

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CONTRATOS REST ROBUSTOS E LEVES: UMA  
ABORDAGEM EM DESIGN-BY-CONTRACT COM  
NEOIDL

LUCAS FERREIRA DE LIMA

ORIENTADOR: RODRIGO BONIFÁCIO DE ALMEIDA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: MTARH.DM - 017 A/99

BRASÍLIA/DF: JULHO - 2016.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CONTRATOS REST ROBUSTOS E LEVES: UMA  
ABORDAGEM EM DESIGN-BY-CONTRACT COM  
NEOIDL

LUCAS FERREIRA DE LIMA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO  
DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM EN-  
GENHARIA ELÉTRICA.

APROVADA POR:

---

Prof. Rodrigo Bonifácio de Almeida, DSc. (ENE-UnB)  
(Orientador)

---

Prof. Rafael Timóteo de Sousa Jr., DSc. (ENE-UnB)  
(Examinador Interno)

---

Prof. Henrique Emanuel Mostaert Rebêlo, DSc. (UFPE)  
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 11 DE JULHO DE 2016.

## DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a ...  
continuação .....

## AGRADECIMENTOS

(Página opcional) Agradeço .....  
continuação .....

# RESUMO

## CONTRATOS REST ROBUSTOS E LEVES: UMA ABORDAGEM EM DESIGN-BY-CONTRACT COM NEOIDL

**Autor:** Lucas Ferreira de Lima

**Orientador:** Rodigo Bonifácio de Almeida

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

**Brasília, julho de 2016**

*Contexto.* A demanda por integração entre sistemas heterogêneos fez aumentar a adoção de soluções baseadas em computação orientada a serviços – SOC, sendo o uso de serviços Web a estratégia mais comum para implementar serviços, com a adoção crescente do estilo arquitetural REST. Por outro lado, REST ainda não dispõe de uma notação padrão para especificação de contratos e linguagens como Swagger, YAML e WADL cumprem com o único propósito de descrever serviços, porém apresentam uma significativa limitação: são voltadas para computadores, tendo escrita e leitura complexas para humanos – o que prejudica a abordagem *Contract-first*, prática estimulada em SOC. Tal limitação motivou a especificação da linguagem NeoIDL<sup>1</sup>, concebida com o objetivo de ser mais expressiva para humanos, além de prover suporte a modularização e herança. *Problema.* Nenhuma dessas linguagens, incluindo a NeoIDL, dá suporte a contratos robustos, como os possíveis de serem descritos em linguagens ou extensões de linguagens com suporte a *Design-by-Contract*, exploradas tipicamente no paradigma de orientação a objetos. *Objetivos.* O objetivo geral deste trabalho é investigar o uso de construções de *Design-by-Contract* no contexto de SOC, verificando a viabilidade e utilidade de sua adoção na especificação de contratos e implementação de serviços REST. *Resultados e Contribuições.* Essa dissertação contribui tecnicamente com uma extensão da NeoIDL para DbC, contemplando dois tipos de precondição e pós-condição: uma básica, que valida o valor de atributos e dados de saída; e outra baseada em serviços, em que composições de serviços são acionadas para validar se o serviço deve ser executado (ou se foi executado adequadamente, em caso de pós-condições). Sob a perspectiva de validação empírica, esta dissertação contribui com dois estudos. Um primeiro, verificou os requisitos de expressividade e reuso da NeoIDL, sendo realizado no domínio de Comando e Controle em parceria com o Exército Brasileiro. O segundo, teve como maior interesse a análise da percepção de utilidade e facilidade de uso das construções DbC propostas para a NeoIDL, levando a respostas positivas em termos de simplicidade e aceitação dos efeitos sobre código gerado a partir de especificações NeoIDL.

---

<sup>1</sup>Além de ser uma linguagem (*Domain Specific Language*), a NeoIDL também possui um framework de geração de código para outras linguagens de propósito amplo.

