

---

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, Junho 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 Piegas 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

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

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

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>6</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>7</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b>	<b>8</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>9</b>
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	<b>10</b>
2.1 Jogos Eletrônicos . . . . .	10
2.1.1 Árvore de gêneros de jogos eletrônicos . . . . .	11
2.2 Jogos Massivos . . . . .	15
2.3 Arquitetura de Clientes MMORPG . . . . .	16
2.4 Arquitetura de Serviços MMORPG . . . . .	18
2.5 Arquitetura de Microserviços . . . . .	20
2.5.1 Protocolos para microserviços MMORPG . . . . .	22
2.6 Trabalhos Relacionados . . . . .	24
2.6.1 Correlação de desempenho e número de conexões . . . . .	24
2.6.2 Comparação de custo entre arquiteturas de microserviços e mono- líticas . . . . .	24
2.6.3 Interpretação da complexidade de interações em jogos massivos para prever consumo de recursos da rede . . . . .	24
<b>3 Proposta para análise de consumo de recursos computacionais</b>	<b>25</b>
<b>4 Considerações &amp; Próximos passos</b>	<b>26</b>





## Lista de Figuras

2.1	Árvore de gêneros de jogos eletrônicos simplificada. . . . .	12
2.2	Requisição de uma chamada de método pela visão do cliente. . . . .	16
2.3	Área de interesse com base na proximidade de um jogador . . . . .	17
2.4	Microserviços podem ter diferentes tecnologias . . . . .	21
2.5	Microserviços são escaláveis . . . . .	21
2.6	Cliente pode realizar requisições <i>Create Read Update Delete</i> (CRUD) ou <i>Remote Procedure Call</i> (RPC) . . . . .	23
2.7	Diagrama de requisições entre serviço e cliente com operações CRUD e RPC em uma arquitetura monolítico . . . . .	23
2.8	Diagrama de requisições entre serviço e cliente com operações CRUD e RPC em uma arquitetura de microserviços . . . . .	24

## **Lista de Tabelas**

2.1	Tipos de comunicação entre computadores populares em gêneros . . . . .	15
-----	--	----

## Lista de Abreviaturas

<b>API</b>	<i>Application Programming Interface</i>
<b>CRUD</b>	<i>Create Read Update Delete</i>
<b>FPS</b>	<i>First-person shooter</i>
<b>HTTP</b>	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
<b>JSON</b>	<i>JavaScript Object Notation</i>
<b>LAN</b>	<i>Local Area Network</i>
<b>MMO</b>	<i>Massively Multiplayer Online</i>
<b>MMORPG</b>	<i>Massively Multiplayer Online Role-Playing Game</i>
<b>MOBA</b>	<i>Multiplayer Online Battle Arena</i>
<b>MVC</b>	<i>Model-View-Controller</i>
<b>NPCs</b>	<i>Non-Playable Characters</i>
<b>P2P</b>	<i>Peer-to-peer</i>
<b>PaaS</b>	<i>Platform as a Service</i>
<b>POF</b>	<i>Point of View</i>
<b>REST</b>	<i>Representational State Transfer</i>
<b>RPC</b>	<i>Remote Procedure Call</i>
<b>RPG</b>	<i>Role-Playing Game</i>
<b>RTS</b>	<i>Real-Time Strategy</i>
<b>TCP</b>	<i>Transmission Control Protocol</i>
<b>TPS</b>	<i>Third-person Shooter</i>
<b>UDP</b>	<i>User Datagram Protocol</i>

# 1 Introdução

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

## 2 Fundamentação Teórica

### 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 desenhadas diretamente para algum hardware proprietário, sem sistema operacional, por muitas vezes sem utilizar comunicação por rede ou memória de disco (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 especificado (ADAMS, 2006). Dentre esses hardwares, iniciou-se o uso da rede de computadores para prover a interação entre jogadores de má-

quinas distintas (STATISTA, 2018a). Jogos como EA Habitat<sup>1</sup>, CipSoft Tibia<sup>2</sup> e Jajex Runescape<sup>3</sup> 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 em sua jogabilidade e desafio proposto ao jogar com milhares de jogadores (GUINNESS, 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 próximas conforme o seu gosto (CLARKE; LEE; CLARK, 2015).

