
Marlon Henry Schweigert

*Análise de arquiteturas de microserviços empregados a jogos
MMORPG voltada a otimização do uso de recursos de
gerenciamento de mundos virtuais*

Joinville

2018

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Marlon Henry Schweigert

ANÁLISE DE ARQUITETURAS DE MICROSERVIÇOS
EMPREGADOS A JOGOS MMORPG VOLTADA A
OTIMIZAÇÃO DO USO DE RECURSOS DE
GERENCIAMENTO DE MUNDOS VIRTUAIS

Trabalho de conclusão de curso submetido à Universidade do Estado de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação

Charles Christian Miers
Orientador

Joinville, Dezembro de 2018

ANÁLISE DE ARQUITETURAS DE MICROSERVIÇOS EMPREGADOS A JOGOS MMORPG VOLTADA A OTIMIZAÇÃO DO USO DE RECURSOS DE GERENCIAMENTO DE MUNDOS VIRTUAIS

Marlon Henry Schweigert

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência da Computação Integral do CCT/UDESC.

Banca Examinadora

Charles Christian Miers - Doutor (orientador)

Débora Cabral Nazário - Doutora

Guilherme Piêgas Koslovski - Doutor

Agradecimientos

AGRADECIMENTOS

Resumo

A crescente popularização de jogos massivos demanda por novas abordagens tecnológicas a fim de suprir as necessidades dos usuários com menor custo de recursos computacionais. Projetar essas arquiteturas, do ponto de vista da rede, é algo pertinente e impactante para o sucesso desses jogos. O objetivo deste trabalho é propor uma análise voltada a identificar abordagens para otimização dos recursos computacionais consumidos pelas arquiteturas identificadas. Esse objetivo será atingido após realizar uma pesquisa referenciada, seguida de uma análise das principais arquiteturas e, preferencialmente, a execução de simulações usando uma nuvem computacional para auxiliar na identificação de gargalos de recursos. Os resultados obtidos auxiliarão provedores de serviços *Massively Multiplayer Online Role-Playing Game* (MMORPG) a reduzir gastos de manutenção e melhorar a qualidade de tais serviços.

Palavras-chaves: Arquitetura de microsserviços, Desenvolvimento de jogos, Rede de jogos, Jogos massivos, Otimização de recursos, Nuvens computacionais

Abstract

The increasing popularization of mass games demands new technological approaches in order to meet the needs of users with lower cost of computational resources. Designing these architectures, from the network point of view, is relevant and impacting to the success of these games. The objective of this work is to propose an analysis aimed at identifying approaches to optimize the computational resources consumed by the identified architectures. This objective will be achieved after conducting a referenced search, followed by an analysis of the main architectures and, preferably, the execution of simulations using a computational cloud to assist in the identification of resource bottlenecks. The results obtained will help service providers to reduce maintenance costs and improve the quality of such services.

Keywords: Cloud computing, Traffic characterization, Management network, Traffic monitoring system, Performance analysis, OpenStack.

Sumário

Lista de Figuras	6
Lista de Tabelas	8
Lista de Abreviaturas	9
1 Introdução	11
1.0.1 Ocorrências de serviços massivos	12
1.0.2 Arquiteturas de microserviços	13
2 Fundamentação Teórica	17
2.1 Jogos Eletrônicos	18
2.1.1 Árvore de gêneros de jogos eletrônicos	19
2.2 MMORPG	23
2.3 Jogabilidade de jogos MMORPG	24
2.4 Problemas em jogos MMORPG	28
2.4.1 Arquitetura de Clientes MMORPG	29
2.4.2 Arquitetura de Microserviços	32
2.4.3 Microserviços para jogos MMORPG	34
2.4.4 Arquitetura elaborada por Rudy	37
2.4.5 Arquitetura elaborada por Salz	40
2.4.6 Arquitetura elaborada por Willson	43
2.5 Definição do Problema	45
2.6 Trabalhos Relacionados	47
2.6.1 Huang et al. (2004)	47

2.6.2	Villamizar et al. (2016)	49
2.6.3	Suznjevic e Matijasevic (2012)	51
2.6.4	Análise dos trabalhos relacionados	53
2.7	Considerações parciais	54
3	Proposta para análise de arquiteturas MMORPG	55
3.1	Proposta	56
3.2	Critérios de análise	56
3.2.1	Ambiente Tridimenssional	57
3.2.2	Troca de mensagens locais e globais	57
3.2.3	Realizar ações no ambiente	57
3.3	Plano de testes	57
4	Considerações & Próximos passos	58
4.1	Cronograma	59
4.2	Etapas realizadas	59
4.3	Etapas a realizar	59
4.4	Execução do cronograma	60
	Referências	61

Lista de Figuras

1.1	Arquitetura Salz, utilizada no jogo Albion.	14
1.2	Arquitetura Rudy, utilizada no jogo Tibia.	14
1.3	Arquitetura Willson, utilizada no jogo Guild Wars 2.	15
2.1	Árvore de gêneros de jogos eletrônicos simplificada.	19
2.2	Sistema de autenticação para jogos	25
2.3	Área de interesse com base na proximidade de um jogador	25
2.4	Chat baseado em contexto de posicionamento, utilizando Distância Euclidiana	26
2.5	Personagens e os seus pontos de destino	27
2.6	Personagens, objetos e NPCs em no ambiente	27
2.7	Exemplo de Cliente MMORPG (Sandbox-Interactive Albion).	30
2.8	<i>Scene tree view</i> no motor gráfico Godot	30
2.9	Modelo de um cliente genérico.	31
2.10	Microserviços podem ter diferentes tecnologias	33
2.11	Microserviços são escaláveis	33
2.12	Cliente pode realizar requisições <i>Create Read Update Delete</i> (CRUD) ao serviço.	35
2.13	Diagrama de requisições entre serviço e cliente com operações CRUD e <i>Remote Procedure Call</i> (RPC) em uma arquitetura monolítico.	36
2.14	Diagrama de requisições entre serviço e cliente com operações CRUD e RPC em uma arquitetura de microserviços.	36
2.15	Diagrama de integração entre Cliente e Serviço, considerando a <i>engine</i> Unity3D.	37

2.16	Arquitetura Rudy completa.	38
2.17	Arquitetura Rudy completa.	39
2.18	Modelo de processos <i>Thread Pool</i>	39
2.19	Arquitetura Salz completa.	41
2.20	Modelo de paralelismo do serviço de jogo na arquitetura Salz.	42
2.21	Arquitetura Willson	43
2.22	Arquitetura de um jogo MMORPG genérico.	46
2.23	Arquitetura distribuída utilizando proxy.	48
2.24	Número de conexões no serviço pelo tempo decorrido.	48
2.25	Regressão linear comparado ao consumo de banda real do servidor.	49
2.26	Arquitetura monolítica web implementada na <i>Amazon Web Services</i> (AWS)	49
2.27	Arquitetura de microsserviços web implementada na AWS	50
2.28	Arquitetura de microsserviços web implementada na AWS utilizando a tecnologia <i>lambda</i>	50
2.29	Custo por um milhão de requisições em dólares utilizando diferentes arquiteturas sobre a AWS	51
2.30	Regressão levando em conta a complexidade das ações e contexto dos personagens	52

Lista de Tabelas

2.1	Tipos de comunicação e quantia de jogadores populares em gêneros	23
2.2	Complexidade da interação com o ambiente, por contexto da interação . .	51
2.3	Trabalhos relacionados por categoria	53
2.4	Trabalhos relacionados por recurso utilizado	54
2.5	Arquiteturas Analisadas	54

Lista de Abreviaturas

API	<i>Application Programming Interface</i>
AWS	<i>Amazon Web Services</i>
CRUD	<i>Create Read Update Delete</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
FPS	<i>First-person shooter</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
JWT	<i>JSON Web Token</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MMO	<i>Massively Multiplayer Online</i>
MMORPG	<i>Massively Multiplayer Online Role-Playing Game</i>
MOBA	<i>Multiplayer Online Battle Arena</i>
MVC	<i>Model-View-Controller</i>
NoSQL	<i>Not Only SQL</i>
NPCs	<i>Non-Playable Characters</i>
P2P	<i>Peer-to-Peer</i>
PvP	<i>Player vs Player</i>
PvNPCs	<i>Player vs Non-Playable Characters (NPCs)</i>
PaaS	<i>Platform as a Service</i>

POF *Point of View*

REST *Representational State Transfer*

RPC *Remote Procedure Call*

RPG *Role-Playing Game*

RTS *Real-Time Strategy*

SQL *Structured Query Language*

TCP *Transmission Control Protocol*

TPS *Third-person Shooter*

UDP *User Datagram Protocol*

VM *Virtual Machine*

WAN *Wide Area Network*

WS *Web Services*

XDR *External Data Representation*

XML *Extensible Markup Language*

1 Introdução

Os avanços tecnológicos de sistemas distribuídos estão permitindo que as pessoas utilizem serviços com volumes massivos de dados para aplicações sensíveis a latência. Essa situação é propícia à área de jogos massivos, e tem atraído pesquisadores para essa área de estudo (KIM; KIM; PARK, 2008; HUANG; YE; CHENG, 2004; SALDANA et al., 2012; BARRI; GINE; ROIG, 2011). O principal objetivo destas pesquisas é reduzir a carga e o impacto da latência para o usuário final nesses serviços. Reduzir a carga e impacto da latência em serviços para jogos massivos resulta em uma melhor experiência de jogabilidade aos usuários finais (HUANG; YE; CHENG, 2004).

Jogos MMORPG são utilizados como negócio viável e lucrativo, sendo que experiência de jogabilidade na qual o usuário final será submetido é um fator crítico para o sucesso. Tais jogos são de interpretação de papéis massivos. A principal característica desse estilo de jogo é a comunicação e representação virtual de um mundo fantasia no qual cada jogador pode interagir com objetos virtuais compartilhados ou tomar ações sobre outros jogadores em tempo real, tendo como principais objetivos a resolução de problemas conforme a sua regra de *design*, o desenvolvimento do personagem e a interação entre os jogadores (HANNA, 2015).

Um jogo MMORPG é arquitetado em duas partes (KIM; KIM; PARK, 2008):

- **Serviço:** É o macroserviço que implementa as regras de negócio e requisitos do jogo. O serviço disponibiliza uma interface com ações possíveis ao cliente sobre algum protocolo de rede.
- **Cliente:** Cliente é a aplicação que realizará as requisições com a interface do macroserviço, exibindo o estado de jogo de forma imersiva ao jogador.

A maioria dos jogos MMORPG disponíveis no mercado estão implementados sobre uma arquitetura que executa sobre diversos servidores (CLARKE-WILLSON, 2017), nos quais o desempenho destes servidores influencia tanto na experiência de jogabilidade do usuário final, quanto no custo de manutenção destes serviços (HUANG; YE; CHENG, 2004). Modelar um sistema de alto desempenho torna-se um trabalho essencial para

a satisfação do usuário final (HUANG; YE; CHENG, 2004). As ocorrências geradas por um sistema de baixo desempenho podem acarretar em frustração do usuário com o serviço e/ou aumento dos gastos com recurso computacional para manter o serviço. Uma ocorrência é qualquer tipo de mal funcionamento em uma aplicação, não necessariamente aparente ao usuário final (HUANG; YE; CHENG, 2004). Evitar ou eliminar as ocorrências durante o projeto e desenvolvimento das arquiteturas do serviço é um processo crítico para o bom funcionamento desses jogos.

1.0.1 Ocorrências de serviços massivos

Uma métrica popular para mensurar o desempenho de um serviço MMORPG é o número de conexões (HUANG; YE; CHENG, 2004) simultâneas suportadas. Em geral, caso o serviço ultrapasse o limite para o qual este foi projetado, diversas falhas de conexão, problemas de lentidão ou dessincronização com o cliente podem ocorrer. Neste contexto, as ocorrências comuns são (HUANG; YE; CHENG, 2004):

- **Longo tempo de resposta aos clientes:** implica em uma qualidade insatisfatória de jogabilidade ao usuário ou até mesmo impossibilitando o uso do serviço.
- **Dessincronização com os clientes:** realiza reversão na aplicação. Reversão é definida pela situação na qual uma requisição é solicitada ao servidor, um pré-processamento aparente é executado e essa requisição é negada, sendo necessário desfazer o pré-processamento aparente realizado ao cliente.
- **Problemas internos ao serviço:** podem estar relacionados a diversos outros erros internos de implementação ou a capacidade de recurso computacional (*e.g.*, sobrecarga no banco de dados, gerenciamento lento do espaço ou inconsistências dentro do jogo perante a regra de negócios).
- **Falha de conexão entre o cliente e os microserviços:** causa a negação de serviço ao usuário final.

Existem algumas causas comuns para essas as ocorrências descritas (HUANG; YE; CHENG, 2004):

- **Baixo poder computacional do servidor:** poder computacional baixo para a qualidade de experiência de jogabilidade do usuário final desejada.

- **Complexidade de algoritmos:** o serviço usa algoritmos de alta complexidade ou regras de negócios que demandam por um algoritmo complexo.
- **Limitado pela própria arquitetura:** está limitado diretamente pelo número de conexões, não suportando a carga recebida.

Tais ocorrências estão diretamente correlacionadas a carga a qual tais serviços estão submetidos e podem ser amenizadas utilizando técnicas de provisionamento de recursos e balanceamento de carga (HUANG; YE; CHENG, 2004), mas não suficiente para eliminar tais ocorrências.

A área de desenvolvimento web compartilha várias ocorrências comuns geradas por sobrecarga do serviço (KHAZAEI et al., 2016). Em desenvolvimento web é comum utilizar a abordagem de microsserviços para resolver o problema de sobrecarga, modularizando o funcionamento em módulos menores. Da mesma forma, faz sentido modularizar um serviço MMORPG em microsserviços para suportar cargas maiores e diminuir o custo de manutenção (VILLAMIZAR et al., 2016).

1.0.2 Arquiteturas de microsserviços

Entende-se por microsserviço as aplicações que executam operações menores de um macroserviço, da melhor forma possível (CLARKE-WILLSON, 2017). Microsserviços devem funcionar separadamente e de forma autônoma. Seu funcionamento deve ser desenhado para permitir alinhamentos de alta coesão e baixo acoplamento entre os demais microsserviços existentes em um macroserviço (ACEVEDO; JORGE; PATIÑO, 2017).

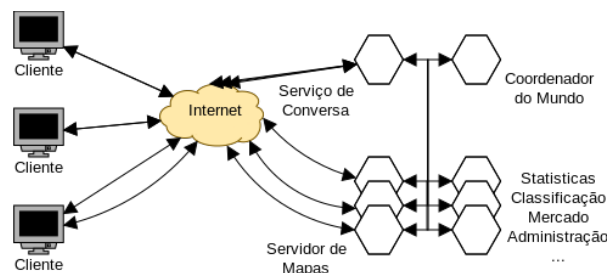
Arquiteturas de microsserviços iniciam uma nova linha de desenvolvimento de aplicações preparadas para executar sobre nuvens computacionais, promovendo maior flexibilidade, escalabilidade, gerenciamento e desempenho, sendo a principal escolha de arquitetura de grandes empresas como Amazon, Netflix e LinkedIn (KHAZAEI et al., 2016; VILLAMIZAR et al., 2016). Um microsserviço é definido pelas seguintes características (ACEVEDO; JORGE; PATIÑO, 2017):

- Deve possibilitar a implementação como uma peça individual do macroserviço.
- Deve funcionar individualmente.

- Cada serviço deve ter uma interface. Essa interface deve ser o suficiente para utilizar o microsserviço.
- A interface deve estar disponível na rede para chamada de processamento remoto.
- O serviço pode ser utilizado por qualquer linguagem de programação e/ou plataforma.
- O serviço deve executar com as dependências mínimas.
- Ao agregar vários microsserviços, o macroserviço resultante poderá prover funcionalidades complexas.

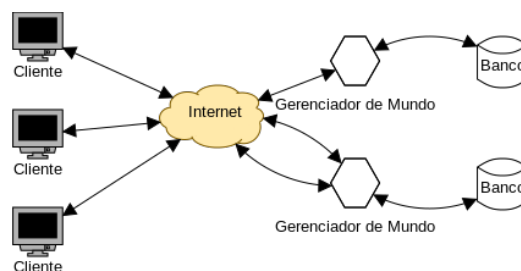
Alguns exemplos de arquitetura de microsserviços para jogos MMORPG são as arquiteturas apresentadas por Rudy (Figura 1.2), Salz (Figura 1.1) e a arquitetura escrita por Willson (Figura 1.3).

Figura 1.1: Arquitetura Salz, utilizada no jogo Albion.



Adaptado de: (SALZ, 2016a)

Figura 1.2: Arquitetura Rudy, utilizada no jogo Tibia.



Adaptado de: (RUDDY, 2011)

A arquitetura Rudy (Figura 1.2) é formada por um sistema cliente-servidor monolítico, na qual cada microsserviço individual gerencia um mundo mútuo dos demais gerenciadores de mundo (RUDDY, 2011). Essa arquitetura dificulta a escalabilidade, modificações e manutenção (ACEVEDO; JORGE; PATIÑO, 2017), além de segregar a comunidade de jogadores em servidores menores (RUDDY, 2011). Inicialmente essa arquitetura

Figura 1.3: Arquitetura Willson, utilizada no jogo Guild Wars 2.