# **ABSTRACT**

## **CONTRATOS REST ROBUSTOS E LEVES: UMA ABORDAGEM EM DESIGN-BY-CONTRACT COM NEOIDL**

**Autor: Lucas Ferreira de Lima**

**Orientador: Rodigo Bonifácio de Almeida**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

**Brasília, julho de 2016**

..

..

..

..

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA . . . . .	1
1.2	OBJETIVO GERAL . . . . .	2
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA . . . . .	3
1.4	ESTRUTURA . . . . .	4
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>5</b>
2.1	COMPUTAÇÃO ORIENTADA A SERVIÇO . . . . .	5
2.1.1	Terminologia . . . . .	6
2.1.2	Objetivos, benefícios e características . . . . .	8
2.1.3	Princípios SOA . . . . .	10
2.1.4	Contract First . . . . .	12
2.2	WEB SERVICES . . . . .	13
2.2.1	SOAP (W3C) . . . . .	13
2.2.2	REST (Fielding) . . . . .	14
2.3	DESIGN BY CONTRACT . . . . .	15
2.3.1	Implementações de DbC . . . . .	17
<b>3</b>	<b>NEOIDL: LINGUAGEM PARA ESPECIFICAÇÃO DE CONTRA-</b>	
	<b>TOS REST</b>	<b>20</b>
3.1	APRESENTAÇÃO . . . . .	20
3.1.1	Histórico e motivação . . . . .	20
3.1.2	Linguagem . . . . .	21
3.1.3	<i>Framework</i> . . . . .	24
3.2	AVALIAÇÃO EMPÍRICA . . . . .	26
3.2.1	Expressividade . . . . .	26
3.2.2	Potencial de reuso . . . . .	29
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>30</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>33</b>



<b>A</b>	<b>TRANFORMAÇÃO SWAGGER PARA NEOIDL</b>	<b>34</b>
<b>B</b>	<b>ESTRUTURA DA LINGUAGEM NEOIDL</b>	<b>36</b>
B.1	ESTRUTURA LÉXICA DA NEOIDL . . . . .	36
B.2	ESTRUTURA SINTÁTICA DA NEOIDL . . . . .	37

## LISTA DE TABELAS

3.1	Correlação da melhoria de expressividade com o tamanho da especificação em Swagger . . . . .	28
-----	--	----

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Exemplo de pré e pós-condições em Eiffel . . . . .	18
2.2	Exemplo de pré e pós-condições em JML . . . . .	19
2.3	Exemplo de pré e pós-condições em Spec# . . . . .	19
3.1	Tipos de dados definidos na NeoIDL . . . . .	22
3.2	Sent message service specification in NeoIDL . . . . .	23
3.3	Especificação de anotação na NeoIDL . . . . .	24
3.4	Gerador de código da NeoIDL . . . . .	25
A.1	Conversor de Swagger para NeoIDL . . . . .	35

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

SOC: Software Oriented Computing, modelo arquitetural baseado em serviços.

DbC: Design by Contract, mecanismos de garantias com condições na chamadas a métodos, funções, serviços, etc.

# 1 INTRODUÇÃO

A computação orientada a serviços ( *Service-oriented computing, SOC*) tem se mostrado uma solução de *design* de *software* que favorece o alinhamento às mudanças constantes e urgentes nas instituições [10]. Nessa abordagem, os recursos de software são empacotados como serviços, módulos bem definidos e auto-contidos, que provêm funcionalidades negociais e com independência de estado e contexto [31].

Os benefícios de SOC estão diretamente relacionados ao baixo acoplamento dos serviços que compõem a solução, de forma que as partes (nesse caso serviços) possam ser substituídas e evoluídas facilmente, ou ainda rearranjadas em novas composições. Contudo, para que isso seja possível, é necessário que os serviços possuam contratos bem escritos e independentes da implementação.

