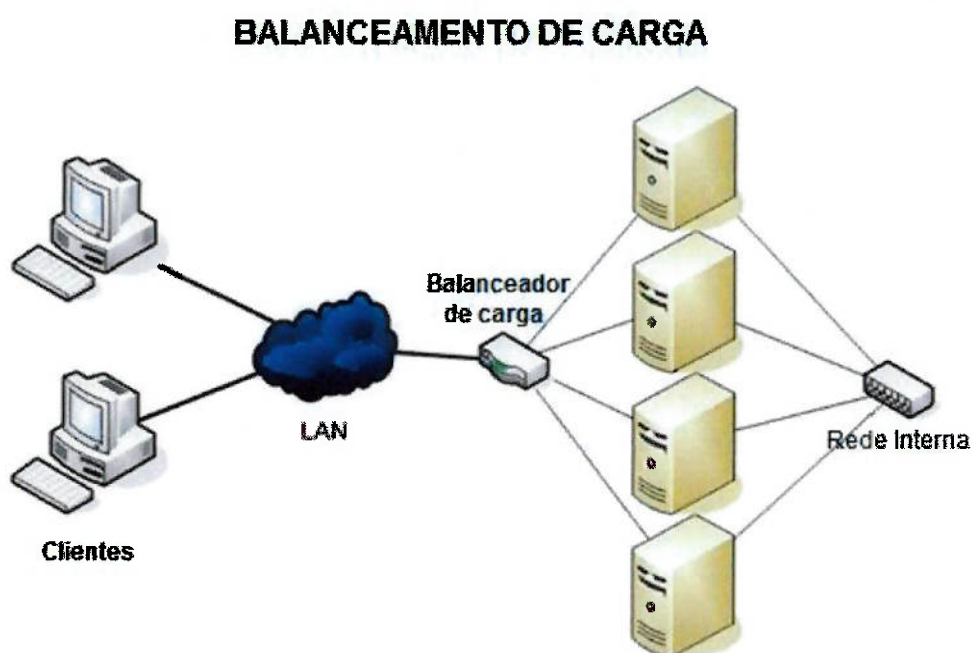


Figura 9 - Cluster de balanceamento de carga (COADY, 2015).

4.5 Ferramentas de Mainframe

Segundo Laan (2011), *mainframes* foram os primeiros computadores disponíveis comercialmente, e são projetados para suportar altas taxas de transferência de dados, altamente confiáveis e seguros, capazes de permanecer em execução por anos sem interrupção, mesmo que sejam necessários reparos ou atualizações.

Os *mainframes* ainda se encontram fortemente presentes em negócios que lidam com grandes volumes de dados, transações e usuários, já que representam individualmente a melhor plataforma para gerenciar altas cargas de trabalho de maneira contínua. Possuem hardware semelhante a qualquer computador ou servidor, composto de processadores, memórias e discos, porém costumam ter fitas para armazenamento de dados e *backup*. Os mais atuais suportam virtualização e diversos tipos de sistemas operacionais.

4.6 Ferramentas de Computação em Nuvem

Conforme definição da NIST (2011), computação em nuvem (do inglês *cloud computing*) é um modelo que visa possibilitar acesso via rede sob demanda de modo onipresente e conveniente a um conjunto de recursos computacionais (redes, servidores, unidades de armazenamento, aplicações e serviços) que pode ser rapidamente provisionado e distribuído com reduzidos esforços de gerenciamento e interação com o provedor de serviços.

Ainda de acordo com o NIST (2001), existem cinco características essenciais para a computação em nuvem: *self-service on demand*, amplo serviço de rede, agrupamento de recursos, rápida elasticidade ou expansão e serviço de medição. Há ainda a indicação de três modelos de serviço: software, plataforma e infraestrutura, bem como quatro tipos de implantação: privado, comunitário, público e híbrido.

Uma das grandes vantagens agregadas pela computação em nuvem em relação a outras soluções é a facilidade de alocar recursos extras para lidar com picos de acesso que podem afetar a disponibilidade de aplicações e serviços, de modo a aproveitar o potencial ocioso de outros serviços direcionando-o àquele com maior demanda.

4.7 Ferramentas de Virtualização

De acordo com Marshall; Reynolds e McCrory (2006), virtualização é uma forma de fazer com que um computador físico funcione de forma a representar dois ou mais computadores. Cada “computador virtual” é provido da mesma arquitetura básica de um computador físico genérico.

As unidades virtuais permitem a utilização de diferentes sistemas operacionais sob uma mesma unidade de *hardware* compartilhada, mas com isolamento em relação às demais unidades, uma vez que o sistema operacional cuida do encapsulamento dos recursos e controla o acesso das aplicações ao *hardware*. O gerenciamento das unidades lógicas é realizado através de *software*, e a virtualização pode ser aplicada à servidores ou unidades de armazenamento.

Dentre as vantagens que a virtualização representa, pode-se citar a facilidade

de realocação de recursos de unidades que estejam subutilizando *hardware* para outras que necessitem de mais recursos em determinado momento, economia de espaço físico e energia em *datacenters* pela utilização de um mesmo dispositivo físico para diversas finalidades ou mesmo alocação em nuvem, e ainda a maior facilidade de administração e gerenciamento das unidades uma vez que a quantidade de equipamentos é reduzida e o controle pode ser feito com o auxílio de *softwares*.

4.8 Ferramentas de Controle de Concorrência

De acordo com Coronel e Rob (2004), controle de concorrência é um conceito ligado aos Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados (SGBDs) usado para solucionar conflitos com acessos ou alterações simultâneas aos dados que podem ocorrer em sistemas multiusuário. Seu objetivo é coordenar transações simultâneas no banco de dados de modo a preservar as propriedades conhecidas na computação pela sigla ACID (Atomicidade, Consistência, Isolamento e Durabilidade), a saber:

- Atomicidade: refere-se ao conceito de que uma transação de banco de dados deve ser realizada por completo, caso contrário não deve ser realizada de forma alguma. Isto significa que, na ocorrência de algum erro no processamento da transação, ela deve ser ignorada por completo, e o banco de dados deve retomar seu estado anterior à transação problemática (operação conhecida como *rollback*).
- Consistência: diz respeito à capacidade de o banco de dados permanecer em um estado consistente, de modo que apenas transações que respeitem as regras pré-estabelecidas (chaves, tipo de dados e outras restrições) são permitidas, caso contrário, as transações são completamente ignoradas.
- Isolamento: trata-se da garantia de que uma transação é processada de forma segura e isolada das demais transações a um mesmo SGBD, sem nenhum tipo de interferência inter-transações. Assim, uma nova transação só será processada ao término do processamento da transação anterior.

- Durabilidade: indica a capacidade de o banco de dados persistir o estado dos dados após o processamento de transações bem sucedidas, mesmo que posteriormente haja uma falha de sistema.

Para ilustrar a importância deste conceito, pode-se usar um exemplo hipotético de compra de passagens de avião em uma companhia aérea. De acordo com a legislação de vários países, dentro eles o Brasil, as companhias aéreas não podem vender mais passagens do que o voo pode comportar (prática conhecida no mercado como *overbooking*). Não seria incomum uma situação em que resta apenas um assento em determinado voo e dois ou mais clientes encontram-se no *website* da companhia tentando realizar a compra do assento. Sem controle de concorrência, o sistema poderia permitir a compra de dois ou mais assentos ao mesmo tempo, resultando em *overbooking*. A função do controle de concorrência é justamente gerenciar este tipo de situação, de modo que apenas um dos clientes consiga obter o assento restante, seguindo a lógica pré-estabelecida pela companhia para este tipo de situação.

4.9 Conclusão

Existe uma gama de ferramentas e técnicas que, combinadas, podem ser utilizadas para garantir a execução de sistemas com altos índices de disponibilidade. Tais combinações apresentam o uso de *software* e *hardware* operando em conjunto e de maneira complementar. A necessidade de gerenciar demandas multiusuário em paralelo e a interação entre sistemas heterogêneos adicionam complexidade na obtenção de alta disponibilidade.

5 Estudo de Caso: GDS, UM SISTEMA DE ALTA DISPONIBILIDADE

Este capítulo descreve um *estudo de caso* real de utilização de um sistema crítico organizacional, ligado a bancos de dados distribuídos, para o qual alta disponibilidade é um requisito fundamental para o sucesso do mesmo. O objetivo do capítulo é relacionar os conceitos apresentados em capítulos anteriores ao panorama real de uma empresa de tecnologia atuando no mercado global e avaliar a eficiência das técnicas de alta disponibilidade apresentadas até então.

5.1 Conceitos

Para ilustrar como todos os conceitos até aqui abordados funcionam em conjunto em um sistema do mundo real, foi escolhido um tipo de sistema que através de sua história ilustra como a tecnologia modificou radicalmente toda uma indústria, neste caso a indústria de viagens, a qual representou mundialmente em 2013 um mercado de trilhões de dólares, direta ou indiretamente responsável por 9,5% do PIB (Produto Interno Bruto) mundial e cerca de 266 milhões de empregos (FOXBUSINESS, 2014). O sistema que viabilizou grandes mudanças nesta indústria foi o GDS (*Global Distribution System*). Os dados e informações utilizados neste *estudo de caso* foram obtidos perante um GDS real, porém é preservado o nome do mesmo, uma vez que algumas informações são sensíveis à competitividade da empresa. Os dados exatos de infraestrutura e desempenho também são omitidos por representarem informações confidenciais, desta forma os dados apresentados representam aproximações e estimativas, de modo a demonstrar a dimensão dos recursos envolvidos.