Adaptado de: (CLARKE-WILLSON, 2017)

foi pensada para ser um sistema Cliente-Servidor monolítico. A arquitetura Rudy é uma arquitetura de microserviços adaptada de um serviço cliente-servidor (RUDDY, 2011). O jogo Tibia¹, operante sobre essa arquitetura, possui 68 mundos oficiais (Sendo 2 servidores de teste) (RUDDY, 2011), com capacidade para 1.050 clientes em cada servidor, na qual encontra-se restringido pelo gerenciador de mundo.

A arquitetura Salz (Figura 1.1) é formada por diversos microserviços (SALZ, 2016a). O principal objetivo dessa arquitetura é modularizar o serviço visando melhorar a escalabilidade. Ela é atualmente utilizada no jogo Albion Online². A arquitetura é planejada para funcionar conforme a seguinte especificação(SALZ, 2016a):

- O mundo é distribuído sobre os vários servidores de mapas. Cada microserviço gerencia uma região do mundo, denominado *chunk*.
- Jogadores mudam a conexão com os microserviços quando estão posicionados na borda de um *chunk*.
- A autorização de acesso aos microserviços é obtido pelo banco de dados.
- O coordenador do mundo é responsável por tudo que seja de escopo global (*e. g.*, Grupos, chat global, guildas, *etc.*).

A arquitetura Willson (Figura 1.3) é distribuída em diversos microserviços, assim como a arquitetura Salz (Figura 1.1). A diferença em comparação a arquitetura

¹Tibia: <http://www.tibia.com>

²Albion Online: <https://albiononline.com>

Salz (Figura 1.1) está na decomposição da arquitetura para outros microsserviços e a conexão direta entre esses microsserviços e o cliente. O principal objetivo dessa arquitetura é facilitar a manutenção e desempenho de reinicialização do macroserviço (CLARKE-WILLSON, 2017). Guild Wars 2³ é um jogo que executa sobre a arquitetura Willson. Ele é popularmente conhecido por ter seus serviços sempre ativos, visto que a arquitetura possibilita desativar pequenos pedaços do serviço para manutenções básicas e a sua reinicialização é rápida para manutenções críticas.

Conforme as arquiteturas de microsserviços dos jogos MMORPG aumentam para atender novas demandas do mercado, o seu custo computacional e complexidade de nós na nuvem computacional aumentam. Por esse motivo a análise e otimização dessas arquiteturas é importante para impactar em um melhor desempenho tanto ao usuário final, quanto a otimização de lucros das empresas que disponibilizam esses serviços.

³Guild Wars 2: <https://www.guildwars2.com>

2 Fundamentação Teórica

O termo *jogos eletrônicos* é amplamente difundido, entretanto as especificações, características e histórico deste termo não são de conhecimento popular. A Seção 2.1 trata a definição de jogo eletrônico, um levante histórico e o impacto da evolução do hardware no desenvolvimento dos jogos. Este termo será tomado como introdução para o conceito de gênero de jogo, abordado na Seção 2.1.1, na qual são abordados os principais gêneros, características e tecnologias (do ponto de vista de rede de computadores) que são comuns em cada gênero. Esta introdução acerca dos gêneros e suas tecnologias de comunicação busca trazer a importância do desempenho das arquiteturas dos jogos MMORPG e proporção da comunidade impactada caso haja falhas de funcionamento nessas arquiteturas.

Após definir a categoria de jogo abordado, a Seção 2.2 aborda sobre uma introdução ao impacto de mercado desse gênero, uma definição simplista e a divisão das camadas de aplicação que permeiam uma arquitetura para um jogo MMORPG. Entretanto, antes de abordar sobre as camadas da infraestrutura de uma arquitetura MMORPG, faz-se obrigatório o entendimento sobre jogabilidade (Seção 2.3) e problemas relativos a rede relevantes a este gênero (Seção 2.4).

Os conceitos de Cliente (Seção 2.4.1) e Serviço (Seção 2.4.2) são abordados a fim de introduzir conceitos de arquiteturas comuns nestes serviços. O objetivo destas seções é referenciar diversas tecnologias e técnicas utilizadas nesses sistemas a fim de permitir o desenvolvimento de uma arquitetura de microserviços específica a jogos MMORPG. Por fim, torna-se obrigatório a apresentação de trabalhos relacionados (Seção 2.6) a arquitetura de jogos MMORPG desenvolvidos de forma distribuída ou sobre uma arquitetura de microserviços. Esta seção em específico aborda exemplos de métodos e métricas utilizadas para mensurar o desempenho de tais arquiteturas, realizando por fim uma análise destes trabalhos (Seção 2.6.4).

2.1 Jogos Eletrônicos

O primeiro sistema de entretenimento interativo foi construído em 1947, utilizando como base de exibição um tubo de raios catódicos. Essa criação foi patenteada em janeiro de 1948, datando então o início dos jogos eletrônicos (ADAMS, 2014; GOLDSMITH, 1947).

O jogo eletrônico, ou entretenimento interativo, é uma atividade intelectual que integra um sistema de regras, na qual utiliza tal sistema a fim de definir seus objetivos ou pontuação por meio de um computador com o objetivo de despertar alguma emoção ao jogador (HANNA, 2015). Os jogos eletrônicos são aplicações convencionais, que executam sobre algum sistema operacional ou hardware apropriado a este fim. O sistema operacional, hardware ou base de execução da aplicação gráfica define a sua plataforma (*e.g.*, GNU/Linux, MS-Windows, Sony PS4, MS-XBox, web, etc.) (ADAMS, 2006).

Inicialmente os jogos eram implementados de forma simples por conta da limitação de hardware das plataformas dos anos 80. As implementações de jogos para *videogames* eram projetadas diretamente para algum hardware proprietário, sem sistema operacional, por muitas vezes sem utilizar comunicação por rede ou armazenamento em memória secundária (ROLLINGS; ADAMS, 2003). Além de diversas plataformas não terem acesso a rede, os serviços para jogos eram inviabilizados pelo custo de manutenção e pela ausência de demanda a qual teriam os requisitos mínimos para jogar (ADAMS, 2006). Na década de 80, o *videogame* Atari foi uma plataforma popular, vendendo 30.000 unidades em seu lançamento contra apenas 2.000 unidades do seu concorrente Intellivision (YARUSSO, 2006).

O crescente recurso computacional disponível em computadores pessoais e *videogames* após os anos 90 permitiu que desenvolvedores criassem novos estilos de jogos que utilizavam de hardware mais específico (ADAMS, 2006). Dentre esses hardwares, iniciou-se o uso da rede de computadores para proporcionar a interação entre jogadores em equipamentos distintas (STATISTA, 2018a). Jogos como EA Habitat¹, CipSoft Tibia² e Jajex Runescape³ começam a utilizar, como requisito obrigatório do jogo, a conexão com a Internet para interagir em um mundo compartilhado com outros jogadores. Tais jogos popularizaram um novo gênero, trazendo inovação tecnológica como complemento a sua jogabilidade e desafio proposto ao jogar com milhares de jogadores (GUINNESS,

¹EA Habitat: <http://www.mobygames.com/game/c64/habitat/credits>

²CipSoft Tibia: <http://www.tibia.com/>

³Jajex Runescape: <https://www.runescape.com>

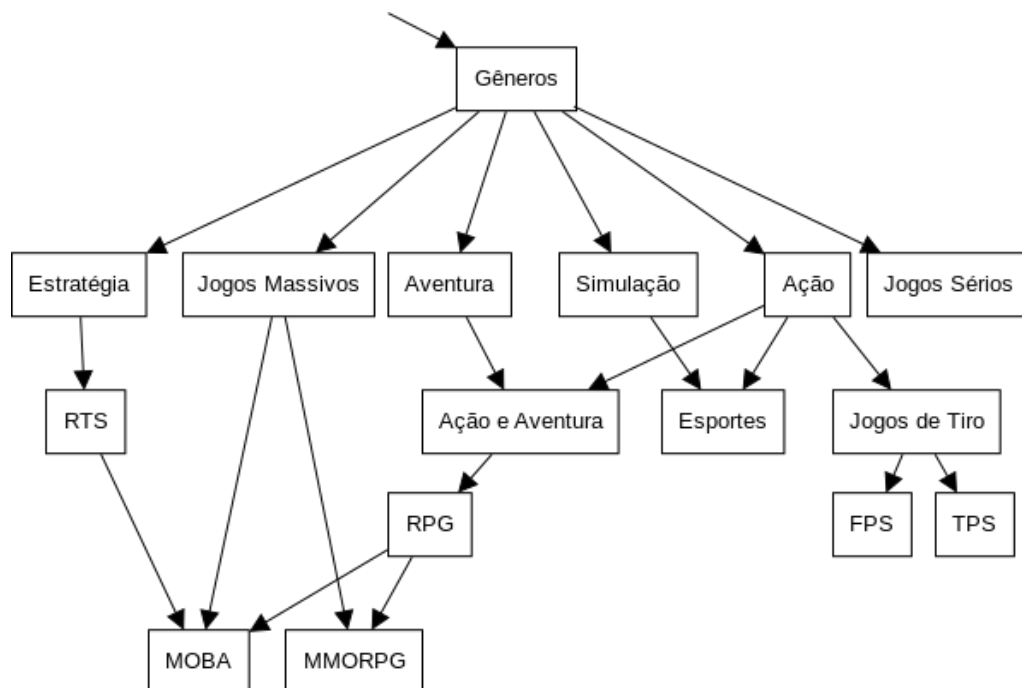
2013; HUANG; YE; CHENG, 2004), criando o gênero de jogos *Massively Multiplayer Online* (MMO) na árvore de gêneros.

Nesse sentido, as redes de computadores serviram como impulsionador para várias categorias de jogos, que antes não eram possíveis por conta da limitação de comunicação entre computadores. Sendo assim, torna-se necessário ter uma visão geral das principais categorias de jogos eletrônicos.

2.1.1 Árvore de gêneros de jogos eletrônicos

A classificação por gênero é uma ferramenta tradicional para auxiliar a fácil identificação de características de alguma literatura, arte e outras mídias. Dentro de jogos eletrônicos, o gênero permite que jogadores comprem jogos com características conforme o seu interesse (CLARKE; LEE; CLARK, 2015). A árvore pode ser visualizada pelo diagrama na Figura 2.1.

Figura 2.1: Árvore de gêneros de jogos eletrônicos simplificada.



Adaptado de: (ADAMS, 2006)

Um gênero de jogo eletrônico é uma categoria específica para agrupar estilos de jogabilidade parecidos. Porém, os gêneros não definem de forma explícita o conteúdo expresso em algum jogo eletrônico, mas sim um desafio comum presente no jogo analisado (ADAMS, 2006; HANNA, 2015). O contexto breve de cada gênero é (Figura 2.1):

- Estratégia: São focados em uma jogabilidade que exija habilidades de raciocínio e/ou gerenciamento de recurso. Neste gênero, o jogador tem uma boa visualização do mundo, controlando indiretamente as suas tropas disponíveis (ROLLINGS; ADAMS, 2003). É comum encontrar jogos que disponibilizam algum modo de competição entre jogadores usando *Local Area Network* (LAN), *Wide Area Network* (WAN) ou *Peer-to-Peer* (P2P) (ADAMS, 2006).
 - *Real-Time Strategy* (RTS): Utiliza as características de um jogo de estratégia, porém esse subgênero indica que as ações dos jogadores são concorrentes. É comum encontrar modos de jogo competitivo utilizando LAN neste gênero (ADAMS, 2006).
- MMO: Preza pela interação com outros jogadores em um mundo compartilhado (ADAMS, 2006). SecondLife⁴ é um jogo focado na interação social, com artifícios de comércio e relacionamentos em um mundo fictício criado pela comunidade (KLEINA, 2018). Em grande parte, esses jogos utilizam tecnologia WAN e *Web Services* (WS).
 - *Multiplayer Online Battle Arena* (MOBA): Coloca um número fixo de jogadores separados em dois times, no qual o time com maior estratégia de posicionamento e gerenciamento de recursos em equipe ganha a partida. Jogos MOBA perdem algumas características breves do gênero *Role-Playing Game* (RPG), deixando de lado a interpretação e contextualização de um mundo, fixando-se somente em um combate estratégico e momentâneo (distribuído em partidas atômicas) entre as equipes, carregando consigo somente as características de comércio e comunidade dos jogos MMO (ADAMS, 2006). Tal subgênero é popularmente conhecido pelos títulos Blizzard Dota 2⁵ e Riot League of Legends⁶. O jogo League of Legends obteve 100 milhões de usuários ativos em 2016 (STATISTA, 2018c), além de ter um torneio nacional e mundial (SPORTV, 2018). É popular nesse subgênero utilizar tecnologias como LAN, P2P e WAN.
 - MMORPG: Herda características dos gêneros ação e aventura, RPG, e MMO diretamente. Nesse gênero se faz permitido interações em um mundo na qual outros jogadores também estão jogando, na qual a interação entre outros jogadores (herdado dos jogos MMO), com o mundo (herdado dos jogos de ação

⁴SecondLife: <https://www.secondlife.com/>

⁵Blizzard Dota 2: <http://br.dota2.com/>

⁶Riot League of Legends: <https://br.leagueoflegends.com/pt/>

e aventura) e com objetivos guiados por NPCs (herdados de jogos RPG) se faz como desafio e objetivo do jogo (ADAMS, 2006). Um título popular para esse gênero é o jogo Word of Warcraft⁷. A grande parte dos jogos MMORPG utilizam tecnologia WAN.

- Aventura: Caracterizado por desafios envolvendo ações com diversos NPCs ou com o ambiente para solucionar desafios (ADAMS, 2006). A grande parte desses jogos utilizam arquiteturas WAN, P2P ou LAN.
 - Ação e Aventura: Herda características da categoria de Ação e Aventura. O jogador é imerso em um mundo para interagir com o ambiente e com NPCs, além de se preocupar com a movimentação no cenário (ADAMS, 2006). Um título popularmente conhecido desse gênero é a série de jogos nomeada Nintendo The Legend of Zelda⁸. É comum nesses jogos encontrar tecnologia LAN ou P2P para modo de jogo cooperativo.
- Simulação: Caracterizados por abordar temas da realidade. São comuns jogos de construção e gerenciamento, animais de estimação, vida social e simulação de veículos (ADAMS, 2006). A grande parte desses jogos não permite a interação entre os demais jogadores. É popular encontrar serviços como *ranking*, loja e janela de notícias utilizando WS.
 - Esportes: Trata somente da simulação de esportes, nos quais o(s) time(s) podem ser controlados tanto por uma inteligência artificial quanto por jogadores online (ADAMS, 2006). O jogo FIFA⁹ é um título popular nesse segmento. É comum encontrar tecnologias P2P e LAN.
- Ação: Preza pela habilidade de coordenação motora e reflexos do jogador, para tomar uma atitude a fim de passar seus objetivos no cenário. Nesse gênero os objetivos são passar por uma série de desafios que incluam movimentação e posicionamento de outros objetos no cenário (ADAMS, 2006). É comum encontrar tecnologias LAN, P2P, WAN e WS.
 - Jogos de Tiro: Usa um número finito de armas para executar ações a distância. O posicionamento, movimentação estratégia e mira são fatores de desafio ao

⁷Word of Warcraft: <https://worldofwarcraft.com/pt-br/>

⁸Nintendo The Legend of Zelda: <https://www.zelda.com/>

⁹FIFA: <https://www.easports.com/br/fifa>

jogador nesse gênero (ADAMS, 2006). É comum encontrar tecnologias LAN, P2P ou WAN.

* *First-person shooter* (FPS): Utiliza o método de gravação conhecido como *Point of View* (POF). Nesse método, o modo de exibição do mundo é dado como a visão de um personagem do jogo, na qual o jogador tem visão pelo próprio personagem (HANNA, 2015; ADAMS, 2006). É comum encontrar tecnologias LAN, P2P ou WAN.

* *Third-person Shooter* (TPS): Diferente dos jogos FPS, os jogos TPS utilizam câmeras soltas no cenário no qual o jogador é visível na cena exibida (HANNA, 2015; ADAMS, 2006). É comum encontrar tecnologias LAN, P2P ou WAN.

- Jogos sérios: Tem como objetivo transmitir um conteúdo educacional (HANNA, 2015). O jogo Sherlock Dengue 8 (BUCHINGER, 2014) é um título desenvolvido com o objetivo de conscientizar os problemas e a prevenção da Dengue no Brasil. É comum encontrar tecnologias LAN, P2P, WAN e WS.

A árvore de gêneros guia ora aos usuários finais para classificar jogos que lhe agradem ora desenvolvedores a fim de seguir tendências de mercado pelas características do gênero. Dessa forma, encontra-se um padrão nos jogos, na qual também guiam o desenvolvimento das arquiteturas de tais jogos (HANNA, 2015).

Dentre vários gêneros, alguns utilizam popularmente algumas tecnologias de rede. A Tabela 2.1 indica a correlação de tecnologias de rede comuns nos gêneros, além de trazer a correlação de número de jogadores por gênero de jogo. Essa correlação é importante para identificar as características de jogabilidade referentes a jogabilidade com multijogadores (HANNA, 2015).