Um gênero de jogo eletrônico é uma categoria específica para agrupar estilos de jogabilidade parecidos. Porém, 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). Cada gênero de jogo contém variações, para uma melhor classificação. A árvore pode ser visualizada pelo diagrama na Figura 2.1. O contexto breve de cada gênero é:

- **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), Cliente/Servidor ou *Peer-to-peer* (P2P) (ADAMS, 2006).

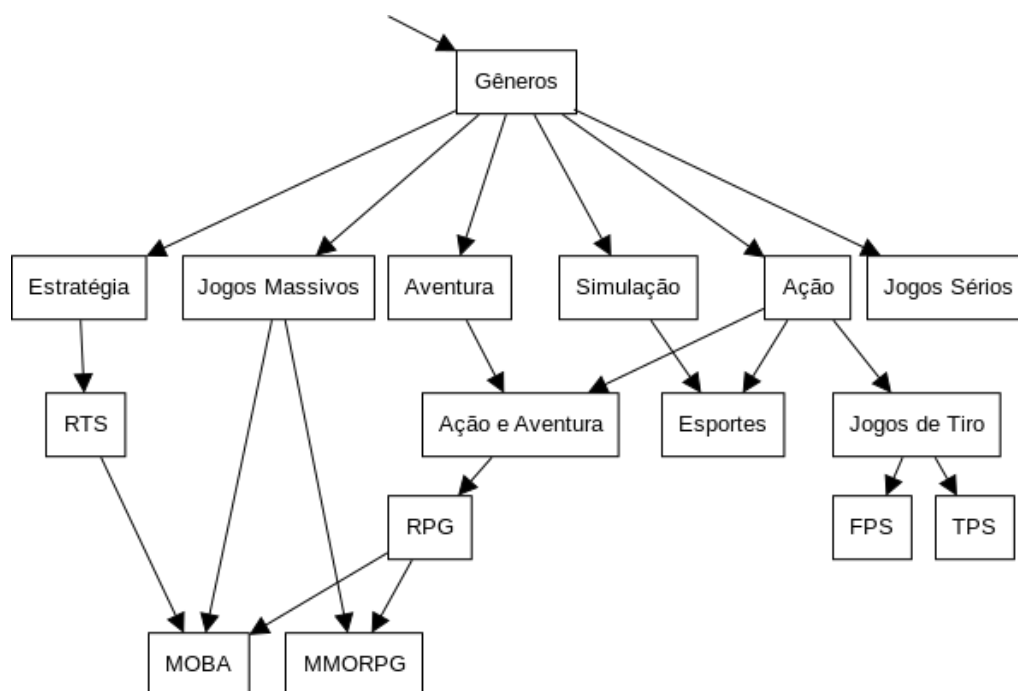
---

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

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

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

Figura 2.1: Árvore de gêneros de jogos eletrônicos simplificada.



Adaptado de: (ADAMS, 2006)

- *Real-Time Strategy* (RTS): Utiliza as características de um jogo de estratégia, porém esse subgênero indica que as jogadas dos jogadores não são atômicas. 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). SecondLife<sup>4</sup> 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 Cliente/Servidor e *web services*.
  - *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 po-

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

pularmente conhecido pelos títulos Blizzard Dota 2<sup>5</sup> e Riot League of Legends<sup>6</sup>. O jogo League of Legends obteve 100 milhões de usuários ativos em 2016 (STATISTA, 2018b), além de ter um torneio nacional e mundial (SPORTV, 2018). É popular nesse subgênero utilizar tecnologias como LAN, P2P e Cliente/Servidor.