As agências de viagem são os representantes comerciais que disponibilizam ao consumidor final os produtos e serviços desta indústria. É importante ressaltar que indústria de viagens não é sinônimo de indústria do turismo. O turismo é uma das ramificações da indústria de viagens, uma vez que a globalização alavancou as viagens a negócios, e as companhias que mais utilizam este tipo de serviço, como empresas de auditoria, consultoria e afins, necessitam de agências de viagens especializadas neste setor, com sistemas corporativos para controle e emissão de

relatórios. Desta maneira, é importante compreender o universo de atuação das agências de viagens, a saber:

- Agências de viagem a lazer: são agências focadas no público geral em busca de viagens a lazer para férias e fins de semana. Em geral este tipo de agência fornece opções para reserva de passagens aéreas, trens, hotéis, carros, traslados e afins, porém como produtos independentes.
- Operadoras de turismo: similares às agências de viagem a lazer, porém devido a acordos com fornecedores podem oferecer os chamados “pacotes de viagens”, produtos diversos inter-relacionados que, vendidos em conjunto, permitem uma margem maior de desconto ao consumidor final.
- Agências de viagem corporativas: são agências focadas no suporte a empresas e governos que possuem demanda considerável de viagens, bem como necessidades especiais de gerenciamento e controle, atuando como facilitadores para que as companhias não saiam de seu ramo de atuação para gerenciar serviços de viagem.
- Agências consolidadoras: para realizar emissão de passagens junto às companhias aéreas, é necessário que a agência possua um registro junto ao órgão regulador, denominado IATA. Tal registro é burocrático e custoso, inviável para agência de pequeno porte que não possuem demanda suficiente pra justificar o custo da credencial de reservas. Desta forma, surgiram agências “consolidadoras” especializadas em “alugar” um número acordado de emissões de passagem para as pequenas agências, neste cenário denominadas “consolidadas”. As agências consolidadas realizam a reserva, que é encaminhada para a consolidadora através de um sistema. Esta última realiza a emissão e retorna os dados do bilhete eletrônico para a agência consolidada, que os repassa ao cliente.
- OTAs: da sigla em inglês *Online Travel Agency*, são as agência de viagem online, que permitem ao cliente final buscar, reservar e emitir passagens aéreas, reservar hotéis ou alugar carros diretamente por um *website* ou aplicativo sem intervenção humana de um agente de turismo. É um ramo de agência em franco crescimento por todo o mundo.
- Metasearcher Engines: embora não possam ser classificadas como agências de viagem, oferecem ferramentas que permitem ao cliente final a busca simultânea

de preços e disponibilidade em várias agências *online* e fornecedores diretos de conteúdo. Tais ferramentas têm se tornado muito populares em todo o mundo, principalmente através de aplicativos disponíveis para *smartphones*.

5.1.1 GDS

GDS (sigla em inglês para *Global Distribution System*) é um sistema computadorizado e centralizado de distribuição de conteúdo relacionado à indústria do turismo (ABOUTTRAVEL, 2015). Dentre os principais serviços disponibilizados através de GDS estão itinerários e disponibilidades de voos, hotéis, trens e veículos, bem como respectivas tarifas, regras e inventários. O GDS realiza o papel de intermediação entre consumidores de conteúdo de viagens (como agências de turismo) e companhias aéreas, férreas, hotéis e locadoras de veículos, disponibilizando seus conteúdos através de uma plataforma própria de busca e reserva ou através de serviços de APIs (do inglês *Application Programming Interface*) via linguagem XML (do inglês *eXtensible Markup Language*).

Os GDS atualmente mais utilizados no mercado mundial começaram como projetos desenvolvidos pelas próprias companhias aéreas com o objetivo de disponibilizar produtos e serviços das companhias aéreas parceiras para seus clientes. A título de exemplo, o GDS da empresa Sabre começou como um projeto da companhia American Airlines. O GDS da empresa Amadeus foi concebido pelas companhias Lufthansa, Air France, Iberia e SAS. O GDS Apollo da empresa Travelport foi criado pela United Airlines. O GDS Galileo da empresa Travelport foi fruto de um projeto entre nove companhias européias, dentre as quais British Airways, KLM, Alitalia, Swissair e TAP. Já o GDS Worldspan da empresa Travelport advém das companhias Delta Airlines, Northwest Airlines e TWA.

Naturalmente, ao longo dos anos, os GDS foram separados das companhias aéreas e se tornaram empresas de capital aberto e administração própria, o que levou à expansão dos mesmos através das principais companhias aéreas do mundo, e permitiu a inclusão de outros conteúdos relacionados à indústria do turismo.

Um GDS atua em várias frentes tecnológicas. Ele é a interface de conexão entre os fornecedores de conteúdo de viagem e os sistemas de reserva. Os

sistemas de reserva podem ser desenvolvidos pelas próprias empresas de GDS e fornecidos às agências de viagens ou por terceiros (as próprias agências de viagem ou ainda empresas de tecnologia que atuam na área de viagens). Quando tais sistemas de reserva são desenvolvidos por terceiros, o GDS atua como interface API de fornecimento de conteúdo, de modo que a integração do desenvolvedor de sistema seja única e uniforme perante todos os fornecedores de conteúdo. Do contrário, seria necessário ao desenvolvedor buscar integração direta a cada uma das companhias aéreas do mundo com a qual deseja reservar passagens, bem como empresas de trem, hotéis e locadoras de carro, cada um com seu padrão e forma de conexão própria. Os GDS fazem o trabalho de integração, bem como manutenção e padronização de acesso. Outra frente de atuação do GDS é junto aos *back offices*, fornecendo as informações necessárias para alimentar ERPs (sistemas integrados de gestão empresarial) e sistemas de gestão de viagem. O GDS está presente de alguma forma em todos os ramos de agência de viagem, *meta search engines* e sistemas independentes de reserva de viagem, como demonstra a figura 10.

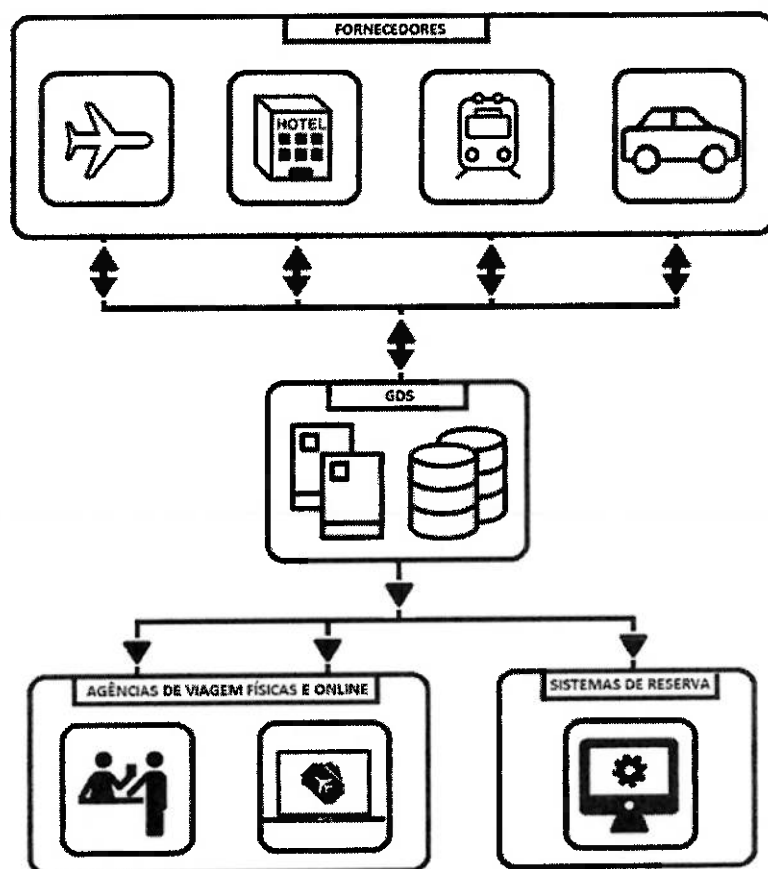


Figura 10 - GDS como interface entre fornecedores de consumidores de conteúdo de viagem.

5.1.2 IATA

A IATA é o acrônimo inglês para *International Air Transport Association*, ou em português, Associação Internacional de Transportes Aéreos, é uma associação comercial criada por um grupo de 57 companhias aéreas em 1945, contando hoje com cerca de 240 companhias aéreas em 118 países, que juntas transportam cerca de 84% do tráfego aéreo internacional (CENTRE OF AVIATION, 2014).

De acordo com a própria associação, sua missão é representar e servir o setor de aviação, e faz parte de seu campo de atuação oferecer soluções conjuntas para as companhias aéreas, promover a integração entre as mesmas através de padrões de mercado estabelecidos mundialmente, bem como a promoção de padrões para novas demandas e adequação de tais padrões perante as legislações dos países em seu campo de abrangência.

5.1.3 EDIFACT

O EDIFACT é acrônimo na língua inglesa para *Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport*, ou em português, Intercâmbio Eletrônico de Dados para Administração, Comércio e o Transporte. Trata-se de um conjunto de regras de sintaxe, elementos de dados, códigos e mensagens estruturados para transações eletrônicas (padrão EDI), projetado para leitura computacional (não humana) pela ONU (Organização das Nações Unidas) em 1986, e posteriormente adotado pela ISO (Organização Internacional para Padronização) sob o padrão ISO 9735:1988, posteriormente atualizado no padrão ISO 9735-2:2002 (EDIBASICS, 2015).