A relação entre quem provê e quem consome o serviço se dá por meio de um contrato. O contrato de serviço é o documento que descreve os propósitos e as funcionalidades do serviço, como ocorre a troca de mensagens, informações sobre as operações e condições para sua execução [13].

Nesse contexto, a qualidade da especificação do contrato é fundamental para o projeto de software baseado em SOC. Este trabalho de pesquisa aborda um aspecto importante para a melhoria da robustez de contratos de serviços: a construção de garantias mútuas por meio da especificação formal de contratos, agregando o conceito de *Design-by-Contract*.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

As linguagens de especificação de contratos para SOC apresentam algumas limitações. Por exemplo, a linguagem WSDL ( *Web-services description language*) [5] é considerada uma solução pouco expressiva que desestimula a abordagem *Contract First*. Por essa razão, especificações WSDL são usualmente derivadas a partir de anotações em código fonte *Code First*. Além disso, os conceitos descritos em contratos na linguagem WSDL não são diretamente mapeados aos elementos que compõem as interfaces do estilo arquitetural REST[14] ( *Representational State Transfer*).

Outras alternativas para REST, como Swagger[3] e RAML[2], usam linguagens de propósito geral (em particular JSON[1] e YAML[6]) adaptadas para especificação de contratos. Ainda que façam uso de contratos mais sucintos que WSDL, essas linguagens não se beneficiam da clareza típica das linguagens específicas para esse fim (como a IDL<sup>1</sup> CORBA[30]) e não oferecem mecanismos semânticos de extensibilidade e modularidade.

Com o objetivo de mitigar esses problemas, a linguagem NeoIDL foi proposta para simplificar a especificação de serviços REST com mecanismos de modularização, suporte a anotações, herança em tipos de dados definidos pelo desenvolvedor, e uma sintaxe simples e concisa semelhante às IDLs presentes em *Apache Thrift*<sup>TM</sup>[37] e *CORBA*<sup>TM</sup>[30].

Por outro lado, a NeoIDL, da mesma forma que WSDL, Swagger e RAML não oferece construções para especificação de contratos formais com aspecto comportamental como os presentes em linguagens que suportam DBC (*Design by Contract*) [26], como Eiffel, JML e Spec#. Em outras palavras, a NeoIDL admite apenas contratos fracos (*weak contracts*), sem suporte a construções com pré e pós-condições.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é investigar o uso de construções de *Design-by-Contract* no contexto de computação orientada a serviços, verificando a viabilidade e utilidade de sua adoção na especificação de contratos e implementação de serviços REST. Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos, sendo diretamente mapeados nas principais contribuições do trabalho.

- (OE1) Realizar análise empírica de expressividade e reuso da especificação de contratos em NeoIDL em comparação com *Swagger*, a partir de contratos reais do Exército Brasileiro (Seção 3.2.1);
- (OE2) Estender a sintaxe da NeoIDL para admitir construções de *Design-by-Contract*, com pré e pós condições para operações de serviços REST (Seção ??);
- (OE3) Implementar regras de transformação que traduzem construções de DbC NeoIDL em código de validação para o framework *Python Twisted* (Seção ??);
- (OE4) Coletar a percepção de desenvolvedores sobre a aceitação da especificação de contratos REST com *Design-by-Contract* na NeoIDL (Seção ??).

---

<sup>1</sup>Interface Description Languages.

### 1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A demanda por integração entre sistemas de várias origens e tecnologias diversas fez aumentar a adoção de soluções baseada em computação orientada a serviços. Isso se deve justamente à necessidade de tornar a interoperabilidade de soluções heterogêneas o menos acopladas possível, de modo que mudanças nos requisitos de negócio ou na inclusão de novos serviços sejam atendidas com simplicidade, eficiência e rapidez.

O uso de *Web Service*[13] é a forma mais comum de se implementar os serviços. O desenvolvimento de *Web Service*, que eram inicialmente projetados sobre a abordagem SOAP, com o tráfego de mensagens codificadas em XML[4], tem gradativamente se intensificado no sentido da utilização de REST[14].