Dentre todos os jogos, o gênero MMORPG é o mais impactado pela quantidade de jogadores (KIM; KIM; PARK, 2008), visível na Tabela 2.1. Nesse sentido, as arquiteturas do serviço e cliente se tornam um ponto crítico no desenvolvimento a fim de suportar a carga necessária ao desenho do jogo. Por esse motivo, a escolha por abordar o gênero MMORPG se torna interessante do ponto de vista computacional, a fim de analisar o comportamento e consumo de jogos MMORPG, visando obter características destas arquiteturas.

Tabela 2.1: Tipos de comunicação e quantia de jogadores populares em gêneros

	LAN	P2P	WAN	WS	Jogadores
ESTRATÉGIA	✓	✓	✓		até 10 (MICROSOFT, 2005)
RTS	✓				até 10 (BLIZZARD, 2010)
MOBA	✓	✓	✓		até 10 (RIOT, 2009)
MMO			✓	✓	mais que 1000 (JAJEX, 2018)
MMORPG			✓	✓	mais que 1000 (JAJEX, 2018)
AVENTURA	✓	✓	✓		até 100 (MOJANG, 2009)
AÇÃO	✓	✓	✓	✓	até 10 (MDHR, 2017)
AÇÃO E AVENTURA	✓	✓	✓		até 10 (MDHR, 2017)
SIMULAÇÃO				✓	até 10 (SCS, 2016)
ESPORTES	✓	✓			até 10 (EA, 2018)
FPS	✓	✓	✓		até 100 (DICE, 2013)
TPS	✓	✓	✓		até 100 (DICE, 2013)
JOGOS SÉRIOS	✓	✓	✓	✓	até 10 (BUCHINGER, 2014)

Fonte: O próprio autor.

2.2 MMORPG

Jogos MMORPG são utilizados como negócio viável e lucrativo, sendo que a experiência de jogabilidade na qual o usuário final será submetido é um fator crítico para o sucesso. O mercado de jogos MMORPG vem crescendo desde 2012 (BILTON, 2011), sendo no ano de 2017 um dos mais lucrativos (STATISTA, 2018b). A projeção deste mercado para 2018 é de mais de 30 bilhões de dólares americanos com esta categoria de jogos (STATISTA, 2017), porém foi ultrapassado no ano de 2017 com 30,7 bilhões de dólares (STATISTA, 2018b).

MMORPG são jogos de interpretação de papéis massivos, originados dos gêneros RPG. A principal característica desse estilo de jogo é a comunicação e representação virtual de um mundo fantasia no qual cada jogador pode interagir com objetos virtuais compartilhados ou tomar ações sobre outros jogadores em tempo real, tendo como principais objetivos a resolução de problemas conforme a sua regra de *design*, o desenvolvimento do personagem e a interação entre os jogadores (HANNA, 2015).

Um jogo MMORPG é arquitetado em duas partes (KIM; KIM; PARK, 2008):

- **Cliente:** Aplicação que realiza as requisições com a interface do serviço, exibindo o estado de jogo de forma imersiva ao jogador. Este tema é melhor abordado na Seção 2.4.1.
- **Servidor:** Conjunto de computadores que recebe as requisições do cliente a fim de

ser processadas pelo Serviço.

- **Serviço:** Implementa as regras de negócio e requisitos do jogo. O serviço disponibiliza uma interface com ações possíveis ao cliente sobre algum protocolo de rede. Este tema é melhor abordado na Seção 2.4.2.

Jogos MMORPG trabalham como serviço. Por este motivo o modelo de negócios de tais jogos, do ponto de vista de redes de computador, são suscetíveis a perda financeira em casos de negação de serviço (HUANG; YE; CHENG, 2004). A maioria dos jogos MMORPG disponíveis no mercado estão implementados sobre uma arquitetura que executa sobre diversos servidores (CLARKE-WILLSON, 2017), nos quais o desempenho destes servidores influencia tanto na experiência de jogabilidade do usuário final, quanto no custo de manutenção destes serviços (HUANG; YE; CHENG, 2004). Por sua vez, o Cliente é implementado em algum ambiente convencional a jogos, como motores gráficos, bibliotecas gráficas ou sobre alguma outra plataforma, como web. Nesse sentido, torna-se necessário descrever as características de jogabilidade de jogos MMORPG a fim de melhor compreender o funcionamento da arquitetura de um cliente e de um serviço para jogos MMORPG.

2.3 Jogabilidade de jogos MMORPG

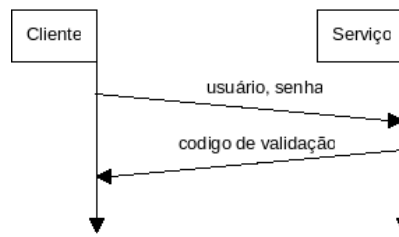
É comum em jogos MMORPG ter sistemas com funcionalidades parecidas. Por esse motivo é fácil identificar os sistemas em jogos do mercado após a compreensão dos sistemas identificados. Deste modo, torna-se necessário definir algumas funcionalidades básicas que estão dentro do contexto de jogabilidade de jogos MMORPG para melhor compreensão de sua arquitetura em seções futuras.

O sistema de autenticação é o sistema que geralmente inicia o cliente de algum jogo MMORPG (SALZ, 2016a; RUDDY, 2011). Este sistema é implementado via protocolo web, a fim de disponibilizar um código para validar todas as futuras ações da seção do usuário. Ele pode ser visualizado de forma macro na Figura 2.2.

O sistema de autenticação visualizado na Figura 2.2 é o principal, porém não o único. O jogo Realm of the Mad God¹⁰ é um exemplo na qual não exige autenticação

¹⁰Realm of the Mad God: <https://www.realmofthemadgod.com/>

Figura 2.2: Sistema de autenticação para jogos



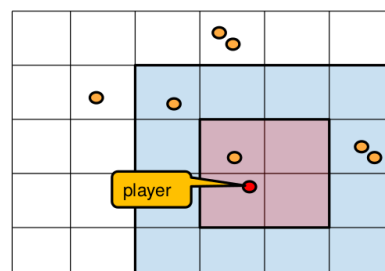
Fonte: Adaptado de (THOMPSON, 2008)

do usuário, entretanto ele não armazena o progresso do jogador caso o jogador não efetue a autenticação.

Esse método de autenticação é definido pela RFC7519 (JONES et al., 2015), com a tecnologia *JSON Web Token* (JWT). O código de validação repassado é auditado em qualquer serviço pertencente ao jogo, visto que ele foi assinado pelo sistema de autenticação do serviço (IKEM, 2018).

Após a autenticação, é comum existir um sistema para seleção de personagem, caso o jogo seja desenhado com este objetivo. Efetuada a seleção ou criação de um personagem, este será imerso no mundo compartilhado do jogo com os demais jogadores (RUDDY, 2011). Nos jogos MMORPG é comum a restrição da visão do personagem (Figura 2.3), ora pelas características de jogabilidade do gênero MMORPG ora por motivos de desempenho e otimização. Como o jogador não precisa obter dados de regiões que não estão em sua área de interesse, não há necessidade da transmissão de informações dos objetos que estão fora desse contexto (SALZ, 2016a).

Figura 2.3: Área de interesse com base na proximidade de um jogador



Fonte: (SALZ, 2016a)

Esse caso pode ser visualizado na Figura 2.3, na qual o personagem selecionado (destacado em vermelho) tem uma área de interesse de baixa distância e uma área de interesse de longa distância (SALZ, 2016a), sendo que o jogador não tem informações dos demais objetos e jogadores fora de sua área de interesse. Esta característica impede

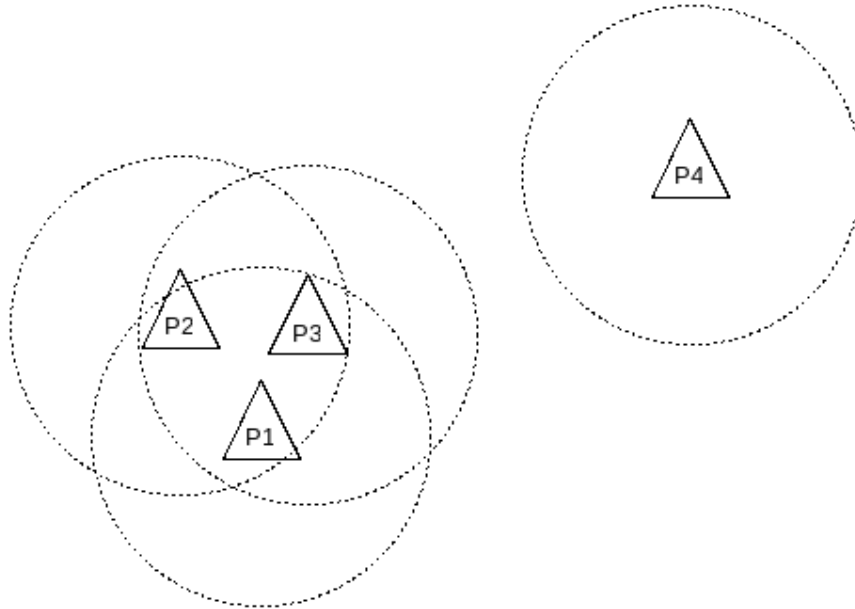
trapaças (visto que o cliente não tem informações que só estão contidas no serviço) e reduz a frequência de atualização a cada cliente (SALZ, 2016a).

Após o jogador estar com o controle do personagem no ambiente, é comum em tais jogos que ele possa realizar determinadas ações. Nesse sentido, algumas ações comuns dentro do ambiente de um jogo MMORPG (JON, 2010):

- Enviar e receber mensagem no chat;
- Mover-se pelo ambiente;
- Interagir com outros jogadores, NPCs ou objetos fixos do ambiente; e
- Obter itens do ambiente.

O envio e recepção de mensagens do chat é dado com o contexto do posicionamento do personagem (SALZ, 2016a), visível na Figura 2.4. Somente outros personagens dentro de uma distância podem receber alguma mensagem emitida pelo jogador P_n .

Figura 2.4: Chat baseado em contexto de posicionamento, utilizando Distância Euclidiana



Fonte: Adaptado de (SALZ, 2016a)

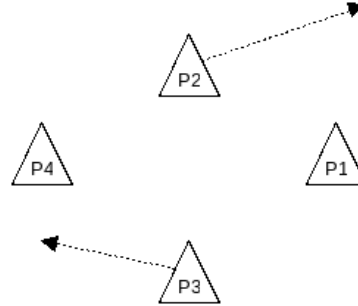
Essa distância (Figura 2.4) pode ser calculada utilizando Distância Euclidiana (DEZA, 2009), na qual a distância entre dois personagens podem ser calculadas pela equação $d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}$. Para diminuir a complexidade das comparações, a fim de decidir quais personagens P_n devem receber a mensagem, é comum utilizar técnicas de divisão de área utilizando algoritmos como *Quadtree* ou *Octree* (LENGYEL, 2011),

subdividindo os quadrantes de uma região do ambiente do jogo a fim de facilitar a consulta de quais personagens estão em determinada área deste ambiente.

Nesse sentido, a Figura 2.4 mostra a interseção entre o raio de quatro personagens. Nesse exemplo, mostra-se visível que as mensagens de P_1 devem ser visíveis a P_2 e P_3 , mas não a P_4 , caso seja utilizado a Distância Euclidiana como regra de distância.

O sistema de movimento pelo ambiente do jogo possibilita que cada jogador movimente o seu personagem pelo ambiente a fim de explorá-lo. Dessa maneira, este é um sistema crítico para um jogo MMORPG, visto que o posicionamento de objetos serão utilizados para diversas consultas de proximidade, além de necessitar uma frequência de atualização contante pela qualidade da jogabilidade (SALZ, 2016a).

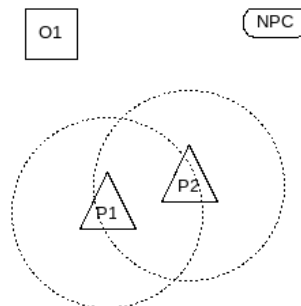
Figura 2.5: Personagens e os seus pontos de destino



Fonte: O próprio autor.

A interação com o ambiente, itens, NPCs e outros jogadores também são afetados pela área de interesse, na qual o personagem terá um raio limitante para cada tipo de interação no ambiente. Um exemplo de ambiente com personagens (P_1 e P_2), objetos (O_1) e NPCs (NPC somente) pode ser visualizado na Figura 2.6 (SALZ, 2016a).

Figura 2.6: Personagens, objetos e NPCs em no ambiente



Fonte: O próprio autor.

Essas operações precisam de desempenho para não causar frustração ao jogador final (HOWARD et al., 2014). Nesse sentido, torna-se necessário conhecer os problemas computacionais conhecidos com relação aos serviços de jogos MMORPG.

2.4 Problemas em jogos MMORPG

Uma métrica popular para mensurar o desempenho de um serviço MMORPG é o número de conexões (HUANG; YE; CHENG, 2004) simultâneas suportadas. Em geral, caso o serviço ultrapasse o limite para o qual este foi projetado, diversas falhas de conexão, problemas de lentidão ou dessincronização com o cliente podem ocorrer. Neste contexto, as ocorrências comuns são (HUANG; YE; CHENG, 2004):

- **Longo tempo de resposta aos clientes:** implica em uma qualidade insatisfatória de jogabilidade ao usuário ou até mesmo impossibilitando o uso do serviço.
- **Dessincronização com os clientes:** realiza reversão na aplicação. Reversão é definida pela situação na qual uma requisição é solicitada ao servidor, um pré-processamento aparente é executado e essa requisição é negada, sendo necessário desfazer o pré-processamento aparente realizado ao cliente.
- **Problemas internos ao serviço:** podem estar relacionados a diversos outros erros internos de implementação ou a capacidade de recurso computacional (*e.g.*, sobrecarga no banco de dados, gerenciamento lento do espaço ou inconsistências dentro do jogo perante a regra de negócios).
- **Falha de conexão entre o cliente e o serviço:** causa a negação de serviço ao usuário final.

Existem algumas causas comuns para essas as ocorrências descritas (HUANG; YE; CHENG, 2004):

- **Baixo poder computacional do servidor:** poder computacional baixo para a qualidade de experiência de jogabilidade do usuário final desejada.
- **Complexidade de algoritmos:** o serviço usa algoritmos de alta complexidade ou regras de negócios que demandam por um algoritmo complexo.
- **Limitado pela própria arquitetura:** está limitado diretamente pelo número de conexões, não suportando a carga recebida.
- **Limitado pela rede:** a quantidade de requisições não é suportada pelo meio físico na qual a arquitetura está implantada.

Tais ocorrências estão diretamente correlacionadas a carga a qual tais serviços estão submetidos e podem ser amenizadas utilizando técnicas de provisionamento de recursos e balanceamento de carga (HUANG; YE; CHENG, 2004), mas não suficiente para eliminar tais ocorrências.

A área de desenvolvimento web compartilha várias ocorrências comuns geradas por sobrecarga do serviço (KHAZAEI et al., 2016). Em desenvolvimento web é comum utilizar a abordagem de microsserviços para resolver o problema de sobrecarga, modularizando o funcionamento em módulos menores. Da mesma forma, faz sentido modularizar um serviço MMORPG em microsserviços para suportar cargas maiores e diminuir o custo de manutenção (VILLAMIZAR et al., 2016).

Do ponto de vista da arquitetura de computadores, as operações existentes em um jogo MMORPG seguem um padrão de interação com o mundo, criar, excluir ou manipular objetos deste mundo. Para suprir o desenvolvimento de tais sistemas, se faz necessário compreender os padrões de desenvolvimento de tais arquiteturas na qual suprem as operações básicas de interação com o mundo.

2.4.1 Arquitetura de Clientes MMORPG

A arquitetura de um cliente MMORPG é um aspecto fundamental, mas não único, para o sucesso de um jogo deste gênero. O seu funcionamento é totalmente visível ao usuário final e tem o principal objetivo de exibir o estado do mundo de forma gráfica ao usuário (SALZ, 2016a). Um exemplo de cliente MMORPG é o jogo Sandbox-Interactive Albion¹¹, que pode ser visualizado na Figura 2.7.

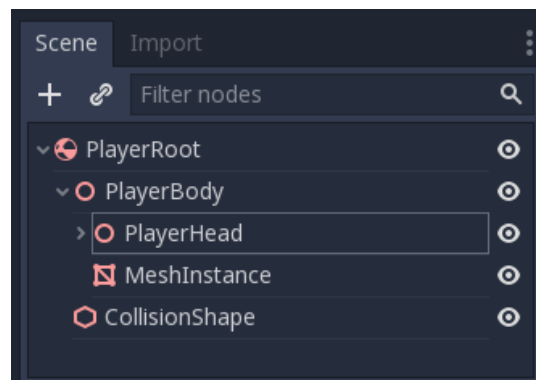
Do ponto de vista de computação gráfica, um cenário 3D pode ser visualizado como uma árvore. Utilizar árvores para descrever um cenário ajuda tanto no formado de armazenamento em disco para leitura facilitada (*e.g.*, *JavaScript Object Notation* (JSON), *Extensible Markup Language* (XML), etc.), operações de inserção e exclusão, organização do projeto e redução da complexidade utilizando transformações lineares em sistemas gráficos como *OpenGL* e *DirectX* (LENGYEL, 2011). Esse modelo é amplamente utilizado em motores gráficos, na qual pode ser encontrado em motores gráficos populares como *Godot*, *Unity3D* e *Unreal 3*. A Figura 2.8 ilustra um exemplo, na qual exibe a árvore de um cenário na *Integrated Development Environment* (IDE) do motor gráfico *Godot*.