Este padrão é utilizado pelos GDS para troca de dados em seus diversos canais de comunicação, dentre os quais canais com as companhias aéreas, redes de hotéis, carros, trens e serviços auxiliares.

5.1.4 GDS *Hosting*

Ainda que a forma de comunicação seja baseada em um padrão (o EDIFACT), existem diferenças importantes entre cada tipo de conteúdo distribuído no GDS, e mesmo dentro de cada conteúdo, existem níveis de padronização diferentes.

Cada fornecedor possui sua própria infraestrutura tecnológica, versão de uso do EDIFACT, produtos e serviços exclusivos e taxa de atualização de conteúdo próprio. Devido à forte influência do IATA, o universo de passagens aéreas é bastante padronizado no que tange a canais de cobrança e disponibilização de conteúdo, incluindo serviços extras como refeições especiais, assentos conforto e transporte de bagagens extras ou especiais. Porém, as maiores companhias aéreas estão em níveis de distribuição mais avançados em relação às menores, principalmente no tocante a infraestrutura e atualização tecnológica e taxa de atualização do conteúdo, que é alta devido à quantidade de voos operados e abrangência do mercado em que atuam.

Alguns GDS oferecem sua própria infraestrutura tecnológica para que determinadas companhias operem através dela, como uma forma de as companhias terceirizarem parte de suas operações de TI. Assim, os GDS podem operar como *host*. Visando manter a competitividade do setor, as companhias aéreas ligadas ao IATA devem disponibilizar seu conteúdo de forma idêntica para todos os GDS, de modo que o conteúdo proveniente de cada companhia não seja utilizado como diferencial entre os mesmos. Cabe a cada GDS inovar e oferecer ferramentas diferenciadas baseando-se no conteúdo disponibilizado igualmente a todos eles. Isto não significa que as companhias aéreas não podem oferecer conteúdo exclusivo através de seus próprios canais de venda, mas apenas que conteúdos voltados a GDS devem ser distribuídos igualmente entre os mesmos, mesmo que um dos GDS atue como *host* da companhia.

5.1.5 Acordos *Interline*

Há ainda um fator importante a ser considerado no mundo das companhias aéreas: as parcerias comerciais entre elas. Para operar em locais em que não possuem voos, as companhias aéreas contam com parceiras para operar voos locais que

fazem conexão com um de seus voos, prática conhecida no mercado como *interline* ou *codeshare* (STAR ALLIANCE e o ONE WORLD são exemplos de grupos de empresas aéreas que fazem acordos com este objetivo). Desta forma, há a necessidade tecnológica de emitir bilhetes eletrônicos sobre passagens aéreas operadas por duas ou mais companhias, porém tais bilhetes serão de responsabilidade da empresa que operar o maior trecho do itinerário. De qualquer modo, os sistemas de cada companhia envolvida deverão estar interconectados para registrar corretamente os dados do passageiro e do voo, tanto para reservar o assento e registrar a quantidade de bagagens, como para captar informações administrativas para faturamento do acordo *interlines*. A figura 11 ilustra a arquitetura aplicada para a troca de dados entre companhias aéreas e o GDS.

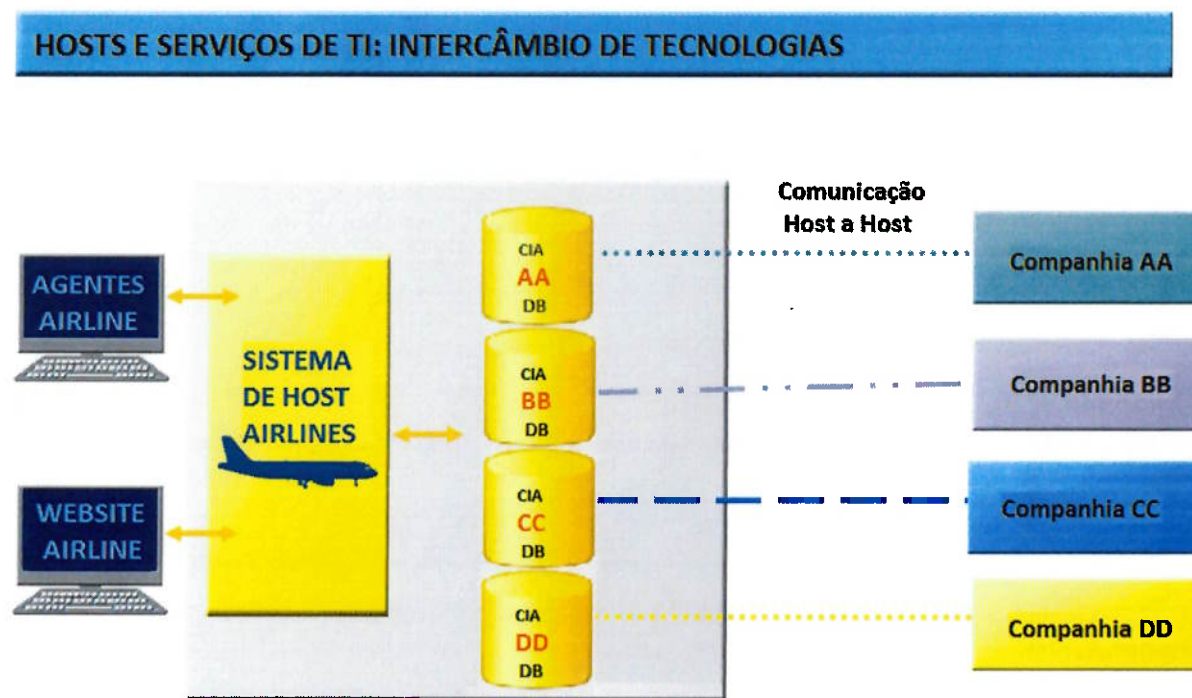


Figura 11 - Arquitetura padrão para acordos *interlines*.

Naturalmente, o GDS também precisa estar apto a conhecer tais acordos e disponibilizá-los a seus clientes. A maioria dos GDS possuem soluções próprias de *host interlines* hospedados em sua própria infraestrutura, e os oferecem às companhias aéreas. Visando manter a competitividade do setor, tais sistemas devem facilitar a integração para com qualquer sistema GDS, de modo que todos tenham acesso ao conteúdo. Há ainda no mercado sistemas neutros utilizados por

várias companhias para gerenciar inventários e emissões por acordos *interline*, dentre os quais o DELTAMATIC OSS, o EDS SHARES e o SITA, este último o mais largamente utilizado dentre os sistemas de gestão de inventários *interline* supracitados.

A tecnologia de sistemas de emissão *interline* tem caminhado no sentido de se tornar maior e mais rápida. Maior no sentido de suportar novas demandas de serviço como compartilhar entre as companhias com acordo os mapas de assento das aeronaves, marcações de bagagem (os *bag tags*) e também a nova estrutura de informações de passageiros exigida por vários países visando segurança, os chamados APIS (*Advanced Passenger Information System*). Mais rápida no sentido de que todo este intercâmbio de informações seja realizado em tempo real.

5.2 Infraestrutura

A infraestrutura de TI dos GDS é focada em *datacenters*, centros de processamento de dados projetados para processar e armazenar dados de maneira segura e autossuficiente. Todos os grandes GDS de atuação global possuem *datacenters* espalhados pelos diferentes continentes em que estão presentes, de diferentes tamanhos e capacidades de processamento. O GDS alvo deste estudo possui um grande *datacenter* localizado nos Estados Unidos, e outros menores na Europa e Ásia.

Os principais componentes dos *datacenters* são servidores, unidades de armazenamento e componentes de rede, mas para suportar o funcionamento dos dispositivos existe uma infraestrutura bastante complexa:

- Proteção contra acessos indevidos: portas de segurança e equipe de vigilância, câmeras de monitoramento, chaves eletrônicas de acesso e escâneres de reconhecimento de palma da mão.
- Proteção contra intempéries e acidentes: estrutura para suportar possíveis desastres naturais na localidade do *datacenter*, terremotos, furacões, ventanias, enchentes e incêndios.
- Grande espaço físico: galpões com espaço para alocação de grandes e variados dispositivos de tecnologia e equipamentos de segurança e manutenção, bem

como espaço livre para circulação de equipes e expansão de capacidade de processamento de acordo com novas demandas.

- Redundância de recursos: fontes de energia fornecidas por ao menos duas subestações diferentes, geradores independentes de energia e estoque armazenado de diesel para pronta utilização, sistema de controle de temperatura.

O GDS alvo de estudo reporta estar a cerca de vinte anos sem perda de componentes computacionais chave, bem como ser capaz de manter-se operante de maneira autossuficiente por pelo menos cinco dias.

5.2.1 Armazenamento e Processamento

Os mainframes constituem uma parte fundamental do processamento e armazenamento do GDS estudado. Para suportar a demanda de mercado, o GDS utiliza o sistema TPF (*Transaction Processing Facility*) da IBM, que consiste em um sistema operacional em tempo real para *mainframes*, projetado para trabalhar com altos volumes de dados, a altas taxas de transferência através de redes geograficamente dispersas. O sistema ainda provê ferramentas de automação de processos e diagnóstico, bem como suporte da própria IBM para problemas com o software e o hardware do mainframe (IBM, 2014). Este tipo de *mainframe* também é utilizado pelas companhias aéreas para suas aplicações de reserva de passagens eletrônicas (versão conhecida como PARS, *Programmed Airline Reservations System*).