- 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 e aventura) e com objetivos guiados por *Non-Playable Characters* (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 WarCraft<sup>7</sup>. A grande parte dos jogos MMORPG utilizam tecnologia Cliente/Servidor.
- 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 Cliente/Servidor, 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 Zelda<sup>8</sup>. 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 *web services*.
  - Esportes: Trata somente da simulação de esportes, nos quais o(s) time(s) podem ser controlados tanto por uma inteligência artificial quanto por jogadores

---

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

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

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

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



online (ADAMS, 2006). O jogo FIFA<sup>9</sup> 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, Cliente/Servidor e *web services*.
  - 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 jogador nesse gênero (ADAMS, 2006). É comum encontrar tecnologias LAN, P2P ou Cliente/Servidor.
    - \* *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 Cliente/Servidor.
    - \* *Third-person Shooter* (TPS): Diferente dos jogos FPS, os jogos TPS utilizam cameras soltas no cenário no qual o jogador é visível na cena exibida (HANNA, 2015; ADAMS, 2006). É comum encontrar tecnologias LAN, P2P ou Cliente/Servidor.
- 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, Cliente/Servidor e *web services*.

Dentre vários gêneros, alguns gêneros utilizam popularmente algumas tecnologias de rede. A Tabela 2.1 indica a correlação de tecnologias de rede comuns nos gêneros.

O gênero abordado no atual trabalho refere-se à MMORPG. O desenvolvimento desse gênero segue determinados padrões de jogabilidade, tais como a interação com o mundo e demais jogadores (definidos na Seção 2.2).

---

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

Tabela 2.1: Tipos de comunicação entre computadores populares em gêneros

	LAN	P2P	CLIENTE / SERVIDOR	WEB SERVICE
ESTRATÉGIA	✓	✓	✓	
RTS	✓			
MMO			✓	✓
MOBA	✓	✓	✓	
MMORPG			✓	✓
AVENTURA	✓	✓	✓	
AÇÃO	✓	✓	✓	✓
AÇÃO E AVENTURA	✓	✓	✓	
SIMULAÇÃO				✓
ESPORTES	✓	✓		
FPS	✓		✓	
TPS	✓		✓	
JOGOS SÉRIOS	✓	✓	✓	✓

## 2.2 Jogos Massivos

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. O mercado de jogos MMORPG vem crescendo desde 2012 (BILTON, 2011), sendo no ano de 2016 um dos mais lucrativos (STATISTA, 2016). A sua projeção para 2018 é que sejam arrecadados mais de 30 bilhões de dólares americanos com esta categoria de jogos (STATISTA, 2017), um aumento de 20% a mais sobre o ano de 2016.

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:** É a aplicação que realizará as requisições com a interface do macroserviço, exibindo o estado de jogo de forma imersiva ao jogador.
- **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.

A maioria dos jogos MMORPG disponíveis no mercado estão implementados sobre uma arquitetura que executa sobre diversos servidores (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.

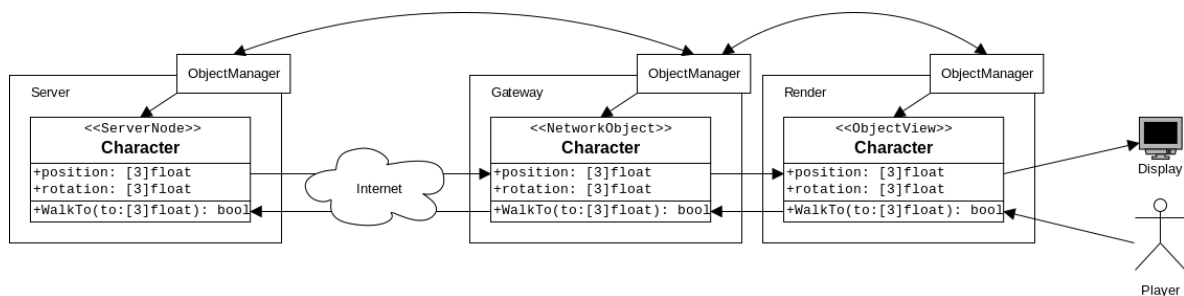
Para esse gênero de jogo se faz necessário que o serviço execute independente das características do cliente (SALZ, 2016), sendo necessário um gateway (apresentado na Seção 2.3) de integração entre cliente e serviço.