Uma dos principais benefícios do uso de SOC está na possibilidade de reuso de seus componentes. Porém, reuso requer serviços bem construídos e precisos em relação a sua especificação [19]. A qualidade e precisão do contrato de serviço torna-se claramente um elemento fundamental para que auferir os benefícios da abordagem SOC.

Nesse contexto, REST não dispõe de um meio padrão para especificação de contratos. Linguagens como Swagger, YAML e WADL cumprem com o propósito de especificar contratos REST, porém padecem do mesmo problema: são voltados para computadores e de escrita e leitura complexa para humanos, o que prejudica a prática de *Contract-first*. A linguagem NeoIDL foi concebida com o objetivo de ser mais expressiva para humanos, além de outros propósitos, como expressividade e modularidade.

Todas essas linguagens tem, entretanto, uma outra limitação em comum: não dão suporte a contratos robustos, com garantias. A estratégia para superar essa limitação foi de buscar no paradigma de orientação a objetos, que é uma das principais influências de orientação a serviços [13], o conceito de *Design-by-Contract*. Ambas as abordagens, orientação a serviços e a objetos, tem em comum a ênfase no reuso e comunicação entre componentes (serviços e classes).

A principal contribuição deste trabalho de pesquisa de mestrado está em incluir garantias na especificação de contratos REST, estendendo a linguagem NeoIDL para suportar construções de *Design-by-Contract*.

## **1.4 ESTRUTURA**

Este trabalho está organizado em quatro capítulos...



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 COMPUTAÇÃO ORIENTADA A SERVIÇO

As empresas precisam estar preparadas para responder rapidamente e eficientemente a mudanças impostas por novas regulações, por aumento de competição ou ainda para usufruir de novas oportunidades. No contexto atual, em que as informações fluem de modo extremamente veloz, o tempo desperdiçado pelas organizações para se adaptar a um novo cenário tem um preço elevado, gerando expressiva perda de receita e, em determinados casos, podendo causar a falência.

No campo das instituições governamentais, a eficiência na condução das ações do Estado impõem que a estrutura de troca de informações entre os mais variados entes seja continuamente adaptável, mutuamente integrada. Pode-se tomar como exemplo a edição de nova lei que implique alteração no cálculo do tempo de serviço para aposentadoria. A nova fórmula deve se propagar para ser aplicada em várias instituições que compõem a máquina pública.

Nessas situações, os sistemas de informação das organizações devem possibilitar que a dinâmica de adaptação ocorra sem demora, sob pena de, em vez de serem fundamental para apoiar continuamente os processos de negócio, se tornem entrave para a ágil incorporação dos novos processos. Por outro lado, a nova configuração deve se manter íntegra e funcional com o cenário de TI existente, normalmente complexo.

A eficiência na integração entre as soluções de TI é determinante para que se consiga alterar uma parte sem comprometer todo o ecossistema. A integração possibilita a combinação de eficiência e flexibilidade de recursos para otimizar a operação através e além dos limites de uma organização, proporcionando maior interoperabilidade [32].

A computação orientada a serviços – SOC – endereça essas necessidades em uma plataforma que aumenta a flexibilidade e melhora o alinhamento com o negócio, a fim de reagir rapidamente a mudanças nos requisitos de negócio. Para obter esses benefícios, os serviços devem cumprir com determinados quesitos, que incluem alta autonomia ou baixo acoplamento [12]. Assim, o paradigma de SOC está voltado para o projeto de

soluções preparadas para constantes mudanças, substituindo-se continuamente pequenas peças – os serviços – por outras atualizadas.

Portando, o objetivo da SOC é conceber um estilo de projeto, tecnologia e processos que permitam às empresas desenvolver, interconectar e manter suas aplicações e serviços corporativos com eficiência e baixo custo. Embora esses objetivos não sejam novos, SOC procura superar os esforços prévios como programação modular, reuso de código e técnicas de desenvolvimento orientadas a objetos [33].