Os *mainframes* operam em regime de 24/7 (ininterrupto), e no *datacenter* principal da empresa são subdivididos em três aplicações distintas:

- Armazenamento para GDS: para o sistema GDS da empresa, são alocadas cerca de vinte unidades TPF capazes de armazenar por volta de trezentos *terabytes* e suportar em média dois milhões e meio de IOPS (Inputs/Outputs por Segundo). São designadas ainda dez unidades TPF para sistemas de companhias aéreas capazes de armazenar cerca de cento e cinquenta *terabytes* e suportar em média um milhão e meio de IOPS. Por fim, há a alocação externa (em nuvem através de um provedor externo) de oito unidades TPF para testes,

backup e recuperação de desastres capazes de armazenar seiscentos e dez *terabytes*. As unidades internas de TPF estão configuradas em RAID 10 para garantir proteção e disponibilidade dos dados.

- Processamento para GDS: para que desenvolvedores e subsistemas se integrem ao GDS, são disponibilizados seis mainframes capazes de assegurar cerca de cem mil MIPS (milhões de instruções por segundo), subdivididos em cerca de quinze partições e setenta imagens diferentes de sistemas operacionais, visando adequar a disponibilidade de recursos de maneira equilibrada entre os *webservices* do GDS, sistemas de companhias aéreas e ambiente de teste. Como resultado, tais *mainframes* processam em média setenta mil mensagens de clientes por segundo, o que resulta em três bilhões e meio de mensagens por dia, e mais de um trilhão por ano. Tal estrutura suporta a criação de mais de trezentos e cinquenta milhões de segmentos aéreos, sessenta milhões de reservas de carros e oitenta milhões de reservas de hotéis.
- Armazenamento e processamento para sistemas externos: para suportar a comunicação com sistemas interconectados ao GDS, como os sistemas de tarifas, faturamento e emissões de bilhetes eletrônicos, são alocados cerca de dez *mainframes* como suporte a mais de cinco mil MIPS, duas unidades de armazenamento de cerca de trezentos *terabytes*, e seis unidades virtuais de armazenamento internas e externas para *backup* e recuperação de falhas com capacidade aproximada de dez *pentabytes*. O sistema de pagamento está organizado em bancos de dados com redundância através de *clusters* de *failover*, capazes de suportar transações de até seis minutos com tempo de reconexão máximo de quinze segundos, de modo a evitar perdas de contexto em transações longas.

Existem ainda cerca de outros cem tipos de unidades de armazenamento no *datacenter* destinados a necessidades diversas de processamento e armazenamento da companhia, que em conjunto são capazes de armazenar cerca de quatorze *petabytes* (sendo 1 *petabyte* equivalente a 10^{15} *bytes*) de dados, dedicados ao uso interno da empresa de GDS estudada.

Em relação aos sistemas distribuídos da organização, destinados à integração com sistemas externos e desenvolvedores, na configuração atual do

principal *datacenter* pode-se notar um equilíbrio na utilização de servidores físicos e virtuais (cerca de dez mil no total), com pequena margem de vantagem numérica para os servidores virtuais. O *datacenter* possui aproximadamente seis mil servidores virtuais utilizando o software de virtualização VMWare, alocados em cerca de quinhentos servidores físicos. Do total de tráfego de rede nestes servidores, quase setenta por cento são utilizados para acesso ao ambiente de produção do GDS, cerca de vinte por cento para o ambiente de pré-produção e homologação, e dez por cento para o ambiente de desenvolvimento. Todos os servidores locais da empresa empregam RAID 1 para garantir redundância dos dados e evitar perdas.

O fluxo de busca e reserva de passagens aéreas é o mais custoso para os GDS em termos de utilização de recursos computacionais se comparado a outros fluxos como os de trem, hotel e carro. Isto ocorre devido ao número extenso de companhias aéreas disponibilizadas pelos GDS, bem como ao dinamismo e à quantidade de informações necessárias para completar uma reserva e emissão de passagem aérea. Dentre as diversas operações que ocorrem no fluxo de busca e reserva de conteúdo aéreo, a mais custosa do ponto de vista computacional é a de cotação de voos disponíveis. Neste tipo de operação, o cliente informa uma ou mais origens e destinos de voo, bem como as datas de saída e chegada. O GDS procede então com uma busca em suas fontes de dados para retornar ao usuário as opções disponíveis de acordo com os critérios fornecidos, ordenando-as por preço. Esta operação exige múltiplas buscas nos diversos canais de conteúdo aéreo conectados ao GDS, bem como o processamento e formatação dos resultados para exibição no sistema que a requisitou.

O custo desta operação é mensurado e repassado aos sistemas que a requisitam de várias formas. Os GDS costumam estabelecer por contrato uma relação mínima de buscas de voos por emissões de bilhete realizadas, relação conhecida no mercado de reservas aéreas como *look to book*. Isto ocorre porque uma das fontes de renda dos GDS é proveniente dos acordos com as companhias aéreas, em que o GDS ganha uma fração do valor de cada bilhete emitido através de seu sistema. Desta forma, o GDS precisa estabelecer uma relação que permita bancar os custos de sua infraestrutura e ainda gerar lucro. Assim sendo, os sistemas que extrapolam o número de buscas acordadas por emissão de passagens pagam pelas requisições em excesso. Outra forma utilizada pelos GDS

para tornar tais operações menos custosas é através da utilização de *cache* para itinerários já buscados anteriormente.

Como as companhias aéreas possuem diferentes taxas de atualização de conteúdo e tarifas, o GDS não precisa obter as informações em tempo real o tempo todo, ele pode agendar as atualizações de acordo com o cronograma de cada companhia, e armazenar em servidor próprio itinerários já buscados nestes intervalos. Devido à demanda do mercado de turismo, existem ainda opções que realizam esta operação para um intervalo de até sete dias, ou com opções de busca e filtragem avançadas, consumindo ainda mais recursos computacionais. Nestes casos, os GDS costumam cobrar individualmente o preço de cada operação requisitada pelos sistemas.

Nos horários de de maior concentração de transações, este tipo de operação pode ser realizado em paralelo por cerca de mil e quinhentos sistemas distintos, atingindo a média de quarenta mil requisições por segundo, resultando no retorno de até dois bilhões de itinerários por dia. A operação de cotação de voos demanda cerca de metade da capacidade dos servidores do *datacenter*, e é realizada majoritariamente nos servidores físicos. Já as demais operações ocorrem 95% em servidores virtuais (exceção feita a servidores de bancos de dados).

O sistema de armazenamento distribuído é organizado através de duas tecnologias:

- SAN: Do inglês *Storage Area Network*, conforme Barker e Massiglia (2001), é uma rede de alto desempenho cujo principal propósito é permitir a dispositivos de armazenamento comunicarem-se com sistemas computacionais e também entre si. No conceito de SAN, todos os servidores são fisicamente conectados a todos os dispositivos de armazenamento de dados, desta forma, se o servidor A deseja acessar um dado produzido ou modificado pelo servidor B, o servidor A pode acessar diretamente o dispositivo de armazenamento no qual o servidor B realizou o armazenamento, tudo o que é necessário para viabilizar esta operação é o controle lógico sobre o uso compartilhado da unidade de armazenamento em questão para que não haja inconsistência de dados. Este tipo de arquitetura não demanda gerenciamento para cópia de dados de um servidor a outro, dirimindo complexidade ao manusear dados e reduzindo custos operacionais e administrativos. Diferentemente do uso de *mainframes* que concentram muitos dados em um único dispositivo físico, o SAN permite a

utilização de grande diversidade de unidades de armazenamento, movimentando dados entre as diversas unidades de maneira rápida através de redes de alto desempenho. Todas as unidades alocadas em SAN estão organizadas em RAID 5 ou RAID 10, a depender da destinação específica de cada unidade, e os servidores virtuais são gerenciados pelo serviço SVC (*San Volume Controller*) da IBM.

- **NAS:** Do inglês *Network-Attached Storage*, de acordo com Staire e Reynolds (2010), é um dispositivo de armazenamento em unidade de disco rígido que é configurado com seu próprio endereço de rede e provê serviços de armazenamento orientados a arquivos (*file-based*) para outros dispositivos em uma rede de computadores. O NAS permite a utilização de protocolos de rede padrão, como o TCP/IP, e as operações (I/O) de seus clientes de rede se dão em arquivos, de modo que clientes heterogêneos autorizados possam acessar os arquivos independentemente de seu sistema operacional, de maneira centralizada. Outra característica importante do NAS é que ele possui escalabilidade horizontal, ou seja, para ampliar sua capacidade de armazenamento basta adicionar outros dispositivos de tal tecnologia na rede, o que implica em redução de custos, facilidade e agilidade de expansão. Todas as unidades alocadas em NAS estão organizadas em RAID 6 com paridade dupla para garantir integridade dos dados.

A figura 12 apresenta a aplicação das tecnologias NAS e SAN no contexto do GDS estudado.



Figura 12 - Sistema de armazenamento distribuído do GDS.

No total são cerca de quarenta ambientes de armazenamento, distribuídos entre cerca de nove mil servidores e mais de cento e cinquenta dispositivos de

armazenamento, em média oito milhões de IOPS no total e cerca de quatorze *petabytes* de capacidade bruta de armazenamento. Em relação à rede, são cerca de mil *terabytes* de dados transmitidos através da rede corporativa diariamente, através de cerca de três mil circuitos e quatro mil redes locais (LAN). O GDS está interconectado a cerca de oitocentos provedores de conteúdo diferentes, e provê conteúdo a cerca de setenta mil agências pelo mundo somente através de seu próprio sistema de distribuição e reservas, bem como duzentas e cinquenta aplicações corporativas.