¹¹Sandbox-Interactive Albion: <https://albiononline.com/en/home>

Figura 2.7: Exemplo de Cliente MMORPG (Sandbox-Interactive Albion).



Fonte: (SALZ, 2016a)

Figura 2.8: *Scene tree view* no motor gráfico Godot

Fonte: O próprio autor.

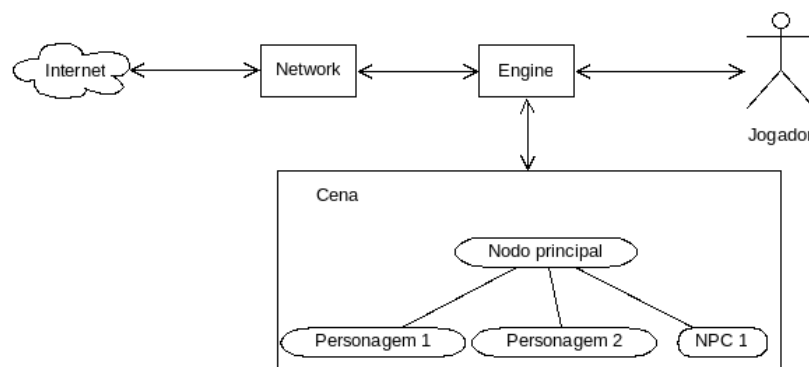
Dentro dessa árvore, cada nodo tem uma funcionalidade específica. Essas funcionalidades são específicas a cada motor gráfico, podendo existir nodos específicos a física, renderização ou controles (LINIETSKY, 2018). Em um jogo MMORPG, o serviço será responsável por enviar atualizações dos parâmetros aos nodos frequentemente e o cliente será responsável por realizar chamadas remotas a fim de descrever as ações a qual o jogador aplicou sobre seu personagem (Exit Games, 2017).

Do ponto de vista da rede de computadores, a arquitetura de um cliente de jogo MMORPG deve suportar consultas e chamadas de métodos remotos em um serviço (SALZ, 2016a). Um cliente para um jogo MMORPG pode seguir o estilo de arquitetura *Representational State Transfer* (REST), porém não obrigatoriamente sobre o protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), mas sim usando algum protocolo

RPC sobre o protocolo *Transmission Control Protocol* (TCP) ou *User Datagram Protocol* (UDP) (SALZ, 2016a; CLARKE-WILLSON, 2017). Essa comunicação é realizada pelo módulo *Network*, presente em um cliente MMORPG.

O módulo de *Network* implementado em um cliente de jogo MMORPG é responsável por realizar as requisições RPC conforme as ações solicitadas pelo jogador ao serviço, além de aplicar os parâmetros na *Scene Tree* ou chamar métodos remotos no cliente por ordens do serviço. E módulo possui uma *Thread* dedicada ao seu funcionamento (SALZ, 2016a). Ele pode ser observado na Figura 2.9.

Figura 2.9: Modelo de um cliente genérico.



Adaptado de: (ZELESKO; CHERITON, 1996; FARBER, 2002)

A Figura 2.9 refere-se a uma visão macro de um cliente MMORPG. Na Figura 2.9 é possível ver o ator *player* o qual pode executar ações sobre seu personagem por meio da *engine*. Por sua vez, existe uma entrada de dados a mais comparado a esquemas de jogos *offline*. Neste caso, o módulo *Network* será também uma entrada de dados, a qual poderá manipular a cena do motor gráfico (FARBER, 2002).

Para facilitar o desenvolvimento, a aplicação de cliente é dividida em diversos módulos, entretanto são relevantes ao atual trabalho (SALZ, 2016a):

- **Engine:** É o conjunto que aplicará regras sobre os objetos na *Scene Tree*, receberá entradas do usuário e exibirá a *Scene Tree* de forma imersiva. Unity3D¹² e GodotEngine¹³ são exemplos de *engines*.
- **Network:** É o módulo responsável pela comunicação entre o serviço e o cliente, a fim de requisitar chamadas de métodos ou obter informações do servidor para sincronizar os estados de jogo.

¹²Unity3D: <https://www.unity3d.com>

¹³GodotEngine: <https://www.godotengine.org>

Utilizando esses dois módulos é possível sincronizar os estados de jogo e exibi-los ao jogador. Entretanto, faz-se necessário compreender o funcionamento do serviço a fim de escolher um protocolo padrão para essa sincronização.

2.4.2 Arquitetura de Microsserviços

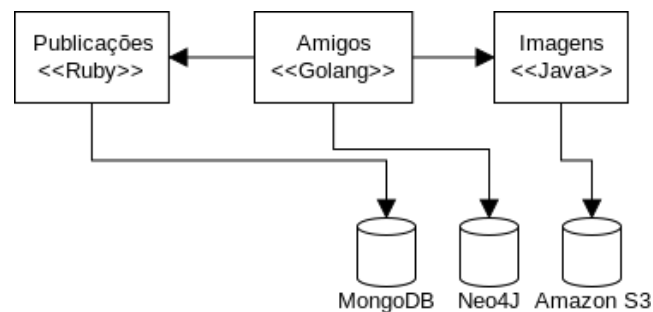
Entende-se por microsserviço, aplicações que executam operações menores de um macroserviço, da melhor forma possível (CLARKE-WILLSON, 2017; NEWMAN, 2015). O objetivo de uma arquitetura de microsserviços é funcionar separadamente de forma autônoma, contendo baixo acoplamento (NEWMAN, 2015). Seu funcionamento deve ser desenhado para permitir alinhamentos de alta coesão e baixo acoplamento entre os demais microsserviços existentes em um macroserviço (ACEVEDO; JORGE; PATIÑO, 2017).

Arquiteturas de microsserviços iniciam uma nova linha de desenvolvimento de aplicações preparadas para executar sobre nuvens computacionais, promovendo maior flexibilidade, escalabilidade, gerenciamento e desempenho, sendo a principal escolha de arquitetura de grandes empresas como Amazon, Netflix e LinkedIn (KHAZAEI et al., 2016; VILLAMIZAR et al., 2016). Um microsserviço é definido pelas seguintes características (ACEVEDO; JORGE; PATIÑO, 2017):

- Deve possibilitar a implementação como uma peça individual do macroserviço.
- Deve funcionar individualmente.
- Cada serviço deve ter uma interface. Essa interface deve ser o suficiente para utilizar o microsserviço.
- A interface deve estar disponível na rede para chamada de processamento remoto ou consulta de dados.
- O serviço pode ser utilizado por qualquer linguagem de programação e/ou plataforma.
- O serviço deve executar com as dependências mínimas.
- Ao agregar vários microsserviços, o macroserviço resultante poderá prover funcionalidades complexas.

O microserviço deverá ser uma entidade separada. A entidade deve ser implantada sobre um sistema isolado (*e.g.*, Docker ¹⁴, *Virtual Machines* (VMs), *etc.*). Toda a comunicação entre os microserviços de um macroserviço será executada sobre a rede, a fim de reforçar a separação entre cada serviço. As chamadas pela rede com o cliente ou entre os microserviços será executada através de uma *Application Programming Interface* (API), permitindo a liberdade de tecnologia em que cada um será implementado (NEWMAN, 2015). Isso permite que o sistema suporte tecnologias distintas que melhor resolvam os problemas relacionados ao contexto deste microserviço. Isso pode ser visualizado na Figura 2.10.

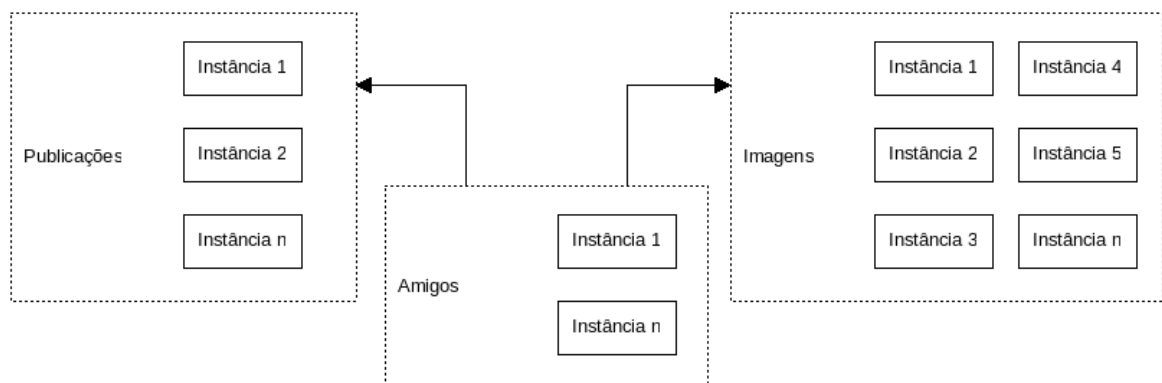
Figura 2.10: Microserviços podem ter diferentes tecnologias



Adaptado de: (NEWMAN, 2015)

Uma arquitetura de microserviços é escalável, como visível na Figura 2.11. A arquitetura permite o aumento do número de microserviços sob demanda para suprir a necessidade de escalabilidade. Este modelo computacional obtém maior desempenho, principalmente se executar sobre plataformas de computação elástica, na qual o orquestrador do macroserviço pode aumentar o número de instâncias conforme a necessidade de requisições (NADAREISHVILI et al., 2016).

Figura 2.11: Microserviços são escaláveis



Adaptado de: (NEWMAN, 2015)

¹⁴Docker: <https://www.docker.com/>

Microserviços desenvolvidos para web utilizam arquitetura REST baseado sobre o protocolo HTTP. É uma boa prática utilizar o corpo com conteúdo da requisição e resposta no formato JSON nas chamadas a uma API de microserviço web (NADAREISHVILI et al., 2016). Entretanto, não é uma prática comum para um serviço MMORPG utilizar o protocolo HTTP pela sua elevada carga administrativa na requisição (HUANG; YE; CHENG, 2004). Por esse motivo, torna-se relevante compreender a composição de uma arquitetura com microserviços para MMORPG, comparado-a a microserviços web.

2.4.3 Microserviços para jogos MMORPG

A fim de otimizar o custo operacional das arquiteturas de microserviços de jogos MMORPG, é incomum a utilização de protocolos *Web* em tais arquiteturas. Por esse motivo, a seção atual mostrará o funcionamento básico do protocolo RPC e a sua utilização para atualização dos parâmetros na *Scene Tree* e o modelo REST (SALZ, 2016a).

Em engenharia de software, é comum a utilização de arquiteturas *Model-View-Controller* (MVC) a fim de organizar o código fonte e prover agilidade de desenvolvimento (CHADWICK; SNYDER; PANDA, 2012; THOMPSON, 2008). A separação de um serviço MMORPG pode ser dada seguindo este padrão de projeto, dividindo-se em três camadas (HUANG; CHEN, 2010):

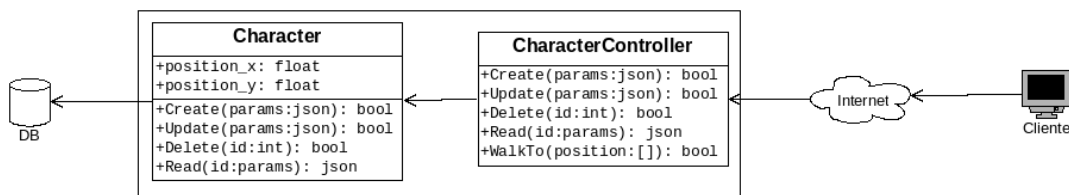
1. *Model*: Representa qualquer dado presente no jogo (*e.g.*, itens, personagens, NPCs, objetivos, etc.).
2. *View*: Representa o modo a qual estes dados serão exibidos, do ponto de vista de redes (*e.g.*, O mapa será exibido somente na área de interesse do jogador, e esta redução de contexto pode ser aplicada na visualização).
3. *Controller*: Representa as operações sobre modelos que serão requeridos pelos jogadores (*e.g.*, andar, pegar item, interagir com NPCs, etc.).

Dentro de um *Controller* é implementado operações a qual o cliente pode requerir através de chamadas RPC a fim de manipular *Models* da aplicação. Esses métodos padrões seguem o protocolo CRUD, contendo quatro métodos principais para complementar as consultas sobre os *Models* (CHADWICK; SNYDER; PANDA, 2012; THOMPSON, 2008):

1. *Create*: Representa a criação de um novo objeto no banco.
2. *Update*: Representa a atualização de um objeto no banco.
3. *Delete*: Representa a exclusão de um objeto no banco.
4. *Read*: Representa a consulta sobre este objeto no banco.

Para o padrão CRUD, faz-se necessário que os métodos *Read*, *Update* e *Delete* repassem o parâmetro de identificação do objeto a ser consultado (THOMPSON, 2008). Outros argumentos necessários nos métodos *Create* e *Update* são os atributos do objeto, além do seu retorno ser um valor booleano representando se a operação foi bem sucedida (CHADWICK; SNYDER; PANDA, 2012; THOMPSON, 2008). Entretanto, outros métodos mais apropriados ao funcionamento de um *Controller* podem existir. Como exemplo, pode-se visualizar uma interface CRUD na Figura 2.12.

Figura 2.12: Cliente pode realizar requisições CRUD ao serviço.



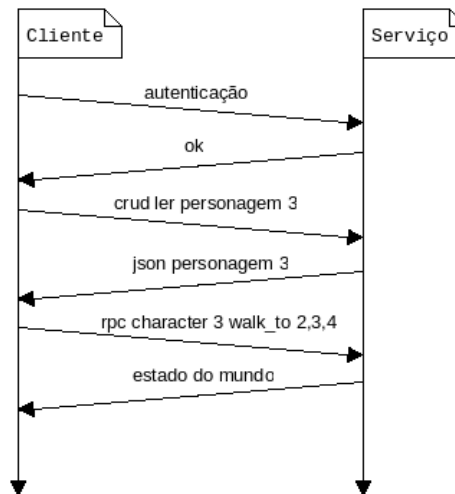
Fonte: Adaptado de (SALZ, 2016a).

Essas operações são executadas utilizando protocolo RPC (SALZ, 2016a). As requisições de métodos remotos são realizadas entre dois processos distintos, a fim de gerar uma computação distribuída (XEROX, 1976). Entretanto, a base do protocolo não é legível como em servidores web que utilizam JSON para transmissão de estrutura de dados, mas sim uma codificação binária nomeado *External Data Representation* (XDR) (Internet Society, 2006).

Uma técnica comum em jogos é a compressão de pacotes utilizando mapeamento *hash* de bytes (THOMPSON, 2008). Tanto o cliente quanto o serviço precisam ter a mesma estrutura de dados. Dessa forma, é possível trocar o nome das funções solicitadas em RPC por poucos bytes para transitar na rede. Já para operações CRUD, pode-se utilizar tanto requisições sobre o protocolo HTTP ou sobre um protocolo otimizado sobre TCP dependendo da necessidade de desempenho (THOMPSON, 2008).

Como relatado na Seção 2.4.2, uma arquitetura de microsserviços permite múltiplas tecnologias, pois a comunicação entre todos os elementos de um microsserviço será

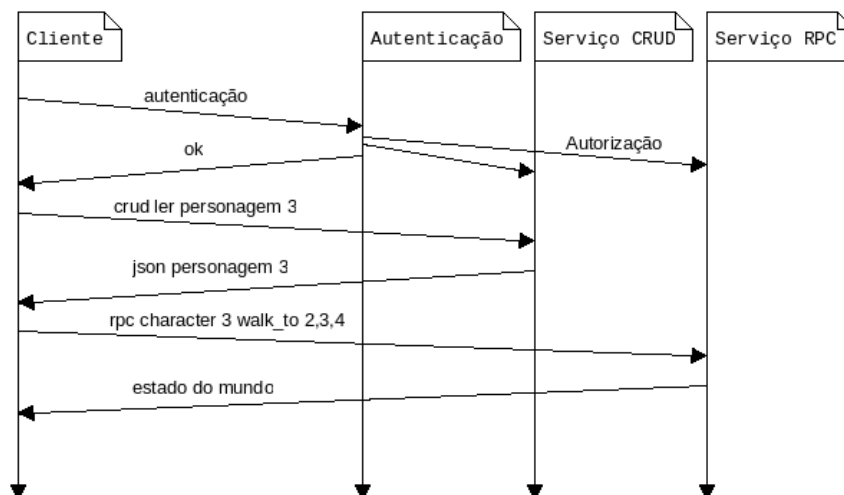
Figura 2.13: Diagrama de requisições entre serviço e cliente com operações CRUD e RPC em uma arquitetura monolítica.



Fonte: Adaptado de (THOMPSON, 2008)

pela rede. Por esse motivo, é possível utilizar um serviço web para realizar operações CRUD e um serviço dedicado para realizar operações RPC. Essa arquitetura pode ser melhor visualizada na Figura 2.14.

Figura 2.14: Diagrama de requisições entre serviço e cliente com operações CRUD e RPC em uma arquitetura de microsserviços.