## 2.3 Arquitetura de Clientes MMORPG

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, 2016). Um cliente para um jogo MMORPG segue o estilo de arquitetura *Representational State Transfer* (REST), porém não obrigatoriamente sobre o protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). A fim de reduzir o custo operacional das requisições, as consultas podem ser escritas sobre um protocolo otimizado conveniente a aplicação na camada de transporte (e.g., *Transmission Control Protocol* (TCP), *User Datagram Protocol* (UDP), etc) (SALZ, 2016; WILLSON, 2017).

O módulo de *Gateway*, implementado dentro de um cliente de jogo MMORPG, é responsável por realizar as requisições ao servidor e aplicar as chamadas de métodos internas ao cliente para exibir o estado de jogo ao jogador (SALZ, 2016). Ele pode ser encontrado na Figura 2.2.

Figura 2.2: Requisição de uma chamada de método pela visão do cliente.



Adaptado de: (SALZ, 2016)

A Figura 2.2 refere-se a uma visão macro de uma requisição realizada pelo

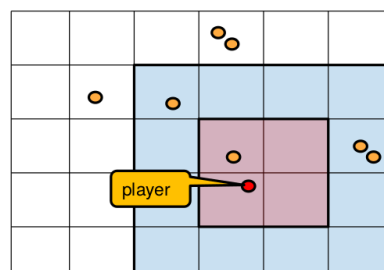
jogador. Nessa requisição, o jogador realiza o pedido para o seu personagem caminhar até um determinado ponto. Essa requisição será processada pelo servidor, que atualizará sua posição e retornará ao Gateway a nova posição do personagem, exibindo o personagem em uma nova posição.

Para facilitar o desenvolvimento, a aplicação de cliente é dividida em diversos módulos, sendo os dois principais (SALZ, 2016):

- **Renderização:** É o processo que transformará a estrutura de dados obtida do serviço de forma gráfica ao jogador utilizando um motor gráfico (*e.g.*, Unity3D<sup>10</sup>, GodotEngine<sup>11</sup>, etc).
- **Gateway:** É o módulo responsável pela comunicação entre o serviço e o cliente, a fim de requisitar chamadas de métodos ou obter informações do servidor.

Também existe um módulo nomeado *ObjectManager* na Figura 2.2 que gerenciara a criação e deleção de objetos do mundo. Tanto os objetos em cena quanto o *ObjectManager* podem ser utilizados ora pelo jogador ora pelo serviço a fim de sincronizar o cliente ou realizar requisições ao serviço. Entretanto, existe um filtro de requisições maliciosas a fim de garantir a consistência do jogo (SALZ, 2016). Esse filtro pode ser implementado no Gateway e/ou no serviço (Seção 2.4).

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



Fonte: (SALZ, 2016)

Uma característica importante do *ObjectManager* é a requisição e exibição de objetos com base na área de interesse do jogador. Essa característica reduz problemas de trapaça por meio de clientes adulterados (visto que limita a interação de objetos do cliente) e reduz o tráfego de dados na rede tanto para o cliente quanto para o serviço (SALZ, 2016; WILLSON, 2017).

<sup>10</sup>Unity3D: <https://www.unity3d.com>

<sup>11</sup>GodotEngine: <https://www.godotengine.org>

A abordagem de engenharia por utilizar um Gateway permite que o serviço mude de arquitetura sem a necessidade de uma refatoração completa ao módulo de renderização (SALZ, 2016; WILLSON, 2017). Essa mesma abordagem também facilita o desenvolvimento de uma suíte de testes do módulo de renderização independente do serviço (FREEMAN; PRYCE, 2009), podendo realizar testes utilizando o padrão de objetos Mock (BECK; ANDRES, 2004) para simular as requisições. Dessa forma, é possível garantir um padrão de integração desejado entre o serviço e o cliente utilizando baixo acoplamento, com ganho de desempenho na suíte de testes do cliente, sem a necessidade real de um serviço para testar o cliente.