As vertentes mais visionárias da computação orientada a serviços prevêem, em seu estado da arte, uma coordenação de serviços cooperantes por todo o mundo, onde os componentes possam ser conectados facilmente em uma rede de serviços pouquíssimo acoplados e, assim, criar processos de negócio dinâmicos e aplicações ágeis entre organizações e plataformas de computação [22].

### 2.1.1 Terminologia

**Computação orientada a serviço** é um termo *guarda-chuva* para descrever uma nova geração de computação distribuída. Desse modo, é um conceito que engloba vários pontos, como paradigmas e princípios de projeto, catálogo de padrões de projeto, padronização de linguagem, modelo arquitetural específico, e conceitos correlacionados, tecnologias e plataformas. A computação orientada a serviços é baseada em modelos anteriores de computação distribuída e os estendem com novas camadas de projeto, aspectos de governança, e uma grande gama de tecnologias de implementações especializadas, em grande parte baseadas em *Web Service* [13].

**Orientação a serviço** é um paradigma de projeto cuja intenção é a criação de unidades lógicas moldadas individualmente para podem ser utilizadas conjuntamente e repetidamente, atendendo assim a objetivos e funções específicos associados com SOA e computação orientada a serviço.

A lógica concebida de acordo com orientação a serviço pode ser designada de **orientada a serviço**, e as unidades da lógica orientada a serviço são referenciadas como **serviços**. Como um paradigma de computação distribuída, a orientação a serviço pode ser comparada a orientação a objetos, de onde advém várias de suas raízes, além da influência de *Interface Description Languages* – EAI, *Business Process Modeling* – BPM e *Web Service*[13].

A orientação a serviços é composta principalmente de oito princípios de projeto (os quais serão descritos na subseção 2.1.3).

**Arquitetura orientada a serviço - SOA** representa um modelo arquitetural cujo objetivo é elevar a agilidade e a redução de custos e ao mesmo tempo reduzir o peso da TI para a organização. Isso é feito colocando o serviço como elemento central da representação lógica da solução [13].

Como uma arquitetura tecnológica, uma implementação SOA consiste da combinação de tecnologias, produtos, APIs, extensões da infraestrutura, etc. A implantação concreta de uma arquitetura orientada a serviço é única para cada organização, entretanto é caracterizada pela introdução de tecnologias e plataformas que suportam a criação, execução e evolução de soluções orientadas a serviços. O resultado é a formação de um ambiente projetado para produzir soluções alinhadas aos princípios de projeto de orientação a serviço.

Segundo Thomas Erl [13], o termo arquitetura orientada a serviço – SOA – vem sendo amplamente utilizado na mídia e nos produtos de divulgação de fabricantes e se tornado quase que sinônimo de computação orientada a serviço – SOC.

**Serviço** é a unidade da solução no qual foi aplicada a orientação a serviço. É a aplicação dos princípios de projeto de orientação a serviço que distigue uma unidade de lógica como um serviço comparada a outras unidades de serviços que podem existir isoladamente como um objeto ou componente [13].

Após a modelagem conceitual do serviço, os estágios de projeto e desenvolvimento produzem um serviço que é um programa de *software* independente com características específicas para suportar a realização dos objetivos associados a computação orientada a serviço.

Cada serviço possui um contexto funcional distinto e é composto de uma lista de capacidades relacionadas a esse contexto. Então um serviço pode ser considerado um conjunto de capacidades descritas em seu contrato.

**Contrato de serviço** é o conjunto de documentos que expressam as meta-informações do serviço, sendo a parte que descreve a sua interface técnica a mais fundamental. Esses documentos compõem o contrato técnico do serviço, cuja essência é estabelecer uma API com as funcionalidades providas pelo serviço por meio de suas capacidades [13].