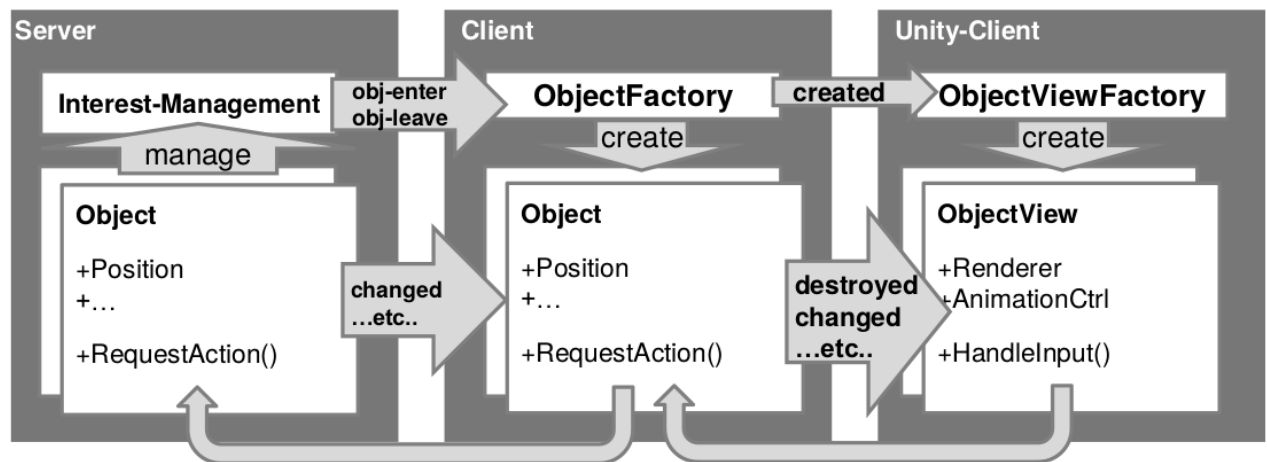


Fonte: O próprio autor.

Como resultado da integração entre Cliente, Serviço e Motor Gráfico, o resultado final obtido é descrito pelo diagrama presente na Figura 2.15. Tal integração está presente no jogo Sandbox-Interactive Albion¹⁵ (SALZ, 2016a). Percebe-se neste contexto que o jogo deverá funcionar sem o motor gráfico, do ponto de vista de redes e estrutura de dados (SALZ, 2016a).

¹⁵Sandbox-Interactive Albion: <https://albiononline.com/en/home>

Figura 2.15: Diagrama de integração entre Cliente e Serviço, considerando a *engine* Unity3D.



Fonte: (SALZ, 2016a)

A Figura 2.15 demonstra a separação da camada de renderização de objetos da árvore da cena, a camada de integração com o cliente e serviço (descrito anteriormente como módulo *Network*) e o serviço. Nesse sentido, a alteração entre clientes e serviços facilita um sistema de teste de carga e busca de erros automatizado, facilitando a manutenção e desenvolvimento incremental do serviço (SALZ, 2016a).

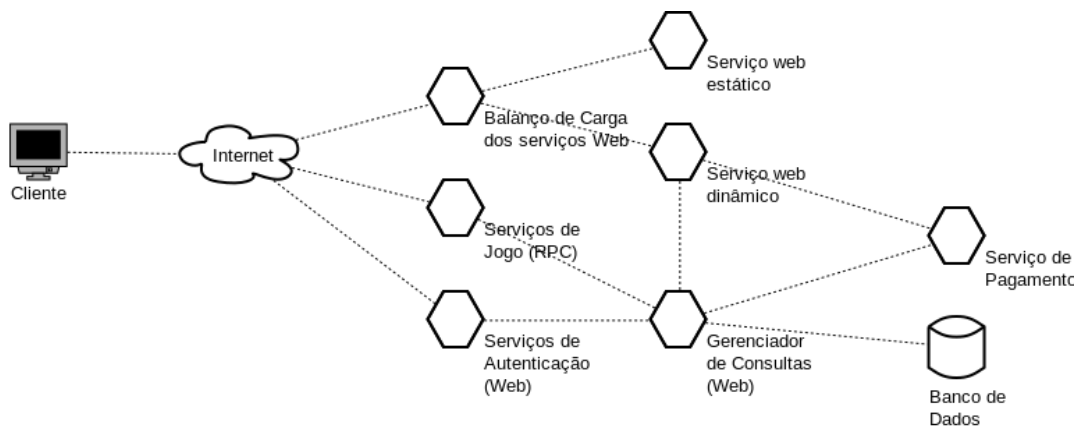
Utilizando estes padrões de projeto, algumas arquiteturas tornam-se populares no desenvolvimento de jogos MMORPG. Para este fim, torna-se de interesse a este trabalho realizar um levantamento de algumas arquiteturas comuns em jogos massivos.

2.4.4 Arquitetura elaborada por Rudy

A arquitetura Rudy (RUDDY, 2011) tem como objetivo criar múltiplos mundos isolados, na qual cada microserviço será responsável por um ambiente a qual não compartilha dados com os demais ambientes. Esta é uma característica importante para esta arquitetura, visto que o processamento de ações pelo serviço de jogo não precisa lidar com múltiplos processos (RUDDY, 2011). Esta arquitetura pode ser visualizada na Figura 2.16.

Ao todo são 6 microserviços distintos na arquitetura Rudy (Figura 2.16) para o seu funcionamento, não sendo necessário o microserviço de pagamento, utilizado somente para regra de negócios. Os microserviços que compõem a arquitetura são definidos pelas suas seguintes responsabilidades (RUDDY, 2011): (RUDDY, 2011):

Figura 2.16: Arquitetura Rudy completa.



Adaptado de: (RUDDY, 2011).

1. **Serviço web estático:** Armazena documentos estáticos para o serviço web (*e.g.*, imagens, executáveis do jogo, páginas web fixas, etc).
2. **Serviço web dinâmico:** Sistema web para cadastro de contas, guias, informações sobre atualizações, compras e demais demanda de páginas dinâmicas.
3. **Balanço de carga web:** Realiza a distribuição de carga sobre o *Serviço web estático* e o *Serviço web dinâmico*.
4. **Serviço de Jogo:** Gerencia um mundo inteiro, em um único serviço. Esta abordagem segrega os jogadores em diversos mundos, contendo 1050 jogadores simultâneos por serviço. Este serviço opera sobre o protocolo RPC.
5. **Serviço de Autenticação:** Gerencia a autenticação das conexões ao *Serviço de jogo*.
6. **Gerenciador de Consultas:** Realiza consultas em memória e disco, utilizando vários bancos de dados diferentes, simulando o uso de banco de dados distribuídos, algo complexo de ser implementado utilizando banco de dados SQL (*e.g.*, PostgreSQL¹⁶, MySQL¹⁷, etc).

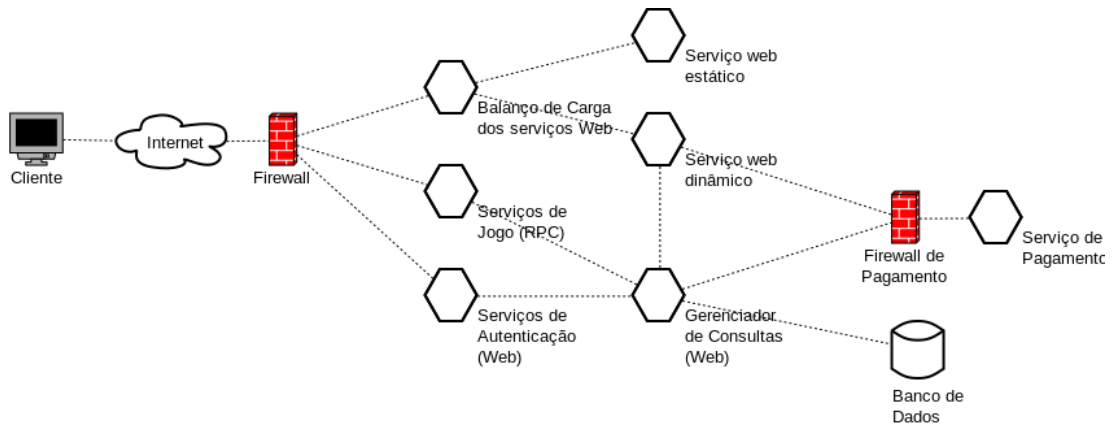
No contexto do atual trabalho, o serviço de pagamento será ignorado, visto que ele não serve para o funcionamento básico do serviço. Dentre todos os microsserviços, o usuário só tem acesso ao serviço de balanço de carga pelo protocolo HTTP e o serviço de jogo sobre o protocolo RPC, tendo os demais serviços protegidos por um *firewall* (RUDDY,

¹⁶PostgreSQL: <https://www.postgresql.org>

¹⁷MySQL: <https://www.mysql.com/>

2011). A proteção do firewall é aplicada no serviço de pagamento e no ponto de acesso ao serviço, podendo ser visualizada na Figura 2.17.

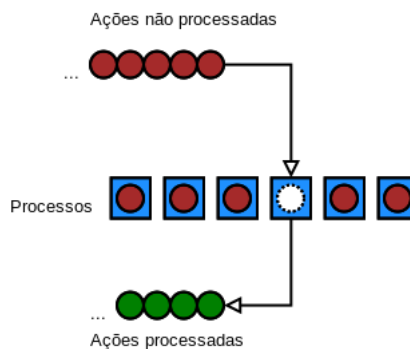
Figura 2.17: Arquitetura Rudy completa.



Adaptado de: (RUDDY, 2011).

O funcionamento interno do serviço de jogo trabalha em rodadas, visando não penalizar usuários com baixa transferência de dados entre o cliente e o serviço. Cada cliente produz requisições para ser consumido pelo ciclo de processamento do gerente de jogo. Entretanto o serviço irá consumir de forma igualitária uma requisição de um jogador diferente, como uma fila (SALZ, 2016a; RUDDY, 2011). O modelo de processamento do gerente de ambiente pode ser visualizado na Figura 2.18.

Figura 2.18: Modelo de processos *Thread Pool*



Adaptado de: (RUDDY, 2011; RINGLER, 2014).

O modelo de processamento do gerente de mundo, visualizado na Figura 2.18 trabalha com um a padrão *Thread Pool* (RINGLER, 2014; RUDDY, 2011), executando a chamada de método remoto de cada jogador em uma fila, onde prioriza executar as chamadas sem repetir a mesma conexão. Dessa forma, cada jogador pode executar somente um método concorrente, sem competir com os demais. Todas as requisições são enfileiradas no buffer de rede do serviço. Caso o cliente entre em sua vez de processamento, e nenhuma chamada remota esteja na fila, ele é pulado.

Um serviço que chama atenção na arquitetura Rudy é o Gerenciador de Consultas, um serviço web que implementa uma camada sobre diversos bancos de dados a fim de prover variedade entre vários bancos de forma facilitada por requisições web, utilizando operações CRUD. Implementar esta camada garante uma padronização de acesso ao banco de dados, porém adiciona um possível gargalo a arquitetura (RUDDY, 2011).

Os pontos positivos de utilizar esta camada de consultas na arquitetura é (RUDDY, 2011):

1. Não permite acesso direto ao banco de dados do serviço web e do serviço de jogo.
2. Permite maior manejo a migrações em tabelas e troca de tecnologias.
3. Define uma sintaxe estrita para consulta, via CRUD.
4. Permite acesso do banco a diversos serviços, sem gerenciar o banco.
5. Permite contar número de requisições e tempo das requisições.

Entretanto adicionando uma camada sobre os bancos de dados para gerenciamento tem pontos negativos (RUDDY, 2011).

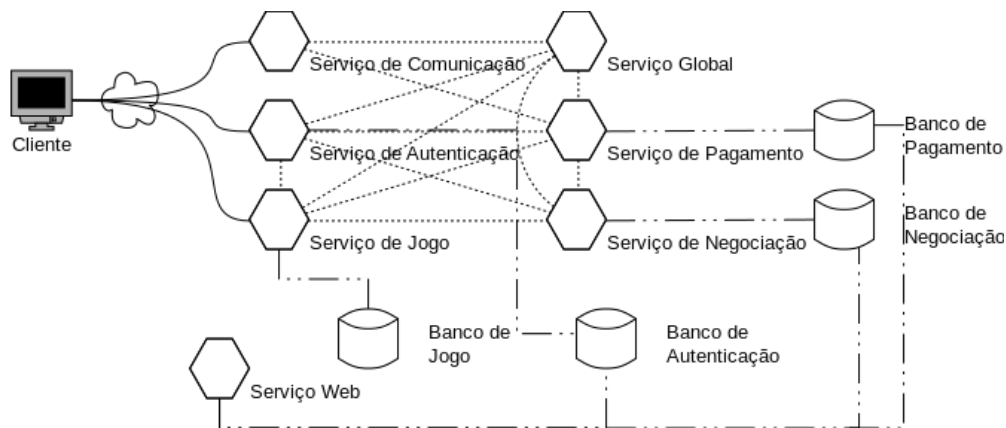
1. Aumenta a complexidade de implementação, teste, administração e ponto de falha.
2. Adiciona limites como número de conexões, número de requisições, etc.

Entretanto, esta arquitetura não permite escalar um único ambiente para um número de jogadores simultâneos maior a qual o hardware que hospeda o serviço é designado. Para este motivo, as arquiteturas Salz e Willson tomam abordagens para subdividir o ambiente do jogo em mais serviços, podendo assim escalar um único ambiente para mais jogadores simultâneos.

2.4.5 Arquitetura elaborada por Salz

A arquitetura elaborada por Salz (SALZ, 2016a), a qual pode ser visualizada na Figura 2.19 contém 7 microsserviços especializados para seu funcionamento. Para o funcionamento adequado, o cliente necessita manter 3 conexões abertas com o servidor, sendo a conexão de jogo a com maior demanda de banda e a qual necessita o menor tempo de latência (SALZ, 2016a).

Figura 2.19: Arquitetura Salz completa.



Adaptado de: (SALZ, 2016a).

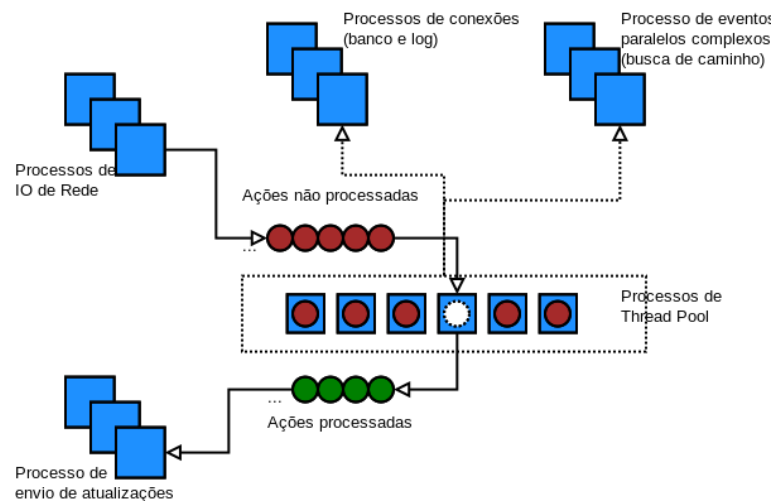
A Figura 2.19 exibe a arquitetura Salz de forma completa. Nela encontra-se 4 bancos de dados distintos, sendo eles o banco de *Pagamento*, *Negociação*, *Autenticação* e *Jogo*, sendo os bancos de Autenticação e Jogo com tecnologias *Not Only SQL* (NoSQL), sendo os demais bancos com tecnologia *Structured Query Language* (SQL). Referente aos microsserviços que compõem a arquitetura, temos os seguintes elementos (SALZ, 2016b):

1. **Serviço de Comunicação:** Gerencia a troca de mensagens entre os jogadores. Opera sobre o protocolo RPC.
2. **Serviço de Autenticação:** Recepciona e gerencia as conexões dos clientes entre os demais microsserviços. Opera sobre o protocolo HTTP.
3. **Serviço de Jogo:** Gerencia o estado do mundo, referente a um *chunk* do ambiente. Opera sobre o protocolo RPC.
4. **Serviço Global:** Gerencia operações globais (*e.g*, interações entre grupos, procedimentos recorrentes globais, *etc.*). Opera sobre HTTP.
5. **Serviço de Pagamento:** Efetua operações bancárias com serviços externos de pagamento e gerencia o estado de pagamento das contas. Opera sobre o protocolo HTTP.
6. **Serviço de Negociação:** Opera como um serviço de leilão para itens do jogo. Opera sobre o protocolo HTTP.

Os microsserviços que compõem a arquitetura Salz utiliza em grande parte serviços *web*, utilizando somente o protocolo RPC para o serviço de jogo. No serviço de

jogo, tanto o cliente quando o serviço podem invocar métodos remotos através do protocolo RPC, tendo como padrão métodos com retorno nulo (SALZ, 2016b; Exit Games, 2018). Esta abordagem garante que o usuário não fique esperando pelo retorno do serviço para continuar a lógica do jogo (FARBER, 2002). Para este funcionamento, o modelo de processamento paralelo deste serviço possui mais regras, a qual não foram abordadas pela arquitetura Rudy (Figura 2.16). O modelo de paralelismo do serviço de jogo pode ser visualizado na Figura 2.20.

Figura 2.20: Modelo de paralelismo do serviço de jogo na arquitetura Salz.



Adaptado de: (SALZ, 2016b; CLARKE-WILLSON, 2013).

O microsserviço de jogo executa a lógica do jogo, visível na Figura 2.20, para uma única área em um único processo. Esta decisão é dada por conta da interação entre objetos ser complicada de executar em paralelo, visto o gerenciamento do custo de gerenciamento de semáforos necessários, caso execute estas ações em paralelo (SALZ, 2016b).