5.2.2 Arquitetura e Distribuição

A arquitetura do GDS é organizada de modo a facilitar a interoperabilidade entre os serviços e as bases de dados. Os serviços oferecidos ao usuário final demandam uma infraestrutura própria de modo a acomodar as operações inerentes aos serviços, como lista a figura 13.

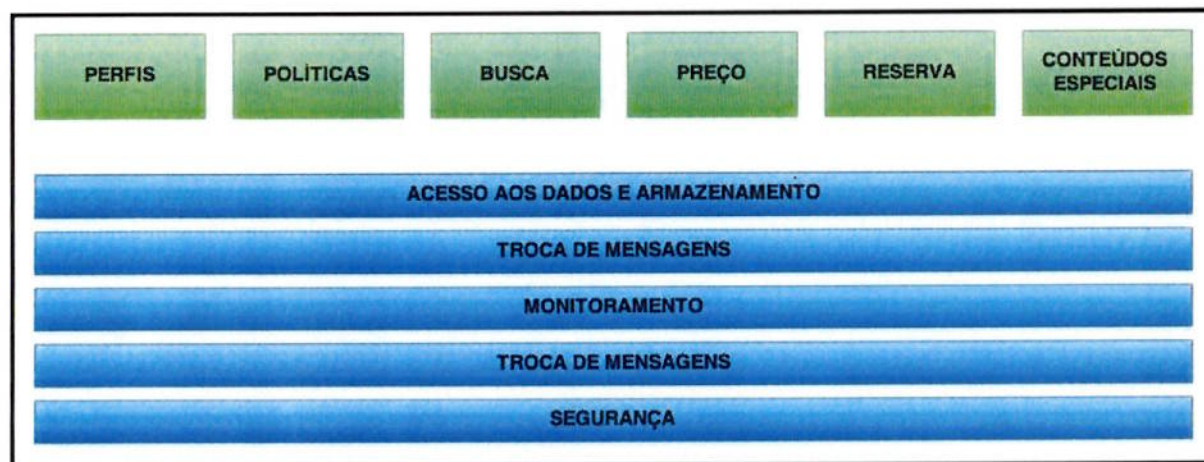


Figura 13 - Infraestrutura de serviços GDS.

Já as bases de dados podem estar alocadas internamente ou externamente, e a arquitetura foi desenhada de modo a integrar tais bases através de uma interface transparente ao usuário final, de modo que ao mesmo não é possível diferenciar a origem do conteúdo consumido, nem mesmo por formato dos dados ou tempo de resposta, situação ilustrada na figura 14.

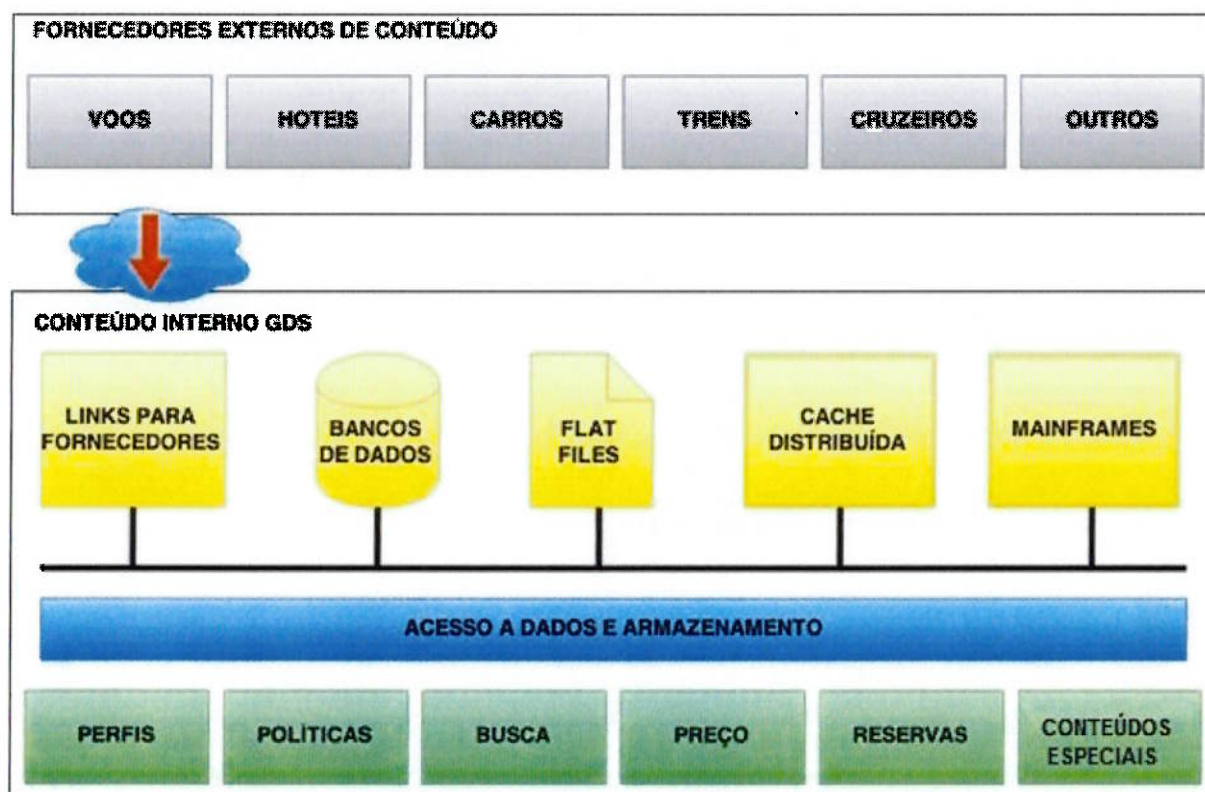


Figura 14 - Infraestrutura de acesso a dados e persistência.

A arquitetura de armazenamento e distribuição de conteúdo é orientada a canais lógicos separados, porém que se comunicam entre si. Cada canal possui seus próprios papéis e responsabilidades, ao passo que a lógica de negócio é alocada em uma camada própria, separada da camada de distribuição (figura 15).

São implementados dois níveis de encapsulamento, um de dados e outro de recursos, bem como um módulo de testes separado visando estimular reuso, facilidade de manutenção e paralelismo de programação.

O canal de distribuição a clientes é isolado de modo a otimizar seu desempenho e facilitar sua manutenção.

O canal de serviços gerencia o acesso dos clientes aos serviços (sessões), as estruturas dos conteúdos distribuídos (JSON, XML) e também o conteúdo de suporte, documentação e SLAs. Realiza atividades como identificação e provisionamento de recursos, filtros de conteúdo, paginação e gerenciamento de *cache*, enriquecimento de informações (referências, decodificações) e internacionalização dos dados (i18N).

O canal de serviços de domínio cuida do acesso e gerenciamento do conteúdo de negócio, provendo uma representação “agnóstica” do mesmo para distribuição, bem como a compilação do conteúdo proveniente de diversas fontes.

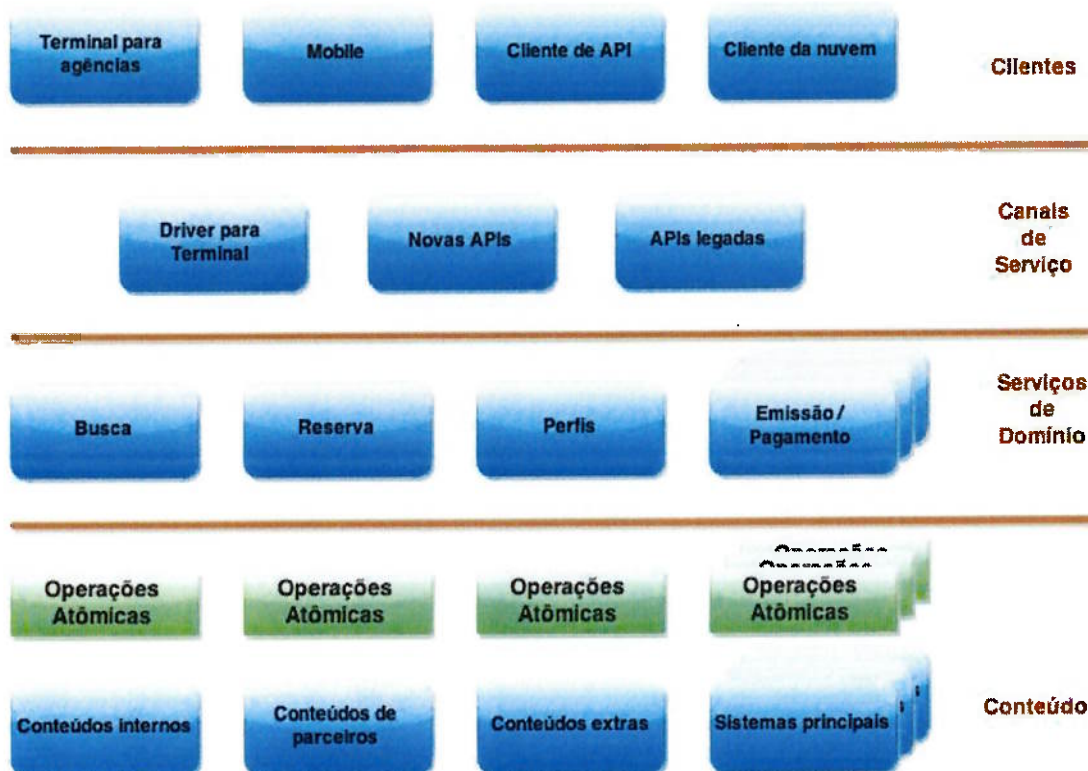


Figura 15 - Arquitetura de armazenamento e distribuição de conteúdo.