Os serviços implementados como *Web Service* SOAP normalmente são descritos em arquivos *Web Service Description Language* – WSDL, *XML schemas* and políticas (*WS-policy*). Já os serviços implementados como *Web Service* REST

não possuem uma linguagem padrão para especificação de contratos. Já foram propostas algumas alternativas como WADL [16], Swagger [3], e NeoIDL [23].

O contrato de serviço também pode ser composto de documentos de leitura humana, como os que descrevem níveis de serviços (*SLA*), comportamentos e limitações. Muitas dessas características também podem ser descritas em linguagens formais (para processamento computacional).

No contexto de orientação a serviço, o projeto do contrato do serviço é de suma importância de tal forma que o princípio de projeto contrato de serviço padronizado é dedicado exclusivamente para cuidar da contratos de serviços uniformes e com qualidade [13].

### 2.1.2 Objetivos, benefícios e características

De modo diferente de arquiteturas convencionais, ditas monolíticas, em que os sistemas são concebidos agregando continuamente funcionalidades a um mesmo pacote de *software*, a arquitetura orientada a serviço prega o projeto de pequenas aplicações distribuídas que podem ser consumidas tanto por usuários finais como por outros serviços [33].

A unidade lógica da arquitetura orientada a serviços é exatamente o serviço. Serviços são pequenos *softwares* que provêem funcionalidades específicas para serem reutilizadas em várias aplicações. Cada serviço é uma entidade isolada com dependências limitadas de outros recursos compartilhados [36]. Assim, é formada uma abstração entre os fornecedores e consumidores dos serviços, por meio de baixo acoplamento, e promovendo a flexibilidade de mudanças de implementação sem impacto aos consumidores.

A arquitetura SOC busca atingir um conjunto de objetivos e benefícios [11]:

- (a) Ampliar a iterperabilidade intrínseca, de modo a se ter uma rápida resposta a mudanças de requisitos de negócio por meio da efetiva reconfiguração das composições de serviços;
- (b) Ampliar a federação da solução, permitindo que os serviços possam ser evoluídos e governados individualmente, a partir da uniformização de contratos;
- (c) Ampliar a diversificação de fornecedores, fazendo com que se possa evoluir a arquitetura em conjunto com o negócio, sem ficar restrito a características de derminados

fornecedores;

- (d) Ampliar o alinhamento entre a tecnologia e o negócio, especializando-se alguns serviços ao contexto do negócio e possibilitando sua evolução;
- (e) Ampliar o retorno sobre investimento, pois muitos serviços podem ser rearranjados em novas composições sem que se tenha que se construir grandes soluções de custo elevado;
- (f) Ampliar a agilidade, remontando as composições por reduzido esforço, beneficiando-se do reuso e interoperabilidade nativas dos serviços;
- (g) Reduzir o custo de TI, como resultado de todos os benefícios acima citados.

Para possibilitar que esses benefícios sejam atingidos, quatro características são observadas em qualquer plataforma SOA. A primeira é o direcionamento efetivo ao negócio, levando-se em conta dos objetivos estratégicos de negócio na concepção do projeto arquitetural. Se isso não ocorrer, é inevitável que o desalinhamento com os requisitos de negócio cheguem a níveis muito elevados bem rapidamente [11].

A segunda característica é a independência de fabricante. O projeto arquitetural que considere apenas um fabricante específico levará inadvertidamente a implantação dependente de características proprietárias. Essa dependência também reduzirá a agilidade na reação às mudanças e tornará a arquitetura inefetiva. A arquitetura orientada a serviço deve fazer uso de tecnologias providas pelos fornecedores, sem, no entanto, se tornar dependente dela, por meio de APIs e protocolos padrões de mercado.

Outra característica da aplicação da plataforma SOA é os serviços serem considerados recursos corporativos, ou seja, da empresa como um todo. Serviços desenvolvidos para atender um único objetivo perdem esta característica e se assemelham a soluções de propósito específico, tal como soluções monolíticas. O modelo arquitetural deve se guiar pela premissa de que os serviços serão compartilhados por várias áreas da empresa ou farão parte de soluções maiores, como serviços compartilhados.