Outra facilidade de implementar um modelo com um único processo para as interações entre objetos é facilitar o não manejo de objetos a qual não estão no campo de visão de todos os jogadores do serviço, realizando estas operações somente quando necessário (SALZ, 2016a; SALZ, 2016b).

As entradas e saídas de mensagens(*e.g.*, rede, Banco de dados, *etc.*) e busca de caminho é executado por processos de trabalho separado do principal, utilizando a técnica de *Thread Pool* (SALZ, 2016b; SALZ, 2016a; RINGLER, 2014). Todos os demais microsserviços operam sobre múltiplos processos, a partir do processo de conexão TCP ao serviço (SALZ, 2016b). Diferente da arquitetura Rudy(Seção 2.4.4) a qual prioriza a

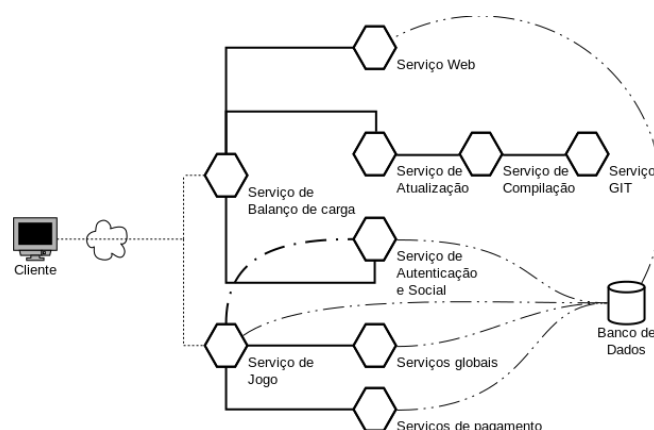
solução de requisições, evitando a repetição da mesma conexão, na arquitetura Salz (Figura 2.19) as chamadas de processo remoto são executadas por ordem de chegada (SALZ, 2016b). Desta forma, a melhor conexão com o serviço terá maior vantagem, porém não existe custo de recursos para este gerenciamento no serviço.

Na arquitetura salz, são necessários 3 conexões com o servidor, de forma contínua (SALZ, 2016a). O custo desta operação é alto, e por isso nem sempre é viável utilizar esta abordagem, principalmente para jogos onde a demanda de banda seja menor. Para evitar esta decisão, também é notório a abordagem utilizada pela arquitetura Willson.

2.4.6 Arquitetura elaborada por Willson

A arquitetura elaborada por Clarke-Willson leva como principal característica a preocupação da disponibilização de atualizações aos clientes (CLARKE-WILLSON, 2013). Essas atualizações são versionadas a todos os microsserviços utilizando sistemas de versionamento de código fonte (CLARKE-WILLSON, 2017; CLARKE-WILLSON, 2013). Por este motivo, a sua arquitetura também compreende microsserviços de armazenamento de arquivos sobre protocolo HTTP para atualização dos clientes (CLARKE-WILLSON, 2017). Uma outra característica do serviço de jogo é a utilização de uma única conexão TCP por cliente. Essa arquitetura pode ser visualizada na Figura 2.21.

Figura 2.21: Arquitetura Willson



Fonte: (CLARKE-WILLSON, 2017).

A arquitetura Willson, exibido na Figura 2.21, mostra um gradual entre a arquitetura Rudy (Figura 2.16) e a arquitetura Salz (Figura 2.19), propondo uma arquitetura híbrida, onde divide funcionalidades em outros microsserviços, porém ainda mantém diversas funcionalidade junto ao serviço de jogo evitando consumo de rede (SALZ, 2016a;

CLARKE-WILLSON, 2013). Essa abordagem garante menor latência de resposta, porém terá maior consumo de recursos da mesma máquina hospedeira do serviço (CLARKE-WILLSON, 2013). Os microsserviços que compõem a arquitetura Willson são (CLARKE-WILLSON, 2013; CLARKE-WILLSON, 2017):

1. **Serviço web:** Exibe informações do jogo, oferece operações CRUD para cadastro de usuários e o sistema de pagamento.
2. **Serviço de Atualização:** Integrado junto ao processo de desenvolvimento, fornecendo versionamento do cliente por um sistema web. Este microsserviço utiliza serviços internos ao desenvolvimento da aplicação.
3. **Serviço de Autenticação e Social:** Gerencia a autenticação dos jogadores através de um serviço web. Também gerencia ações sociais (*e.g.* sistema de amigos, grupos, nações, comércio, *etc*).
4. **Serviço de balanço de carga:** Gerencia a carga entre os serviços web da arquitetura.
5. **Serviço de Jogo:** Processa a lógica de jogo. Cada microsserviço gerencia um *chunk* do ambiente do jogo.
6. **Serviços Globais:** Processa rotinas globais do jogo, a qual não dependem do posicionamento do jogador.

O serviço de jogo da arquitetura Willson é comparada ao serviço similar na Salz 2.4.5, entretanto utiliza a técnica de *thread pool* com valor de processos da fila de processadores fixo conforme o *hardware* hospedeiro do serviço (CLARKE-WILLSON, 2017). Para modelos de paralelismo, pode-se utilizar os seguintes números processos paralelos (CLARKE-WILLSON, 2013):

1. O dobro de número de núcleos: exige maior carga do serviço por troca de contexto entre os processos.
2. O número exato de núcleos mais n: O serviço perderá tempo de processamento, trocando de contexto para outro processo, porém de forma mais sutil ao dobro do número de núcleos de processamento.

3. O número de núcleos, exigindo um número menor de carga de contexto, dividindo somente com o sistema operacional.
4. O número de núcleos menos um, liberando um núcleo para o sistema operacional.

O número padrão de processos paralelos para processamento de requisições é o número de núcleos menos um, visando evitar a troca de contexto com o sistema operacional (CLARKE-WILLSON, 2013). Essa troca de contexto trás variação na latência da resposta do serviço, a qual não tem controle pelo próprio serviço. Nesse sentido, a melhor escolha é o número de núcleos menos um, escolhido após um teste de *stress* 2.21.

Entretanto, não foi encontrado análises públicas sobre as arquiteturas Rudy, Salz e Willson, com relação ao uso de recursos dessas arquiteturas. Nesse sentido, o atual trabalho define o seu problema sobre o consumo de recursos em buscar uma análise sobre o comportamento das arquiteturas referenciadas.

2.5 Definição do Problema

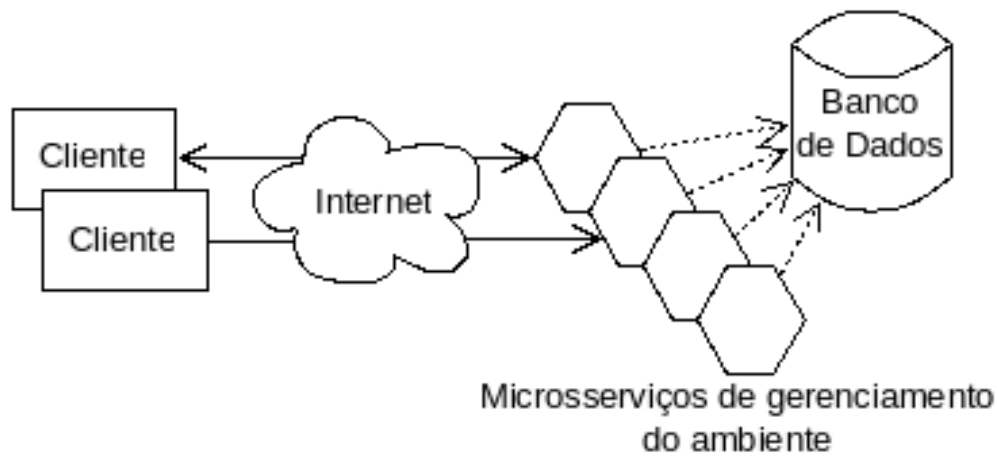
A escolha de uma arquitetura para serviços MMORPG que não suportem uma elevada carga de trabalho podem ser um eventual problema na escalabilidade do negócio de empresas que forneçam tais serviços. Em alguns serviços, a divisão da carga é dada pela área de interesse, dividindo o ambiente em pedaços a fim de diminuir a carga no serviço. Entretanto, locais populares no ambiente do jogo ainda são vulneráveis a disponibilidade de serviço (HUANG; YE; CHENG, 2004).

Nesse sentido, arquiteturas de microserviços surgiram com o objetivo de aumentar a disponibilidade e viabilizar produtos de demanda massiva. Tais arquiteturas dividem o seu funcionamento em módulos menores a fim de proporcionar maior demanda utilizando uma abordagem distribuída. Entretanto, o custo de atender uma alta demanda de conexões pode consumir uma quantia de recursos computacionais ou uma qualidade insatisfatória de serviço, inviabilizando a sua utilização no mercado.

Um exemplo de implementação de arquitetura de um jogo MMORPG pode ser visualizado na Figura 2.22, no qual cada cliente deve conectar em um microserviço de gerenciamento de mundo para receber as atualizações da região e submeter seus comandos. Nessa arquitetura, é necessário levar em conta o funcionamento, método de

compartilhamento dos dados e abordagem para processamento do ambiente do jogo a fim de descrever a sua escalabilidade e qualidade de serviço.

Figura 2.22: Arquitetura de um jogo MMORPG genérico.



Fonte: O próprio autor

A arquitetura genérica descrita na Figura 2.22 também precisa corresponder as demandas necessárias do *GameDesign* do próprio jogo. Neste caso, só um tipo de microsserviço é visível nesta rede, porém poderiam existir microsserviços responsáveis pela parte social, comércio e estatísticas, aumentando o grau de complexibilidade da arquitetura. Em relação aos recursos utilizados por uma arquitetura, este trabalho foca na análise das arquiteturas de microsserviços descritas na literatura a fim de descrever o seu comportamento e desempenho.

A literatura aborda a previsibilidade de carga, análise de disponibilidade e uso de recurso de tais arquiteturas (a fim de guiar escolhas na etapa de *Game Design* do produto e viabilizar o comércio do mesmo), relatados na Seção 2.6. Torna-se de interesse para empresas de desenvolvimento de jogos MMORPG analisar o impacto e uso de recursos computacionais ao implantar uma arquitetura de microsserviços MMORPG visando melhorar a disponibilidade de tais jogos. Dentro do cenário de testes espera-se analisar por exemplo a estabilidade, limite de conexões e custo de processamento de tais arquiteturas. Além disso, espera-se simular a carga de uma arquitetura utilizada em produção, a fim de possibilitar a quantificação do custo de operação de tal serviço. Estas são expectativas gerais do que espera-se analisar, mas conforme a análise dos dados obtidos for realizada, é possível que outras características surjam. Para guiar a proposta, um dos passos importantes são os trabalhos relacionados com este tema, na qual analisa-se estudos que abordam arquiteturas de jogos MMORPG e/ou arquiteturas de microsserviços.

2.6 Trabalhos Relacionados

Para nortear o desenvolvimento da análise de microsserviços utilizados em jogos MMORPG proposto no atual trabalho, essa seção apresenta outros trabalhos que têm o escopo ou objetivo similar, no qual monitoraram e analisaram serviços de jogos MMORPG. Ao apresentar estes trabalhos, busca-se apresentar o contexto e objetivo, e então aprofundar em características dos trabalhos, métricas utilizadas e ferramentas que auxiliaram nas análises.

Para encontrar os trabalhos relacionados, foi efetuada uma busca pelos termos MMORPG ou *microservices*. Entretanto, os dois termos dificilmente se correlacionam nos meios de busca disponíveis para a elaboração deste TCC. Nesse sentido, os trabalhos relacionados abordam arquiteturas de jogos MMORPG ou arquiteturas de microsserviços.

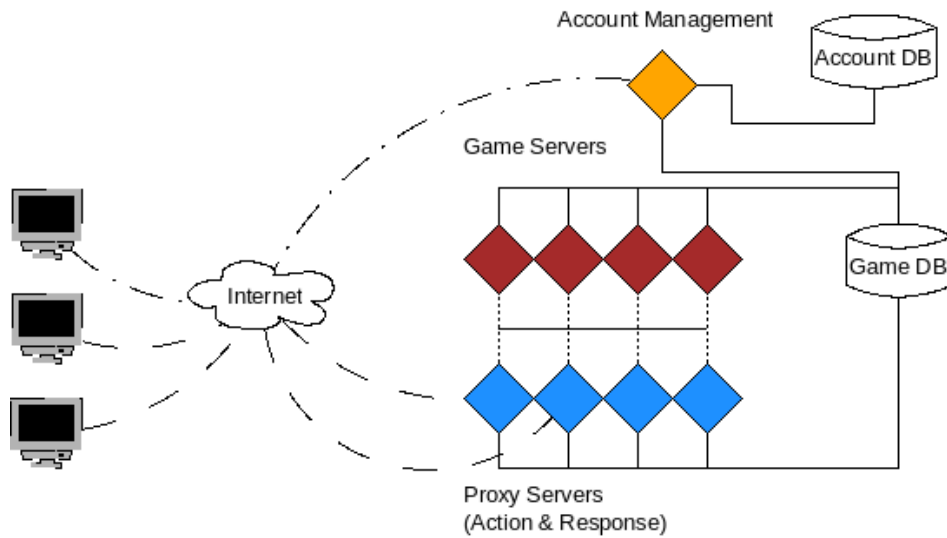
Como critério de análise, foi observado em questão qual a classificação em que o trabalho encontra-se, entre previsão de carga ou análise de arquitetura, e quais métricas foram utilizadas na análise.

2.6.1 Huang et al. (2004)

O trabalho de (HUANG; YE; CHENG, 2004) investiga a relação entre os recursos utilizados e o número de conexões presentes em um serviço MMORPG distribuído. Neste trabalho é relatado que a infraestrutura utiliza três serviços: Um *Game Server* sobre protocolo TCP, um *Proxy Server* também sobre protocolo TCP, e um servidor web para autenticação que executa sobre uma interface HTTP. O foco de análise é o *Proxy Server*, um serviço especificado em receber requisições e repassar atualizações da área de interesse destes jogadores, e o *Game Server*, um serviço especificado para consumir as requisições realizadas pelo jogador.

A infraestrutura do servidor de jogo contém um *Proxy Server Farm* utilizando o algoritmo *Round Robin* com pesos para balanceamento de carga entre cada cliente. Cada *Proxy Server* é responsável por comunicar com os demais microsserviços privados ao servidor, baseado com a área de interesse de sua conexão. O protocolo de comunicação utilizado entre o Cliente e *Proxy Server* é baseado em RPC (FARBER, 2002; BORELLA, 2000), porém não é relatado sobre o o protocolo de comunicação utilizado entre o *Proxy Server* e o *Game Server*. A sua arquitetura pode ser observada na Figura 2.23, na qual

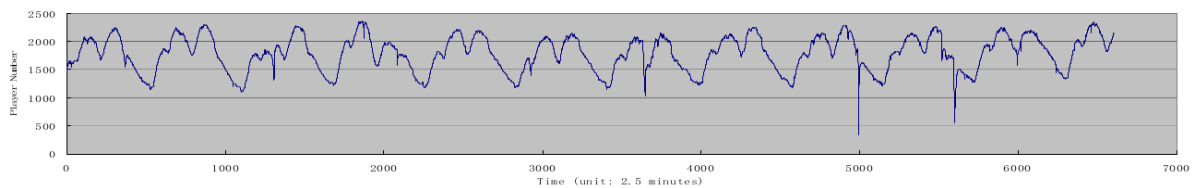
Figura 2.23: Arquitetura distribuída utilizando proxy.



Adaptado de: (HUANG; YE; CHENG, 2004).

obteve seus dados obtidos durante 100 dias para realizar as análises. A Figura 2.24 demonstra uma amostra do número de conexões pelo tempo no serviço obtido.

Figura 2.24: Número de conexões no serviço pelo tempo decorrido.

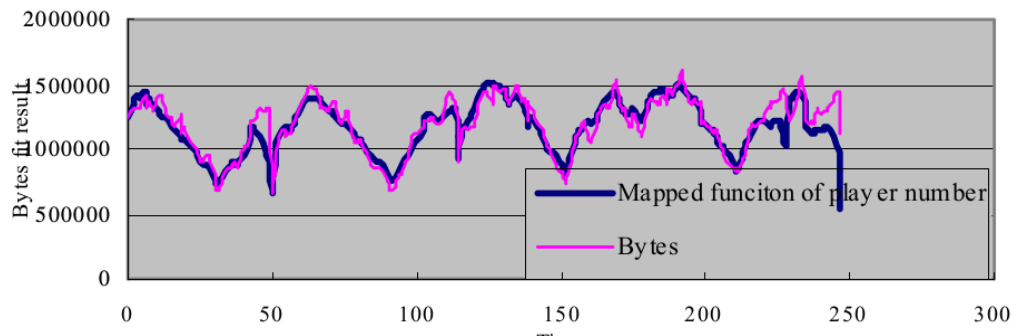


Fonte: (HUANG; YE; CHENG, 2004).

Como análise, o autor correlacionou o número de conexões com número de pacotes e banda, consumidos, utilizando uma função estatística linear. Esta função pode ser utilizada com regressão linear para prever consumo de recursos futuros e por fim realocar mais recursos ao serviço, contribuindo com escalabilidade vertical autônoma. Um exemplo de aplicação dessa regressão linear pode ser visualizada na Figura 2.25, no qual o autor compara o consumo de banda real comparado a regressão linear.