O canal de conteúdo contém a persistência de dados e as lógicas de negócio, acessados via operações atômicas que operam através de sessões de acesso (modelo canônico de troca de dados entre serviços).

O gerenciador de sessões simplifica a interação entre os diferentes sistemas de conteúdo. Ele gerencia dois tipos de sessão:

- Sessões de usuários: utilizadas no acesso aos APIs e terminais pelos clientes. Garante o isolamento das operações realizadas em paralelo pelos diversos usuários, bem como o contexto das requisições enviadas por cada um deles;
- Sessões de sistema: utilizadas no acesso interno aos sistemas principais, provendo subsídios às operações atômicas para comunicação entre o canal de serviços de domínio e o canal de conteúdo.

Todas as sessões trabalham com o conceito de transação e atomicidade, de modo que as solicitações são completadas apenas se não houver erros no processo e se assim for solicitado pelo dono da sessão (operação conhecida como *commit* de transação). Caso contrário, a sessão realiza a reversão das ações tomadas em seu contexto (operação conhecida como *rollback* de transação).

Em relação à segurança da informação, toda a troca de dados com ambientes externos é suportada por SSL (*Secure Sockets Layer*) criptografado e infraestrutura de chaves públicas (PKI). Os servidores FTP (*File Transfer Protocol*) utilizam a tecnologia FTPS (*File Transfer Protocol Secure*), que emprega SSL para transferência de arquivos de maneira criptografada. Os *mainframes* IBM série Z utilizam a tecnologia proprietária IBM ZIP/390 para compactação e criptografia visando interoperabilidade com outras plataformas e entrega de informação nos padrões da indústria. A companhia ainda emprega o PGP (*Pretty Good Privacy*) para encriptação, descriptografia e autenticação de e-mails.

5.2.3 Escalabilidade

A escalabilidade da base de dados e sistemas é fator fundamental para os índices de alta disponibilidade da empresa. Para determinar as soluções adotadas, os seguintes requisitos técnicos são analisados: segurança, confiabilidade, desempenho, reuso, extensibilidade, internacionalização, custo efetivo, facilidade de operação, gerenciamento, manutenção e monitoramento.

Dentre as estratégias de escalabilidade da companhia, destacam-se os bancos de dados em nuvem, implementados através de máquinas virtuais e bancos de dados por demanda (*as a service*) fornecidos por terceiros. Tal estratégia permite fácil prototipação e rápida adequação a picos de cargas de dados, mas exige precauções com relação à segurança da informação e latência.

Outra estratégia adotada pela empresa é a adição de recursos computacionais de maneira orgânica, ou seja, há a inclusão de novos componentes de processamento, memória e armazenamento à medida que determinadas porcentagens de uso dos recursos é atingida de maneira permanente. Isso também ocorre com servidores para aumentar a capacidade de replicação de dados, *clustering*, particionamento dos dados (dentre os quais a técnica de *sharding*, que

divide grandes bancos de dados em partes menores) e também a utilização de *cache* (que não é encarada como uma solução de escalabilidade de bancos de dados, mas sim de escalabilidade de aplicações), conforme ilustrado pela figura 16.

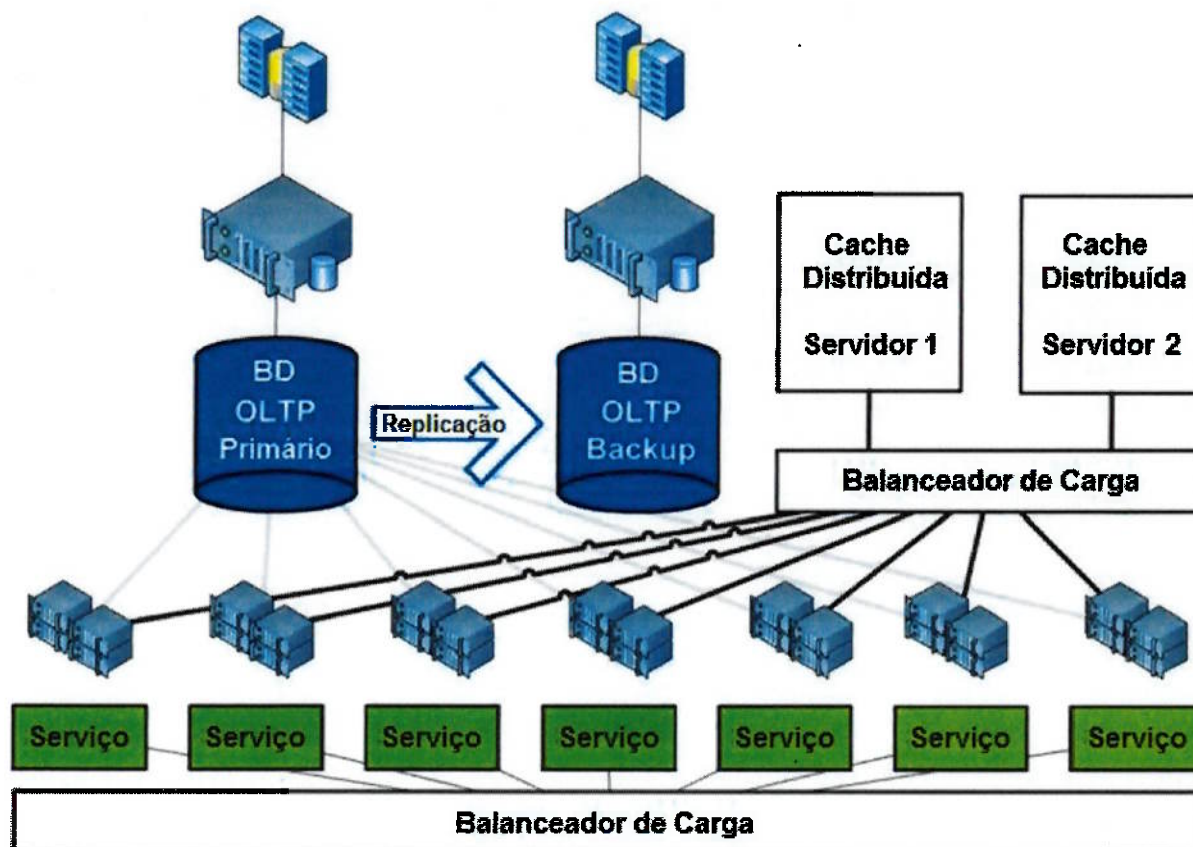


Figura 16 - Particionamento de Banco de Dados com cache.

Ainda no ramo do particionamento de bancos de dados, a empresa adota para determinados serviços uma estratégia de particionamento de funções, através da criação de réplicas de conjuntos de dados (*data sets*) dedicados às funções mais utilizadas de acesso aos bancos de dados, em geral para aquelas que não alteram o estado dos dados, como leitura e buscas (*queries*) / recuperação de dados. Tal técnica adiciona complexidade e custo ao gerenciamento de bancos de dados, mas permite a serviços com alta demanda de consultas, baixos tempos de resposta no acesso aos dados, implicando em desempenho. A figura 17 reproduz a aplicação desta técnica.

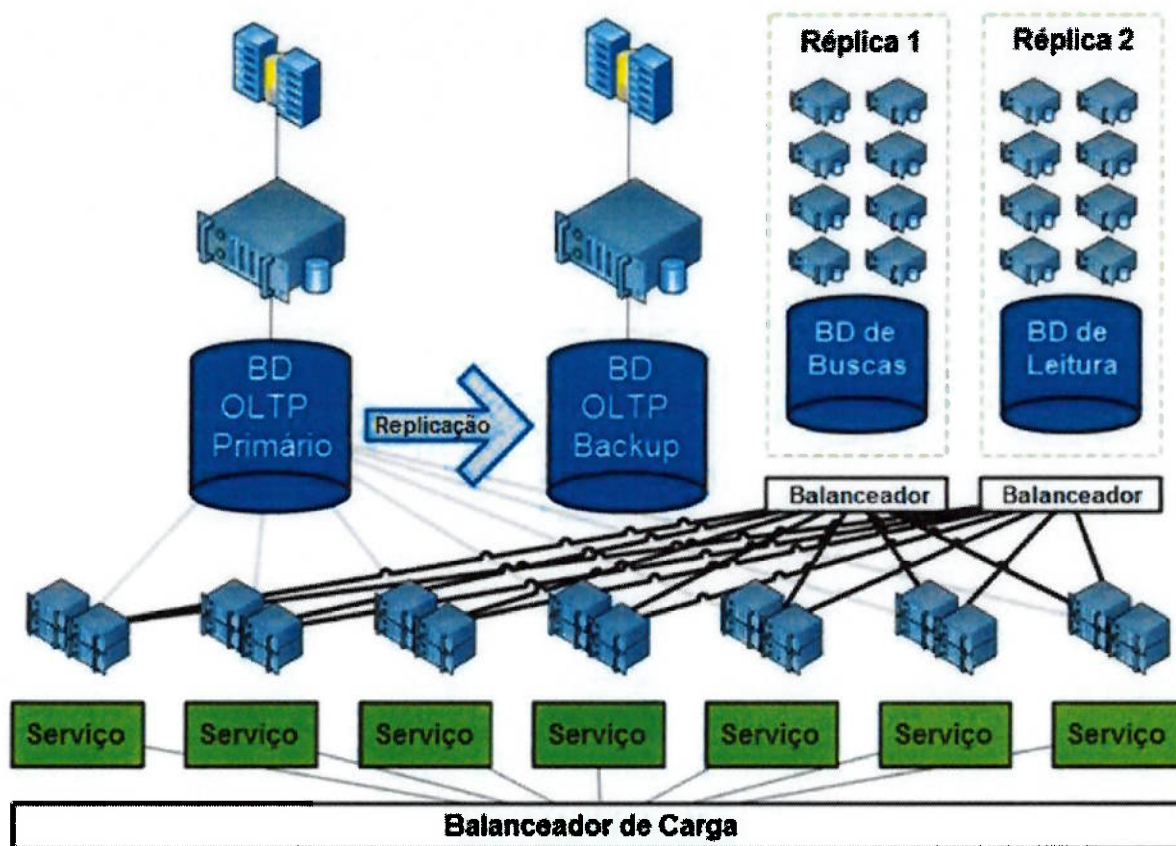


Figura 17 - Particionamento de Banco de Dados com réplicas dedicadas.