Entretanto, se faz necessário que o gateway siga o mesmo padrão de integração requirida pela arquitetura na qual o jogo estará sendo executado. A Seção 2.4 tratará de explicar o funcionamento de uma arquitetura para serviços MMORPG.

## 2.4 Arquitetura de Serviços MMORPG

A maioria dos jogos MMORPG disponíveis no mercado estão implementados sobre uma arquitetura de serviço que executa sobre diversos servidores (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.

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 microsserviços:** 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 microserviços para suportar cargas maiores e diminuir o custo de manutenção (VILLAMIZAR et al., 2016).

Entretanto, se faz necessário compreender o funcionamento e padronização de desenvolvimento de microserviços atuais. Para isso, o padrão de arquiteturas de microserviços será abordado na Seção 2.5.

## 2.5 Arquitetura de Microserviços

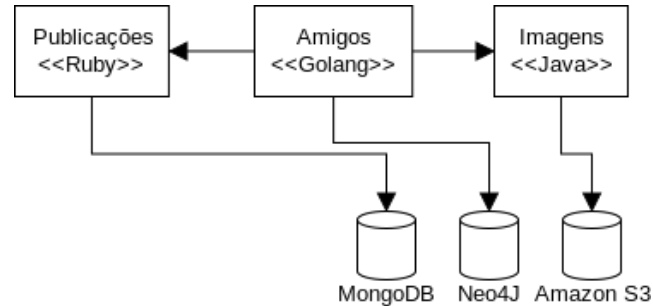
Entende-se por microserviço aplicações que executam operações menores de um macroserviço, da melhor forma possível (WILLSON, 2017; NEWMAN, 2015). O objetivo de uma arquitetura de microserviços é funcionar separadamente de forma autônoma, contendo baixo acoplamento (NEWMAN, 2015). Seu funcionamento deve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

Arquiteturas de microserviços 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 microserviço 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 microserviço.
- 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 microserviços, o macroserviço resultante poderá prover funcionalidades complexas.

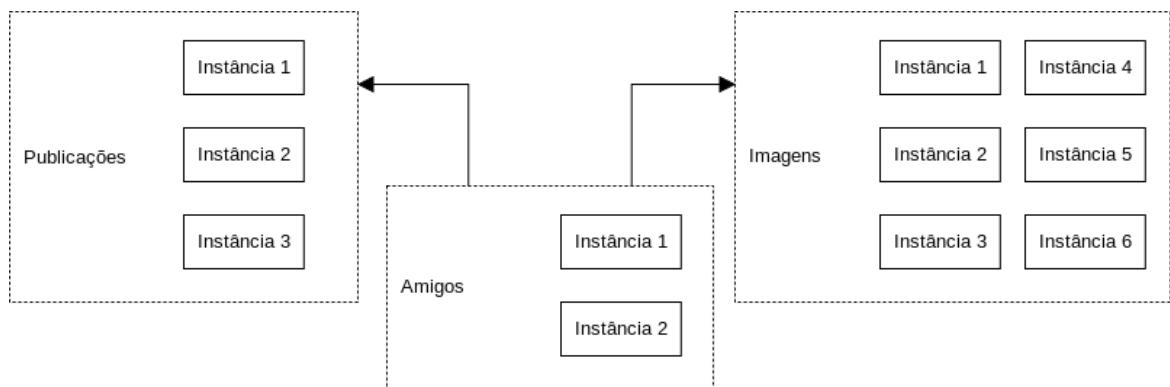
Figura 2.4: Microserviços podem ter diferentes tecnologias



Adaptado de: (NEWMAN, 2015)

O microserviço deverá ser uma entidade separada. Ela deve ser implantada como um sistema independente em um *Platform as a Service* (PaaS). 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).