Entretanto, a escalabilidade horizontal não pode ser prevista, visto que não é analisado o posicionamento de cada personagem a fim de dividir os ambientes em pedaços menores com outros serviços. Como trabalhos futuros é relatado a análise do posicionamento de personagens para escalabilidade horizontal, a análise de outras arquiteturas e a análise de outros gêneros de jogos, além do impacto de utilizar balanço de carga e provisionamento de recursos de forma dinâmica.

Figura 2.25: Regressão linear comparado ao consumo de banda real do servidor.

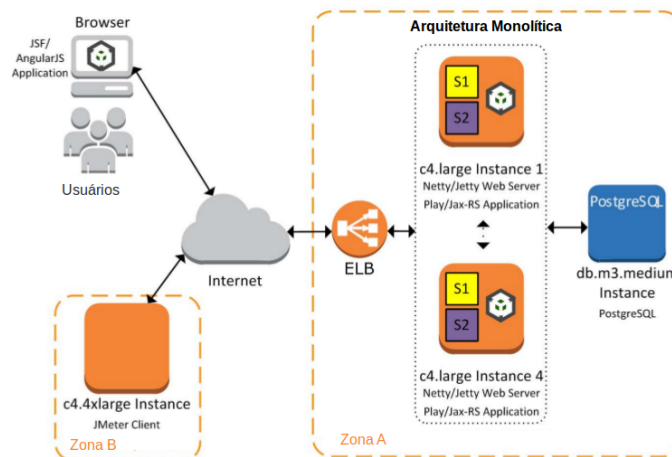


Fonte: (HUANG; YE; CHENG, 2004)

2.6.2 Villamizar et al. (2016)

O trabalho de (VILLAMIZAR et al., 2016) investiga o custo de arquiteturas de microsserviços, arquiteturas *Platform as a Service* (PaaS) orientadas a eventos e aplicações monolíticas para aplicações web. A sua principal motivação é a comparação de custos para a tradução de sistemas legados para arquiteturas distribuídas. Para isso, o autor preparou três instâncias de testes com suas configurações desenhadas a fim de ter o maior número de requisições por minuto com o mesmo custo financeiro.

Figura 2.26: Arquitetura monolítica web implementada na AWS

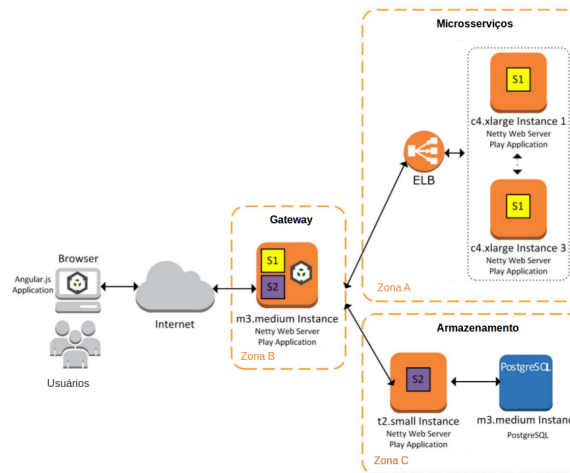


Fonte: (VILLAMIZAR et al., 2016)

Instância I. Utilizando quatro instâncias AWS *c4.large*, uma instância AWS *c4.xlarge* e uma instância AWS *db.m3.medium*. A Figura 2.26 exibe a implantação de uma aplicação web monolítica. Essa arquitetura foi implementada utilizando *Jax-RS* e *Play Framework*.

Instância II. Utilizando três instâncias AWS *c4.xlarge*, uma instância AWS

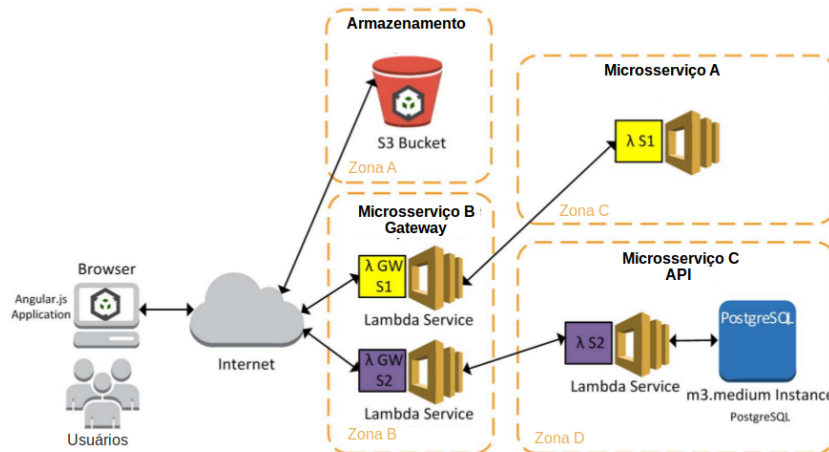
Figura 2.27: Arquitetura de microsserviços web implementada na AWS



Fonte: (VILLAMIZAR et al., 2016)

t2.small e uma instância AWS *db.m3.medium*. A Figura 2.27 exhibe a implantação de uma aplicação de microsserviços web. Essa arquitetura foi implementada utilizando *Play Framework*.

Figura 2.28: Arquitetura de microsserviços web implementada na AWS utilizando a tecnologia *lambda*

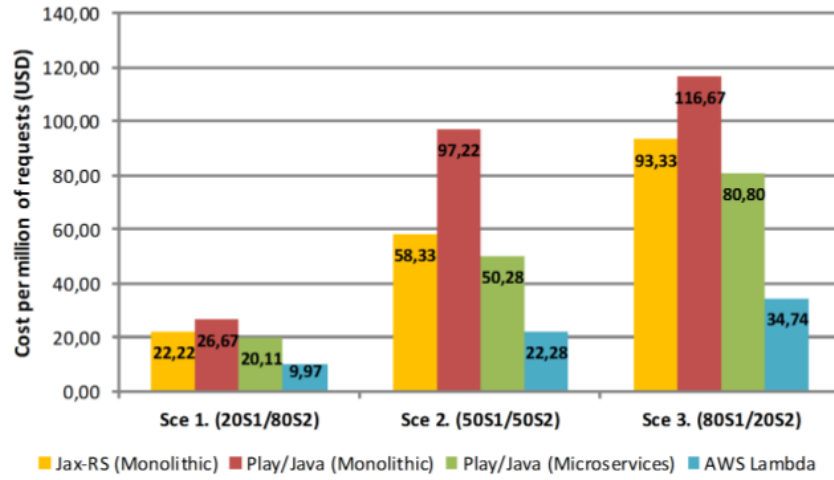


Fonte: (VILLAMIZAR et al., 2016)

Instância III. Utilizando duas instâncias AWS *lambda S1*, duas instâncias AWS *lambda S2*, uma instância AWS *S3 Bucket* e uma instância AWS *db.m3.medium*. A Figura 2.28 exhibe a implantação de uma aplicação de microsserviços web utilizando a tecnologia AWS *lambda*. Essa arquitetura foi implementada em *Node.js*, nas quais as funções de *gateway* foram implementadas em quatro funções independentes do tipo *microservice-http-endpoint*.

Foi concluído que a arquitetura de microsserviços, nas condições desta aplica-

Figura 2.29: Custo por um milhão de requisições em dólares utilizando diferentes arquiteturas sobre a AWS



Fonte: (VILLAMIZAR et al., 2016)

ção, podem reduzir até 13.42% em gastos com a infraestrutura. Essa redução pode ser observada na Figura 2.29. O autor alerta sobre tolerância a falhas, transações distribuídas, distribuição de dados e versionamento de serviço.

2.6.3 Suznjevic e Matijasevic (2012)

O trabalho de (SUZNJEVIC; MATIJASEVIC, 2012) tem seu objetivo a fim de prever a carga a qual um serviço MMORPG pode receber utilizando a complexidade das operações nos contextos de *Player vs Player* (PvP) e *Player vs NPCs* (PvNPCs) a qual um personagem pode realizar em um ambiente. Este trabalho usa com base o modelo descrito na Seção 2.6.1, um modelo distribuído em serviços na qual efetuam o processamento de uma região do ambiente virtual.

Tabela 2.2: Complexidade da interação com o ambiente, por contexto da interação

Contexto da ação	PvP	PvNPCs	Número de NPCs	Network [kbits/s]
Questing	$O(n)$	$O(n \log(n))$	$N \leq 6$	11.4
Trading	$O(n)$	$O(n)$	$N \leq 20$	8.1
Dungeons	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$N \leq 20$	18.3
PvP combat	$O(n^3)$	$O(n)$	$N = 0$	24.1
Raiding	$O(n^2 \log(n))$	$O(n^3)$	$N \leq 40$	32.0

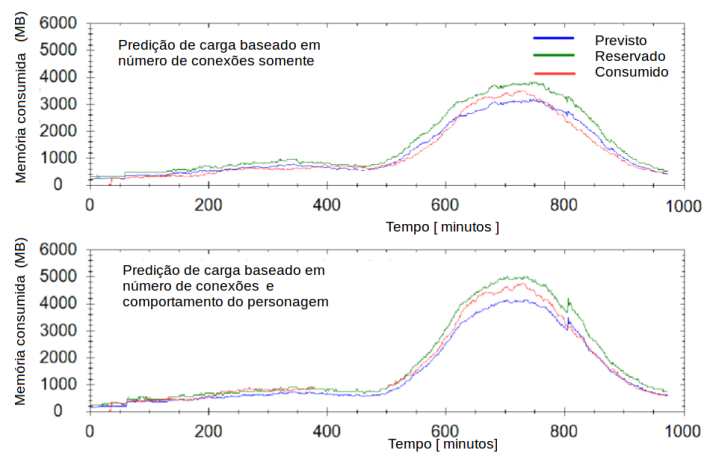
Fonte: (SUZNJEVIC; MATIJASEVIC, 2012)

A análise realizada leva em conta a complexidade das ações no ambiente, a qual pode ser descrita na Tabela 2.2. Essa tabela exhibe as ações que podem ser executadas para interagir com o ambiente, seja essa interação com PvP (jogador com outro jogador) ou

PvNPCs (jogador com um personagem ou objeto gerenciado pelo serviço). Os contextos analisados nessa tabela são:

- *Questing*: Contexto de missão, na qual um grupo de jogadores ou um grupo de NPCs podem ser afetados nas ações.
- *Trading*: Contexto de negociação, na qual a complexidade leva em conta somente o número de itens negociados.
- *Dungeons*: Contexto de exploração, na qual o ambiente pode ser modificado conforme as ações dos personagens em um ambiente isolado para este grupo.
- *PvP combat*: Contexto de batalha entre jogadores, na qual as ações entre os jogadores influenciam diretamente o estado do personagem oponente.
- *Raiding*: Representa um contexto específico de exploração, na qual múltiplos jogadores unem forças a fim de combater outro grupo de jogadores ou NPCs.

Figura 2.30: Regressão levando em conta a complexidade das ações e contexto dos personagens



Fonte: (SUZNJEVIC; MATIJASEVIC, 2012)

Utilizando as complexidades das ações, o número de conexões e o contexto de cada personagem no ambiente para prever a banda utilizada. Pode-se visualizar uma regressão na Figura 2.30.

O autor conclui que o contexto de interação com o ambiente de cada personagem tem relevância com o consumo de *Central Processing Unit* (CPU) e banda, a qual pode ser calculada com sua complexidade a fim de desenvolver uma ferramenta para

predição de carga sobre serviços MMORPG. Entretanto, essa predição não é feita em tempo real, não contribuindo para a automação da escalabilidade vertical e horizontal da arquitetura de microsserviços.

2.6.4 Análise dos trabalhos relacionados

Ao levantar o problema de consumo de recursos, existem duas vertentes de pesquisas, sendo descritas dessa forma:

- **Comparação de arquiteturas:** O autor utiliza alguma métrica a fim de decidir qual a melhor alternativa de arquitetura para determinada aplicação.
- **Previsão de carga:** Projetar a carga futura sobre algum recurso a fim de escalar automaticamente a sua arquitetura na nuvem, a fim de reduzir gastos de alocações ociosas.

Dessa forma, pode-se dividir os trabalhos relacionados com a sua categoria. Esta relação pode ser visualizada na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Trabalhos relacionados por categoria

Autor	Categoria
(SUZNJEVIC; MATIJASEVIC, 2012)	Previsão de carga
(VILLAMIZAR et al., 2016)	Comparação de arquiteturas
(HUANG; YE; CHENG, 2004)	Previsão de carga

Fonte: O próprio autor.

Para o trabalho referente a comparação de arquiteturas (VILLAMIZAR et al., 2016), o recurso utilizado foi o custo por um determinado número de requisições web. Já para os trabalhos referentes a previsão de carga (SUZNJEVIC; MATIJASEVIC, 2012; HUANG; YE; CHENG, 2004) foi levantado o consumo da banda, CPU e memória, entretanto não levantou-se o número de conexões e latência aos usuários, na qual podem ser observados na Tabela 2.4. Nenhum trabalho relatou limite de conexões ou latência do sistema.

Outro ponto a ser analisado são as arquiteturas utilizadas. Os trabalhos referentes a previsão de carga não utilizaram uma arquitetura de microsserviços, mesmo sendo um sistema distribuído. Nesses serviços, os sistemas eram dependentes entre si e precisavam um dos outros para o seu funcionamento. A relação de arquiteturas abordadas

Tabela 2.4: Trabalhos relacionados por recurso utilizado

Autor	CPU	Memória	Banda	Custo	Latência	Limite de conexões	Complexidade de Algoritmos
(HUANG; YE; CHENG, 2004)	×	×	✓	×	×	×	×
(VILLAMIZAR et al., 2016)	×	×	×	✓	×	×	×
(SUZNJEVIC; MATIJASEVIC, 2012)	✓	✓	✓	×	×	×	✓

Fonte: O próprio autor.

pode ser visualizado na Tabela 2.5, na qual mostra quais trabalhos abordaram os temas sobre arquiteturas de microsserviços e jogos MMORPG. Além disso, não foi descrito um método de replicação automática dos serviços a fim de prover alta disponibilidade de forma automatizada, sendo abordado como um trabalho futuro.

Tabela 2.5: Arquiteturas Analisadas

Autor	Arquitetura de Microsserviços	Arquitetura Distribuída	MMORPG
(HUANG; YE; CHENG, 2004)	×	✓	✓
(VILLAMIZAR et al., 2016)	✓	✓	×
(SUZNJEVIC; MATIJASEVIC, 2012)	×	✓	✓

Fonte: O próprio autor.

Este Trabalho de Conclusão de Curso pretende analisar uma arquitetura de microsserviços especificada a jogos MMORPG, visando métricas de desempenho e custo de operação.

2.7 Considerações parciais

Este capítulo conceituou jogos eletrônicos, gênero de jogo e especificou as características de um jogo MMORPG. Após apresentar sobre o gênero de jogo abordado, detalha-se a sua jogabilidade, problemas relevantes a este gênero do ponto de vista de rede de computadores e por fim sobre técnicas e abordagens populares acerca do desenvolvimento destes serviços, a qual serão utilizados no problema deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Por fim, são apresentados trabalhos relacionados a fim de guiar por métricas, métodos de coleta de dados e métodos de desenvolvimento e implantação de tais arquiteturas a fim de contribuir com o atual escopo do trabalho. Entretanto, houve uma dificuldade em encontrar na literatura análises sobre arquiteturas de microsserviços focado a jogos, principalmente em específico o gênero MMORPG. Dessa forma, espera-se introduzir a análise da viabilidade e do custo de recursos computacionais para manter um serviço MMORPG sobre uma arquitetura de microsserviços.

3 Proposta para análise de arquiteturas MMORPG

Este trabalho propõe a análise do consumo de recursos de arquiteturas de microsserviços, a fim de contribuir com a redução do consumo de recursos de arquiteturas de jogos MMORPG. Para realizar a análise proposta sobre as arquiteturas descritas na referência teórica, se faz necessário obter coletar/medir métricas de recursos consumidos por tal arquitetura. Nesse sentido, faz-se necessário a descrição específica da arquitetura analisada, equivalente as arquiteturas descritas no Capítulo 2. Para este fim, este trabalho irá analisar o consumo de recursos como:

1. Memória: Analisar a quantia de memória utilizada referente a cada arquitetura, analisando possíveis rotinas que consomem recursos de forma inapropriada;
2. Banda de rede: Analisar o comportamento da arquitetura em relação ao consumo de banda, relevando a topologia da arquitetura;
3. Processamento: Analisar rotinas de processamento de baixo desempenho;
4. Tempo de resposta: Analisar o tempo de resposta para que as ações sejam computadas, a partir da chamada do cliente, pelo número de conexões no serviço;
5. Limite de conexões: Analisar o limite de conexões de determinada arquitetura;

A fim de garantir a confiabilidade dos dados coletados, cada microsserviço da arquitetura executará de forma isolada, a nível do sistema operacional. Pode-se garantir este isolamento utilizando técnicas de virtualização. Analisando os dados obtidos, espera-se encontrar gargalos em tais arquiteturas, provendo possíveis soluções para os gargalos encontrados. Outros critérios também serão abordados na análise, tais como a estabilidade de operação, capacidade de processamento, custo de operação e limite de conexão das arquiteturas.