A reserva de recursos computacionais alocada pela companhia para suportar picos de uso é de 30%, de modo que o monitoramento em tempo real da utilização resulta na aplicação de estratégias de curto prazo para lidar com a crescente demanda de recursos. À medida que novas médias de utilização são estabelecidas (a experiência da empresa aponta que a demanda é invariavelmente crescente nas últimas décadas) então mais recursos físicos são alocados para garantir a margem de 30% de reserva.

5.2.4 Organização e Gerenciamento

As responsabilidades dos profissionais de *datacenters* são gerenciar custo, desempenho e disponibilidade. Para tal, O GDS estudado conta com quatro grandes áreas de atuação para estes profissionais:

- Planejamento: responsável por definir ações para gerenciamento de serviços e desempenho estratégico do GDS. Gerencia o conhecimento adquirido, os custos do *datacenter* através de negociação de contratos com fornecedores de produtos e serviços de telecomunicação, bem como mão de obra interna e externa (*outsourcing*), a otimização de processos, o planejamento e medição de qualidade e ainda analisa as tendências de mercado.
- Construção: responsável pelo gerenciamento da infraestrutura do *datacenter*. Gerencia os *mainframes*, bancos de dados, servidores físicos e virtuais, sistemas operacionais, plataformas de *middleware*, as soluções corporativas e a automação de provisionamento de recursos.
- Execução: responsável pela operação do *datacenter* e serviços ao usuário final. Gerencia o funcionamento 24/7 (ininterrupto) do *datacenter*, o controle de mudanças, a infraestrutura de segurança e redes comerciais e corporativas, o suporte de primeiro nível (contato com o usuário), segundo nível (servidores distribuídos e *mainframes*) e terceiro nível (redes e interrupções de serviço), as demandas de clientes e os testes de sistema.
- Parcerias: responsável por gerenciar as demandas de recursos e segurança de aplicações e sistemas dos parceiros do GDS interconectados a suas bases de dados. Gerencia o *hardware* e as instalações demandadas pelas parcerias, os *links* de comunicação com os provedores de conteúdo, as configurações e instalações de *software*, os riscos, políticas e auditorias de segurança e o *compliance* com leis e práticas comerciais.

5.3 Resultados

A combinação de tecnologias, procedimentos e técnicas descritas resultou em uma média de 99,96% de disponibilidade entre os anos de 2012, 2013 e 2014, resultando em menos de quatro horas anuais entre paradas programadas e não programadas, e situando seus sistemas na categoria de “três noves” dentro da escala de contagem dos noves, adotada na área de TI para medição de disponibilidade de sistemas. Vale ressaltar ainda que o critério adotado pela empresa para definir “indisponibilidade” é o de distribuição de menos de 50% do conteúdo esperado para o período, ou seja, qualquer momento em que o sistema

distribuiu 49% ou menos do conteúdo esperado é considerado indisponibilidade. A empresa reportou que não houve qualquer ocorrência catastrófica nos três anos medidos em que seus sistemas principais tenham atingido indisponibilidade de 100%, considerando o panorama mundial de utilização de tais sistemas.

A empresa está apta com sua infraestrutura a agregar diariamente novos conteúdos de fornecedores, suportar o desenvolvimento de projetos internos e lançamento de novos produtos no mercado, bem como permitir a um número crescente de clientes a intercomunicação com seus sistemas através de APIs e SDKs disponibilizados aos desenvolvedores externos, sem afetar sua operação e alta disponibilidade.

6 CONCLUSÕES

O conceito de alta disponibilidade está intrinsecamente ligado a todos os sistemas de informação, mas se torna um fator especialmente determinante nos chamados sistemas críticos, em que problemas de disponibilidade podem ocasionar perdas competitivas, financeiras ou mesmo de vidas humanas. Desta forma, para que um sistema seja classificado como de alta disponibilidade é preciso que se leve em conta o contexto no qual tal sistema está inserido. É importante ainda diferenciar o conceito de disponibilidade do conceito de confiabilidade, uma vez que um sistema pode ser de alta disponibilidade, porém pouca confiabilidade em relação à integridade dos dados, por exemplo.

Alta disponibilidade é um ramo explorado há décadas na computação, cujos conceitos são bastante difundidos no mundo acadêmico e comercial. À medida que a computação evolui e agrega cada vez mais variáveis, como ambientes, sistemas operacionais, *hardwares* e *softwares* heterogêneos, os mecanismos e técnicas de garantia de disponibilidade se tornam mais complexos e dispendiosos. A métrica de contagem dos “noves” é fortemente difundida no mundo comercial, sendo o maior objetivo de todo sistema de alta disponibilidade obter o maior número de “noves” possível.

O fator humano é majoritariamente a maior causa direta de indisponibilidades de sistemas, através de planejamento, manutenção, configuração ou operação inadequadas dos sistemas e equipamentos. Falhas de *hardware* e *software*, bem como desastres naturais representam a parcela menor de causas de indisponibilidade.

O correto gerenciamento dos bancos de dados é fundamental para a obtenção de alta disponibilidade em sistemas que interagem com tais estruturas. Neste contexto, os sistemas gerenciadores de bancos de dados exercem papel de destaque, provendo mecanismos de controle, manutenção, depuração e recuperação de falhas, bem como fornecendo relatórios que fundamentam à tomada de decisão.

Os sistemas multiusuário que manipulam e armazenam dados representam verdadeiros desafios ao objetivo de alta disponibilidade, devido à demanda altamente variável de transações simultâneas (operações de leitura e escrita), bem

como à variedade de canais de acesso aos sistemas. A maior abertura de tais sistemas os expõe a ataques de *hackers* e a acessos simultâneos acima do suportável. Além de interagir com usuários, tais sistemas comumente interagem com outros sistemas, nem sempre desenvolvidos sob os mesmos preceitos de criticidade e segurança, podendo representar gargalos ao sistema principal.

As ações necessárias para garantir alta disponibilidade se dão em todas as etapas de vida dos sistemas, desde sua concepção com o planejamento da infraestrutura necessária ao mesmo, passando pela programação eficiente, controle de versão, configuração e manutenção adequadas. Dentre as técnicas mais difundidas para garantia de alta disponibilidade, destacam-se as técnicas de redundância (local e geográfica), *clusters*, *cache*, computação em nuvem, virtualização, controle de concorrência e técnicas de segurança. Tais técnicas, empregadas de maneira complementar umas às outras, permitem aos sistemas permanecerem livres de falhas a maior parte do tempo, mas também viabilizam a recuperação rápida em caso de falhas.

A análise do *estudo de caso* permite comprovar a eficiência das técnicas supracitadas, bem como a variedade de tecnologias necessária para a aplicação de tais técnicas na prática. É destacável a imensa estrutura necessária para gerenciar dispositivos de naturezas tão distintas, diante de um cenário heterogêneo e mutável em que novas tecnologias substituem as antigas continuamente. Além disto, o estudo evidencia a importância de questões como a escalabilidade, face à evolução da computação e exigência crescente de mais recursos computacionais, e também dos altos custos envolvidos para garantir a disponibilidade em curto, médio e longo prazo.

O *estudo de caso* permite ainda notar um movimento no sentido de descentralização dos dados, com o emprego de recursos fora dos tradicionais *datacenters* para armazenamento e processamento de dados, através de tecnologias de intercomunicação, computação em nuvem e virtualização controlada por *software*, dirimindo a operação humana sobre tais estruturas, permitindo flexibilidade tecnológica e propiciando a possibilidade de empregar recursos computacionais para os processos que mais as demandam nos exatos momentos que tais demandas ocorrem.

Embora a intervenção humana na operação de tais estruturas esteja diminuindo, é notável a importância de equipes especializadas nos processos de

planejamento, controle, documentação, suporte e tomada de decisão, de forma que a atuação humana é tão importante para a obtenção de alta disponibilidade em sistemas quanto à qualidade da infraestrutura em si.