Figura 2.5: Microserviços são escaláveis



Adaptado de: (NEWMAN, 2015)

Uma arquitetura de microserviços é escalável, como visível na Figura 2.5. Ela 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).



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 *JavaScript Object Notation* (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 desnecessária na requisição (HUANG; YE; CHENG, 2004). Por esse motivo se faz necessário ver as diferenças entre uma arquitetura de microserviços para MMORPG comparados a microserviços web.

### 2.5.1 Protocolos para microserviços MMORPG

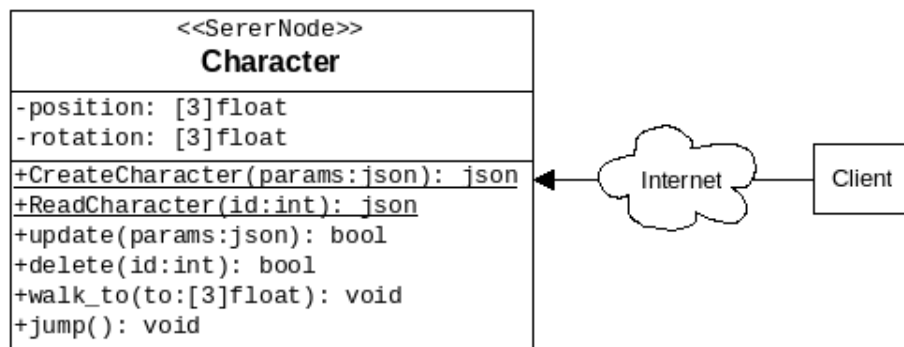
Um serviço MMORPG não utilizará protocolos com base no protocolo HTTP, mas ainda assim implementará um protocolo REST sobre o protocolo TCP a fim de realizar requisições a um serviço utilizando uma arquitetura de software *Model-View-Controller* (MVC) (CHADWICK; SNYDER; PANDA, 2012; THOMPSON, 2008). O protocolo REST permitirá ele, similar a técnica de armazenamento persistente CRUD, executar 4 métodos aos controladores de cada microserviço (SALDANA et al., 2012):

1. Criar: Permite criar um dado no serviço (*e.g.*, criar um personagem em sua conta, criar um pedido de amizade, etc).
2. Ler: Permite consultar um dado no serviço (*e.g.*, ler os personagens que estão em sua região, ler os itens, etc).
3. Atualizar: Permite atualizar um dado no serviço (*e.g.*, efetuar a compra de um item de NPCs, andar para um ponto do mapa, etc).
4. Deletar: Permite deletar um dado no serviço (*e.g.*, usar um item do inventário, deletar uma mensagem lida de um amigo, etc).

Porém, além de realizar as operações CRUD, se faz necessário a chamada de métodos específicos a um objeto. Pode-se associar a técnica de RPC (THOMPSON, 2008). Pode-se analisar um exemplo da interface disponível na Figura 2.6 e o diagrama de requisições na Figura 2.7.

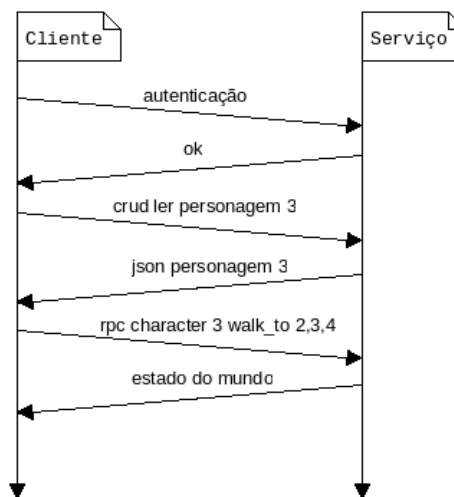
Uma técnica comum em jogos é a compressão de pacotes utilizando mapeamento hash de bytes (THOMPSON, 2008). Tanto o cliente quanto o serviço precisam ter

Figura 2.6: Cliente pode realizar requisições CRUD ou RPC



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 2.7: Diagrama de requisições entre serviço e cliente com operações CRUD e RPC em uma arquitetura monolítico