Entretanto, as arquiteturas de microsserviços para jogos MMORPG são aplicações de alta complexidade, a qual sofrem alterações conforma as regras de negócio

impostas ao jogo em específico. Por este motivo, torna-se necessário descrever as suas funcionalidades específicas, a fim de suprir confiabilidade na análise das arquiteturas, descrevendo as especificações de implementação sobre as arquiteturas Rudy, Willson e Salz.

3.1 Proposta

O atual trabalho propõe uma análise de consumo de recursos a arquiteturas de jogos MMORPG, em específico para as arquiteturas Rudy (2.4.4), Willson (2.21) e Salz (2.4.5).

Esta análise contribuirá a melhorar técnicas de desenvolvimento de jogos massivos, reduzindo custos de manutenção de tais serviços.

3.2 Critérios de análise

A fim de guiar um padrão para todas as arquiteturas analisadas, será utilizado um padrão de regra de negócios para os serviços desenvolvidos. Este padrão seguirá as seguintes regras de negócio:

1. Ambiente tridimensional, com posicionamento bidimensional: O ambiente de jogo será computado em 3D dimensões, porém os personagens são fixos em um eixo.
2. Troca de mensagens locais e globais: O serviço deve permitir a troca de mensagens com os demais personagens ao seu redor, dentro do seu campo de visão, e com todos os personagens de um mundo.
3. Movimentação no ambiente: O serviço deve permitir o personagem a movimentar-se da sua posição atual para outra posição.
4. Realizar ações no ambiente: O serviço deve permitir o usuário a interagir com itens, NPCs e outros jogadores.

3.2.1 Ambiente Tridimenssional

3.2.2 Troca de mensagens locais e globais

3.2.3 Realizar ações no ambiente

3.3 Plano de testes

Descrever como cenários, critérios e objetivos de testes.

4 Considerações & Próximos passos

Este TCC tem como objetivo levantar questões relacionadas a complexidade de coordenação de arquiteturas de microsserviços para jogos MMORPG. Estas arquiteturas são complexas devido a quantidade de elementos em sua arquitetura a fim de suprir a demanda do mercado para estes jogos. Sendo assim, para entender melhor as características de tais arquiteturas, este trabalho propõe a realização de uma análise sobre arquiteturas distintas expressas na literatura.

O levantamento bibliográfico é um dos passos iniciais para guiar este objetivo. Nessa etapa apresentou-se conceitos de jogos MMORPG, padrões de projetos para tais jogos, protocolos utilizados e técnicas de desenvolvimento. Sobre estes conceitos foi descrito o problema referenciado neste TCC, no qual aplicaram-se alguns dos conceitos descritos anteriormente.

Após, foram analisados trabalhos relacionados cujos os objetivos são de análise de arquiteturas de microsserviços ou análise de arquiteturas de jogos MMORPG. Para guiar o início da proposta, foi descrito as arquiteturas encontradas na literatura, na qual serão utilizadas no plano de testes do atual trabalho. Na segunda parte da proposta, foi apresentado o plano de testes a fim de dar suporte a análise das arquiteturas.

Para o TCC-II será desenvolvido as arquiteturas de microsserviços para jogos MMORPG descritas na proposta do atual trabalho. Também será desenvolvido testes de carga automatizado a fim de facilitar a etapa de testes das arquiteturas. Por fim, os dados coletados por um sistema de análise de recursos desenvolvido no TCC-II, durante os testes, serão analisados a fim de gerar uma análise das arquiteturas de microsserviços para jogos MMORPG que levantará questões de desempenho presentes nela. Espera-se obter características específicas diferentes de cada arquitetura durante esta análise, casos de uso onde cada arquitetura seja aplicável e solução de gargalos encontrados ns arquiteturas descritas.

4.1 Cronograma

Até o presente momento, o cronograma proposto no Plano do TCC foi seguido conforme o previsto, na ordem e nos prazos estipulados. As etapas presentes nesta seção foram definidas no Plano de TCC para atingir os objetivos propostos.

4.2 Etapas realizadas

1. **Levantamento e fichamento das referências:** Pesquisa de fontes para embasamento teórico do trabalho, com base nos objetivos específicos;
2. **Consolidação das referências:** Compreensão e seleção de artefatos literários que permitam atingir o objetivo do Trabalho de Conclusão de Curso I;
3. **Identificação e definição de arquiteturas descritas na literatura:** Enumeração e definir das arquiteturas de microsserviços descritas na literatura, bem como os seus objetivos;
4. **Especificação das arquiteturas selecionadas:** Especificar o funcionamento das arquiteturas selecionadas.
5. **Identificação e definição de simulações aplicáveis ao teste:** Eleger e definir a simulação a ser aplicada nos testes;
6. **Especificação da simulação elegida:** Especificar os requisitos;
7. **Escrita Trabalho de Conclusão de Curso I;**

4.3 Etapas a realizar

8. **Desenvolvimento da simulação:** Desenvolvimento da simulação para interagir com as arquiteturas de microsserviços;
9. **Desenvolvimento da arquitetura:** Desenvolvimento da arquitetura para executar os testes;
10. **Aplicação das arquiteturas selecionadas na pesquisa referenciada:** Aplicação das arquiteturas descritas sobre uma nuvem computacional;

Referências

- ACEVEDO, C. A. J.; JORGE, J. P. G. y; PATIÑO, I. R. Methodology to transform a monolithic software into a microservice architecture. In: *2017 6th International Conference on Software Process Improvement (CIMPS)*. Zacatecas, Mexico: IEEE, 2017. p. 1–6.
- ADAMS, A. R. E. *Fundamentals of Game Design (Game Design and Development Series)*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 2006. ISBN 0131687476.
- ADAMS, E. *Fundamentals of Game Design*. New Riders Publishing, 2014. ISBN 978-032192967-9. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/Fundamentals-Game-Design-Ernest-Adams/dp/0321929675>>.
- BARRI, I.; GINE, F.; ROIG, C. A hybrid p2p system to support mmorpg playability. In: *2011 IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications*. Banff, Alberta, Canada: IEEE, 2011. p. 569–574.
- BILTON, N. *Search Bits SEARCH Video Game Industry Continues Major Growth, Gartner Says*. 2011. Acessado em: 19/01/2018. Disponível em: <<https://bits.blogs-nytimes.com/2011/07/05/video-game-industry-continues-major-growth-gartner-says/>>.
- BLIZZARD. *StarCraft II*. 2010. [Online; accessed 8. May 2018]. Disponível em: <<https://starcraft2.com/en-us>>.
- BORELLA, M. Research note: Source models of network game traffic. v. 23, p. 403–410, 02 2000.
- BUCHINGER, D. *Sherlock Dengue 8: The Neighborhood - Um jogo sério colaborativo-cooperativo para combate à dengue*. 2014. Online; accessed 17. Apr. 2018. Disponível em: <http://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/1024-diego_buchinger_1_15167055468902_1024.pdf>.
- CHADWICK, J.; SNYDER, T.; PANDA, H. *Programming ASP.NET MVC 4: Developing Real-World Web Applications with ASP.NET MVC*. O'Reilly Media, 2012. ISBN 978-144932031-7. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Programming-ASP-NET-MVC-Developing-Applications/dp/1449320317>>.
- CLARKE, R. I.; LEE, J. H.; CLARK, N. Why Video Game Genres Fail: A Classificatory Analysis. *SURFACE*, 2015.
- CLARKE-WILLSON, S. *Guild Wars 2: Scaling from One to Millions*. 2013. [Online; accessed 1. Sep. 2018]. Disponível em: <<https://archive.org/details/GDC2013Willson>>.
- CLARKE-WILLSON, S. *Guild Wars Microservices and 24/7 Uptime*. 2017. Disponível em: <http://twvideo01.ubm-us.net/o1/vault/gdc2017/Presentations/Clarke-Willson_Guild Wars 2 microservices.pdf>.

- DEZA, E. D. M. M. *Encyclopedia of Distances*. Springer, 2009. ISBN 978-364200233-5. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Encyclopedia-Distances-Michel-Marie-Deza/dp/3642002331>>.
- DICE. *Battlefield*. 2013. [Online; accessed 8. May 2018]. Disponível em: <<https://www.battlefield.com/pt-br>>.
- EA. *FIFA 18 - Soccer Video Game - EA SPORTS Official Site*. 2018. [Online; accessed 8. May 2018]. Disponível em: <<https://www.easports.com/fifa>>.
- Exit Games. *Photon Unity Networking*. 2017. [Online; accessed 15. May 2018]. Disponível em: <<https://doc-api.photonengine.com/en/pun/current/index.html>>.
- Exit Games. *Serialization in Photon Engine*. 2018. [Online; accessed 29. Aug. 2018]. Disponível em: <<https://doc.photonengine.com/en-us/realtime/current/reference/serialization-in-photon>>.
- FARBER, J. Network game traffic modelling. In: *Proceedings of the 1st Workshop on Network and System Support for Games*. New York, NY, USA: ACM, 2002. (NetGames '02), p. 53–57. ISBN 1-58113-493-2. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/566500.566508>>.
- GOLDSMITH, T. "Cathode-ray tube amusement device". 1947. "Online; accessed 15. Apr. 2018". Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US2455992>>.
- GUINNESS. *Greatest aggregate time playing an MMO or MMORPG videogame (all players)*. 2013. [Online; accessed 23. Apr. 2018]. Disponível em: <<http://www.guinnessworldrecords.com/world-records/most-popular-free-mmorpg>>.
- HANNA, P. *Video Game Technologies*. 2015. Acessado em: 19/01/2018. Disponível em: <<https://www.di.ubi.pt/~agomes/tjv/teoricas/01-genres.pdf>>.
- HOWARD, E. et al. Cascading impact of lag on quality of experience in cooperative multiplayer games. In: *2014 13th Annual Workshop on Network and Systems Support for Games*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6. ISSN 2156-8138.
- HUANG, G.; YE, M.; CHENG, L. Modeling system performance in mmorpg. In: *IEEE Global Telecommunications Conference Workshops, 2004. GlobeCom Workshops 2004*. Northwestern University, USA: IEEE, 2004. p. 512–518.
- HUANG, J.; CHEN, G. Digital stb game portability based on mvc pattern. In: *2010 Second World Congress on Software Engineering*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 2, p. 13–16.
- IKEM, O. V. How We Solved Authentication and Authorization in Our Microservice Architecture. *Initiate*, Initiate, May 2018. Disponível em: <<https://initiate.andela.com/how-we-solved-authentication-and-authorization-in-our-microservice-architecture-994539d1b6e6>>.
- Internet Society. *XDR: External Data Representation Standard*. 2006. [Online; accessed 19. May 2018]. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc4506>>.
- JAJEX. *RuneScape Online Community*. 2018. Acessado em: 01/02/2018 às 01:05. Disponível em: <<http://www.runescape.com/community>>.
- JON, A. A. The development of mmorpg culture and the guild. v. 25, p. 97–112, 01 2010.

- JONES, M. et al. *JSON Web Token (JWT)*. 2015. [Online; accessed 1. May 2018]. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc7519>>.
- KHAZAEI, H. et al. Efficiency analysis of provisioning microservices. In: *2016 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*. Luxembourg, Austria: IEEE, 2016. p. 261–268.
- KIM, J. Y.; KIM, J. R.; PARK, C. J. Methodology for verifying the load limit point and bottle-neck of a game server using the large scale virtual clients. In: *2008 10th International Conference on Advanced Communication Technology*. Phoenix Park, Korea: IEEE, 2008. v. 1, p. 382–386. ISSN 1738-9445.
- KLEINA, N. *8 dos maiores mundos virtuais que já conhecemos*. 2018. [Online; accessed 17. Apr. 2018]. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/internet/129103-habbo-second-life-8-maiores-mundos-virtuais-conhecemos.htm>>.
- LENGYEL, E. *Mathematics for 3D Game Programming and Computer Graphics, Third Edition*. Cengage Learning PTR, 2011. ISBN 978-143545886-4. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Mathematics-Programming-Computer-Graphics-Third/dp/1435458869>>.
- LINIETSKY, A. M. J. *Godot Docs 3.0*. 2018. [Online; accessed 15. May 2018]. Disponível em: <<http://docs.godotengine.org/en/3.0>>.
- MDHR. *Cuphead*. 2017. [Online; accessed 8. May 2018]. Disponível em: <<https://store.steampowered.com/app/268910/Cuphead>>.
- MICROSOFT. *Age of Empires III - Age of Empires*. 2005. [Online; accessed 8. May 2018]. Disponível em: <<https://www.ageofempires.com/games/aoeiii>>.
- MOJANG. *How do I play multiplayer?* 2009. [Online; accessed 8. May 2018]. Disponível em: <<https://help.mojang.com/customer/en/portal/articles/429052-how-do-i-play-multiplayer->>.
- NADAREISHVILI, I. et al. *Microservice Architecture: Aligning Principles, Practices, and Culture*. O'Reilly Media, 2016. ISBN 978-149195625-0. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Microservice-Architecture-Aligning-Principles-Practices/dp/1491956259>>.
- NEWMAN, S. *Building Microservices*. O'Reilly Media, 2015. ISBN 978-149195035-7. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/Building-Microservices-Sam-Newman/dp/1491950358>>.
- RINGLER, R. *C# Multithreaded and Parallel Programming*. Packt Publishing - ebooks Account, 2014. ISBN 978-184968832-1. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Multithreaded-Parallel-Programming-Rodney-Ringler/dp/184968832X>>.
- RIOT. *Guia do Novo Jogador*. 2009. [Online; accessed 8. May 2018]. Disponível em: <<https://br.leagueoflegends.com/pt/game-info/get-started/new-player-guide>>.
- ROLLINGS, A.; ADAMS, E. *Andrew Rollings and Ernest Adams on Game Design*. New Riders, 2003. (NRG Series). ISBN 9781592730018. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Qc19ChiOUI4C>>.

RUDDY, M. *Inside Tibia, The Technical Infrastructure of an MMORPG*. 2011. Disponível em: <http://twvideo01.ubm-us.net/o1/vault/gdceurope2011/slides-/Matthias_Rudy_ProgrammingTrack_InsideTibiaArchitecture.pdf>.

SALDANA, J. et al. Traffic optimization for tcp-based massive multiplayer online games. In: *2012 International Symposium on Performance Evaluation of Computer Telecommunication Systems (SPECTS)*. Genoa, Italy: IEEE, 2012. p. 1–8.

SALZ, D. *Albion Online - A Cross-Platform MMO (Unite Europe 2016, Amsterdam)*. 2016. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/davidsalz54/albion-online-a-crossplatform-mmo-unite-europe-2016-amsterdam>>.

SALZ, D. *Albion Online - Software Architecture of an MMO*. talk at Quo Vadis, 2016. [Online; accessed 29. Aug. 2018]. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/davidsalz54/albion-online-software-architecture-of-an-mmo-talk-at-quo-vadis-2016-berlin?from_action=save>.

SCS. *Euro Truck Simulator 2*. 2016. [Online; accessed 8. May 2018]. Disponível em: <<https://eurotrucksimulator2.com>>.

SPORTV. *League of Legends ganha torneio de fim de ano organizado pela ABCDE*. 2018. [Online; accessed 17. Apr. 2018]. Disponível em: <<https://sportv.globo.com/site/e-sportv/noticia/league-of-legends-ganha-torneio-de-fim-de-ano-organizado-pela-abcde.ghml>>.

STATISTA. *Games market revenue worldwide in 2015, 2016 and 2018, by segment and screen (in billion U.S. dollars)*. 2017. Acessado em: 19/01/2018. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/278181/video-games-revenue-worldwide-from-2012-to-2015-by-source/>>.

STATISTA. *Global internet gaming traffic 2021 | Statistic*. 2018. [Online; accessed 19. Apr. 2018]. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/267190/traffic-forecast-for-internet-gaming>>.

STATISTA. *Global PC/MMO revenue 2015*. 2018. [Online; accessed 1. May 2018]. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/412555/global-pc-mmo-revenues>>.

STATISTA. *LoL player share by region 2017*. 2018. Online; accessed 17. Apr. 2018. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/711469/league-of-legends-lol-player-distribution-by-region>>.

SUZNJEVIC, M.; MATIJASEVIC, M. Towards reinterpretation of interaction complexity for load prediction in cloud-based mmorpgs. In: *2012 IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games (HAVE 2012) Proceedings*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 148–149.

THOMPSON, G. W. L. *Fundamentals of Network Game Development*. Cengage Learning, 2008. ISBN 978-158450557-0. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Fundamentals-Network-Game-Development-Lecky-Thompson/dp/1584505575>>.

VILLAMIZAR, M. et al. Infrastructure cost comparison of running web applications in the cloud using aws lambda and monolithic and microservice architectures. In: *2016 16th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid)*. Cartagena, Colombia: IEEE, 2016. p. 179–182.

XEROX. *High-level framework for network-based resource sharing*. 1976. [Online; accessed 19. May 2018]. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc707>>.

YARUSSO, A. *2600 Consoles and Clones*. 2006. Disponível em: <<http://www.atariage.com/2600/archives/consoles.html>>.

ZELESKO, M. J.; CHERITON, D. R. Specializing object-oriented rpc for functionality and performance. In: *Proceedings of 16th International Conference on Distributed Computing Systems*. [S.l.: s.n.], 1996. p. 175–187.