A capacidade de composição é a quarta característica. Os serviços devem ser projetados não somente para serem reusados, mas também possuir flexibilidade para serem compostos em diferentes estruturas de variadas soluções. Confiabilidade, escalabilidade, troca de dados em tempo de execução com integridade são pontos chave para essa característica.

### 2.1.3 Princípios SOA

O paradigma de orientação a serviço é estruturado em oito princípios fundamentais [13]. São eles que caracterizam a abordagem SOA e a sua aplicação fazem com que um serviço se diferencie de um componente ou de um módulo. Os contratos de serviços permeiam a maior parte destes princípios:

**Contrato padronizado - Serviços dentro de um mesmo inventário estão em conformidade com os mesmos padrões de contrato de serviço.** Os contratos de serviços são elementos fundamentais na arquitetura orientada a serviço, pois é por meio deles que os serviços interagem uns com os outros e com potenciais consumidores. Este princípio tem como foco principal o contrato de serviço e seus requisitos. O padrão de projeto *Contract-first* é uma consequência direta deste princípio [13].

**Baixo acoplamento - Os contratos de serviços impõem aos consumidores do serviço requisitos de baixo acoplamento e são, os próprios contratos, desacoplados do seu ambiente.** Este princípio também possui forte relação com o contratos de serviço, pois a forma como o contrato é projetado e posicionado na arquitetura é que gerará o benefício do baixo acoplamento. O projeto deve garantir que o contrato possua tão somente as informações necessárias para possibilitar a compreensão e o consumo do serviço, bem como não possuir outras características que gerem acoplamento.

São considerados negativos, e que devem ser evitados, os acoplamentos

- (a) do contrato com as funcionalidades que ele suporta, agregando ao contrato características específicas dos processos que o serviço atende;
- (b) do contrato com a sua implementação, invertendo a estratégia de conceber primeiramente o contrato;
- (c) do contrato com a sua lógica interna, expondo aos consumidores características que levem os consumidores a inadvertidamente aumentarem o acoplamento;
- (d) do contrato com a tecnologia do serviço, causando impactos indesejáveis em caso de substituição de tecnologia.

Por outro lado, há um tipo de acoplamento positivo que é o que gera dependência da lógica em relação ao contrato [13]. Ou seja, idealmente a implementação do

serviço deve ser derivada do contrato, podendo se ter inclusive a geração de código a partir do contrato.

**Abstração - Os constratos de serviços devem conter apenas informações essenciais e as informações sobre os serviços são limitadas àquelas publicadas em seus contratos.** O contrato é a forma oficial a partir da qual o consumidor do serviço faz seu projeto e tudo o que está além do contrato deve ser desconhecido por ele. Por um lado este princípio busca a ocultação controlada de informações. Por outro, visa a simplificação de informações do contrato de modo a assegurar que apenas informações essenciais estão disponíveis.

**Reusabilidade - Serviços contém e expressam lógica agnóstica e podem ser disponibilizados como recursos reutilizáveis.** Este princípio contribui para se entender o serviço como um produto e seu contrato com uma API genérica para potenciais consumidores. Essa abordagem aplicada ao projeto dos serviços leva a desenhá-lo com lógicas não dependentes de processos de negócio específicos, de modo a torná-los reutilizáveis em vários processos.

**Autonomia - Serviços exercem um elevado nível de controle sobre o seu ambiente em tempo de execução.** O controle do ambiente não está ligado a dependência do serviço à sua plataforma em termos de projeto, mas sim ao aumento da confiabilidade sobre a execução e redução da dependência dos recursos sobre os quais não se tem controle. O que se busca é a previsibilidade sobre o comportamento do serviço.