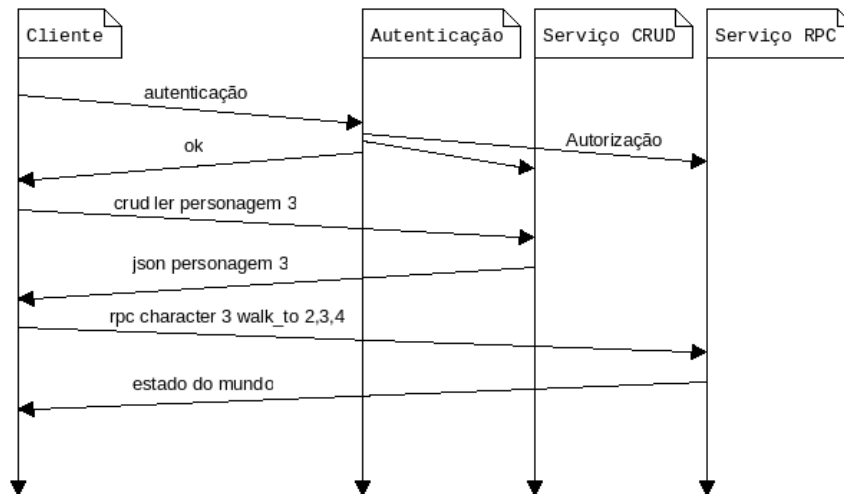
Fonte: Adaptado de (THOMPSON, 2008)

a mesma estrutura de dados. Dessa forma, é possível trocar o nome das funções requiridas 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 2.5, uma arquitetura de microserviços permite múltiplas tecnologias, pois a comunicação entre todos os elementos de um microserviço será 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 compreendida pela Figura 2.8.

Utilizando esse embasamento teórico sobre microserviços e arquiteturas de jogos MMORPG, pode-se analisar os trabalhos (Seção 2.6) relacionados com o tema proposto no atual documento.

Figura 2.8: Diagrama de requisições entre serviço e cliente com operações CRUD e RPC em uma arquitetura de microsserviços



Fonte: Elaborado pelo Autor

## 2.6 Trabalhos Relacionados

### 2.6.1 Correlação de desempenho e número de conexões

(HUANG; YE; CHENG, 2004)

### 2.6.2 Comparação de custo entre arquiteturas de microsserviços e monolíticas

(VILLAMIZAR et al., 2016)

### 2.6.3 Interpretação da complexidade de interações em jogos massivos para prever consumo de recursos da rede

(SUZNJEVIC; MATIJASEVIC, 2012)

## **3 Proposta para análise de consumo de recursos computacionais**

CAP 3

## 4 Considerações & Próximos passos

CONCLUSÃO

## 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>>.
- BECK, K.; ANDRES, C. *Extreme Programming Explained: Embrace Change, 2nd Edition (The XP Series)*. Addison-Wesley, 2004. ISBN 978-032127865-4. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Extreme-Programming-Explained-Embrace-Change/dp/0321278658>>.
- 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/>>.
- 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](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.
- FREEMAN, S.; PRYCE, N. *Growing Object-Oriented Software, Guided by Tests*. Addison-Wesley Professional, 2009. ISBN 978-032150362-6. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/Growing-Object-Oriented-Software-Guided-Tests/dp/0321503627>>.
- 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>>.

- 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.
- 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>>.
- 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>>.
- 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>>.
- 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>>.
- 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.ghtml>>.
- STATISTA. *Statistics and Facts on MMO/MMORPG gaming*. 2016. Acessado em: 19/01/2018. Disponível em: <<https://www.statista.com/topics/2290/mmo-gaming/>>.
- 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. *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.

WILLSON, S. C. *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](http://twvideo01.ubm-us.net/o1/vault/gdc2017/Presentations/Clarke-Willson\_Guild Wars 2 microservices.pdf)>.

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