A tabela 5 exibe a relação entre as técnicas e ferramentas teóricas descritas no capítulo 4 e suas respectivas aplicações no sistemas GDS estudado:

Técnica / Ferramenta	Aplicação
Redundância de dados	<ul style="list-style-type: none"> • Armazenamento GDS em RAID 10; • Armazenamento de uso interno em RAID 1; • Armazenamento para sistemas externos SAN: RAID 5 e 10; • Armazenamento para sistemas externos NAS: RAID 6;
Redundância Geográfica	<ul style="list-style-type: none"> • Datacenters espalhados por diferentes países;
Clusters	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de pagamento usa bancos de dados com redundância através de <i>clusters</i> de <i>failover</i> para suportar transações de longo período.
Mainframes	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades de mainframe IBM TPF dedicadas para operações críticas, multiusuário, com alta taxa de transferência de dados e alta disponibilidade.
Computação em Nuvem	<ul style="list-style-type: none"> • Armazenamento em provedores em nuvem para distribuição de conteúdo a sistemas externos;
Virtualização	<ul style="list-style-type: none"> • Servidores virtuais e físicos trabalhando em conjunto para garantir processamento de conteúdo de interação com sistemas externos heterogêneos de maneira agnóstica;
Controle de Concorrência	<ul style="list-style-type: none"> • Servidores e sistema gerenciador de bancos de dados com suporte a controle de concorrência para garantir acesso multiusuário constante e assegurar os preceitos de ACID (Atomicidade, Consistência, Isolamento e Durabilidade).
Cache	<ul style="list-style-type: none"> • Servidores de cache são empregados em operações de leitura e busca de conteúdo GDS para mitigar acessos aos servidores e bancos de dados principais;
Segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Troca de dados com ambientes externos criptografada via SSL e PKI; • Servidores FTP para distribuição de conteúdo com camada extra de segurança (FTPS); • Mainframes IBM TPF empregam tecnologia proprietária IBM ZIP/390 para compactação e criptografia de dados. • Protocolo PGP adotado para criptografia e autenticação em e-mails;

Tabela 5 – Aplicação no estudo de caso das técnicas e ferramentas apresentadas.

6.1 Trabalhos Futuros

Recomenda-se para trabalhos futuros o estudo de ferramentas e técnicas adotadas para novos tipos de conteúdo de turismo que estão sendo paulatinamente introduzidos nos sistemas GDS através de novas padronizações e tecnologias, bem como a distribuição dos sistemas GDS em plataformas móveis que demandam uma infraestrutura tecnológica específica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1KEYDATA: **Data Modeling – Conceptual, Logical, And Physical Data Models**. 2014. Disponível em: <<http://www.1keydata.com/datawarehousing/data-modeling-levels.html>>. Acesso em 16 de Novembro de 2014.

ABOUTTRAVEL: **What is a GDS?**. 2015. Disponível em: <<http://businesstravel.about.com/od/faqs/g/Glossary-GDDS.htm>>. Acesso em 13 de Setembro de 2015.

Barker, R.; Massiglia, P.: **Storage Area Network Essentials: A Complete Guide to Understanding and Implementing SANs**. 3 p. Ed. Wiley, Nova Iorque, EUA, 2001.

BROADBERRY: **What is RAID?**. 2014. Disponível em: <http://www.broadberry.co.uk/explanations/RAID_level_0+1.htm>. Acesso em 26 de Setembro de 2014.

CENTRE OF AVIATION: **International Air Transport Association**. Disponível em: <<http://centreforaviation.com/profiles/industry-associations/iata>>. 2015. Acesso em 04 de Março de 2015.

CISCO: **High Availability in Campus Network Deployments**. 2014. Disponível em: <<http://www.cisco.com/networkers/nw04/presos/docs/RST-2514.pdf>>. Acesso em 04 de Agosto de 2014.

Coady, L. : **Guide to Clustering for Web Applications**. Disponível em: <<http://web.science.mq.edu.au/~lcoady/ClusteringGuide.htm>>. 2015. Acesso em 18 de Janeiro de 2015.

Coronel, C.; Rob, P.: **Database Systems, 6a edição**. 420 p. Ed. Thomson Course Technology, Stamford, EUA, 2004.

Date, C. J.: **An Introduction to Database Systems, 8a edição**. 11p. Ed. Addison-Wesley, Boston, EUA, 2003.

DB-ENGINES: **DB-Engines Ranking**. 2015. Disponível em <<http://db-engines.com/en/ranking>>. Acesso em 07 de Fevereiro de 2015.

DELOITTE: **Treading Water**. 2007. Disponível em: <https://www.deloitte.com/assets/Dcom-Shared%20Assets/Documents/dtt_tmt_securitysurvey2007.pdf>. Acesso em 15 de Agosto de 2014.

EDIBASICS: **EDIFACT**. 2015. Disponível em: <<http://www.edibasics.com/edi-resources/document-standards/edifact/>>. Acesso em 13 de Setembro de 2015.

ENTURST: **What is PKI?**. 2015. Disponível em: <<http://www.entrust.com/what-is-pki/>>. Acesso em 10 de Setembro de 2015.

FOXBUSINESS: **Trillion Dollar Travel Sector Set to Expand**. 2014. Disponível em: <<http://www.foxbusiness.com/industries/2014/05/08/travel-sector-to-expand-as-bookings-accelerate/>>. Acesso em 05 de Março de 2015.

IBM: **z/Transaction Processing Facility**. 2015. Disponível em: <<http://www-03.ibm.com/software/products/en/ztransaction-processing-facility>>. Acesso em 08 de Março de 2015.

IEEE: **High-Availability computer systems**. 2002. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=84898&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D84898>. Acesso em 04 de Agosto de 2014.

ITS: **Hamming Code**. 1996. Disponível em: <http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-017/_2528.htm>. Acesso em 15 de Setembro de 2015.

Laan, S.: **IT Infrastructure Architecture – Infrastructure Building Blocks and Concepts, 1a edição**. 155p. Ed. Lulu Press Inc, Raleigh, EUA, 2011.

Marshall, D.; Reynolds, W. A.; McCrory, D.: **VMWare® and Microsoft® Platforms in the Virtual Data Center**. 3 p. Ed. Auerbach Publications, Boca Raton, EUA, 2006.

MCAFEE: **The Economic Impact of Cybercrime and Cyber Espionage**. 2013. Disponível em: <<http://www.mcafee.com/br/resources/reports/rp-economic-impact-cybercrime.pdf>>. Acesso em 12 de Janeiro de 2015.

MICROSOFT: **Microsoft Security Bulletin Summary for November 2014**. 2014. Disponível em: <<https://technet.microsoft.com/en-us/library/security/ms14-nov.aspx>>. Acesso em 12 de Janeiro de 2015.

MSDN: **Fundamentos e Modelagem de Bancos de Dados Multidimensionais**. 2007. Disponível em: <<https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/cc518031.aspx>>. Acesso em 15 de Novembro de 2014.

NIST: **The NIST Definition of Cloud Computing**. 2011. Disponível em: <<http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>>. Acesso em 03 de Dezembro de 2014.

O'Brien, J. A.; Marakas, G. M.: **Management Information Systems with MISource, 8a edição.** 166 p. Ed McGrawHil, Nova Iorque, EUA, 2006.

ORACLE APPENDIX: **RAID Basics.** 2009. Disponível em: <https://docs.oracle.com/cd/E19168-01/817-3337-18/appa RAID_basic.html>. Acesso em 12 de Janeiro de 2015.

ORACLE SECURITY: **Oracle Critical Patch Update Advisory – October 2014.** 2014. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/topics/security/cpuoct2014-1972960.html>>. Acesso em 12 de Janeiro de 2015.

Özsu, M. T.; Valduriez, P.: **Principles of Distributed Database Systems, 3a edição.** 409 p. Ed. Springer, Nova Iorque, EUA, 2011.

Pfister, G. F.: **In Search of Clusters, 2a edição.** 72 p. Ed. Prentice Hall, Nova Jersey, EUA, 1998.

PTS: **Mean Time Between Failure: Explanation and Standards.** 2010. Disponível em: <<http://www.ptsdcs.com/wpp/APC/APC%20-%20Mean%20Time%20Between%20Failure%20Explanation%20and%20Standards.pdf>>. Acesso em 15 de Setembro de 2015.

QUORUM: **Quorum Disaster Recovery Report, Q1 2013.** 2013. Disponível em: <<http://www.quorum.net/news-events/press-releases/quorum-disaster-recovery-report-exposes-top-causes-of-downtime/>>. Acesso em 08 de Agosto de 2014.

Setzer, V. W.: **Dado, Informação, Conhecimento e Competência.** 2015. Disponível em: <<http://www.ime.usp.br/~vwsetzer/dado-info.html>>. Acesso em 12 de Junho de 2015.

Silberschatz, A.; Korth, H.F.; Sudarshan, S.: **Database System Concepts, 4ª edição.** 1-5 p. Ed. McGraw-Hill, Nova Iorque, EUA, 2001.

SIRMACSTRONGER: **Uma breve história dos bancos de dados.** 2014. Disponível em: <<http://www.sirmacstronger.eti.br/bd/introdbd.php>>. Acesso em 06 de Agosto de 2014.

Sommerville, I.: **Engenharia de Software, 8a edição.** 30-32 p. Ed. Pearson, São Paulo, 2011.

Stair, R. M.; Reynolds, G. W.: **Principles of Information Systems**, 9a edição. 102 p. Ed. Cengage Learning, Boston, EUA, 2010.

SYMANTEC: **SSL, TLS and Website Security**. 2015. Disponível em: <<https://www.symantec.com/page.jsp?id=ssl-information-center>>. Acesso em 10 Setembro de 2015.

W3: **DB: Browsing Object-Oriented Databases over the Web**. 2014. Disponível em: <<http://www.w3.org/Conferences/WWW4/Papers2/282/>>. Acesso em 10 Setembro de 2014.