**Ausência de estado - Serviços reduzem o consumo de recursos restringindo a gestão de estado das informações apenas a quando for necessário.** Este princípio visa reduzir ou mesmo remover a sobrecarga gerada pelo gerenciamento do estado de cada operação, aumentando a escalabilidade da plataforma de arquitetura orientação a serviço como um todo. Na composição do serviço, o serviço deve armazenar apenas os dados necessários para completar o processamento, enquanto se aguarda o processamento do serviço acionado.

**Descoberta de serviço - Serviços devem conter metadados por meio dos quais os serviços possam ser descobertos e interpretados.** Tornar cada serviço de fácil descoberta e interpretação pelas equipes de projeto é o foco deste princípio. Os próprios contratos de serviço devem ser projetados para incorporar informações que auxiliem na sua descoberta.

**Composição - Serviços são participantes efetivos de composição, independentemente do tamanho ou complexidade da composição.** O princípio

da composição faz com que os projetos de serviços sejam projetados para possibilitar que eles se tornem participantes de composições. Deve-se levar em conta, entretanto, os outros princípios no planejamento de uma nova composição, considerando a complexidade das composições a serem formadas.

#### 2.1.4 Contract First

O princípio do baixo acoplamento tem por objetivo principal reduzir o acoplamento entre o cliente e o fornecedor do serviço. Há vários tipos de acopamentos negativos, como citado na subseção 2.1.3. Porém, um acoplamento é considerado positivo e desejável: da implementação a partir do contrato. Ou seja, a lógica do serviço deve corresponder ao que está especificado no contrato.

Duas abordagens podem ser seguidas para se produzir esse efeito. A primeira é a geração do contrato a partir da lógica implementada, conhecida como *Code-first*. A outra propõe um sentido inverso, partindo-se do contrato para a geração do código, chamada *Contract-first*. A abordagem *Contract-first* é recomendada para a arquitetura orientada a serviço [13].

Embora muitas vezes preferível pelo desenvolvedor, a desvantagem do uso *Code-first* está no elevado impacto que alterações na implementação causam ao contrato, fazendo com que os clientes dos serviços sejam também afetados. Reduz-se a flexibilidade e extensibilidade, de modo que o reuso é prejudicado. Ainda, eleva-se o risco de os serviços serem projetados para aplicações específicas e não voltados para reuso e composição [20].

A abordagem *Contract-first* preocupa-se principalmente com a clareza, completude e estabilidade do contrato para os clientes dos serviços. Toda a estrutura da informação é definida sem a preocupação sobre restrições ou características das implementações subjacentes. Do mesmo modo, as capacidades são definidas para atenderem a funcionalidades a que se destinam, porém com a preocupação em se promover estabilidade e reuso.

As principais vantagens do *Contract-first* estão no baixo acoplamento do contrato em relação a sua implementação, na possibilidade de reuso de esquemas de dados (XML ou JSON Schema), na simplificação do versionamento e na facilidade de manutenção



[20]. A desvantagem está justamente na complexidade de escrita do contrato. Porém várias ferramentas já foram e vem sendo desenvolvidas para facilitar essa tarefa.

## 2.2 WEB SERVICES

*Web Service* são aplicações modulares e autocontidas que podem ser publicadas, localizadas e acessadas pela *Web* [8]. A diferença entre o *Web Service* e a aplicação *Web* propriamente dita é que o primeiro se preocupa apenas com o dado gravado ou fornecido, deixando para o cliente a atribuição de apresentar a informação [36].

A necessidade das organizações de integrar suas soluções, seja entre os sistemas internos ou entre esses e sistemas de outras empresas [35], não é recente. Essa é uma das principais motivações do uso de *Web Service*, por possibilitar que soluções construídas com tecnologias distintas possam trocar informações por meio da *Web*. Nesse contexto, as arquiteturas orientadas a serviço fazem amplo uso de *Web Service* como meio para disponibilização de serviços.

Há dois tipos de *Web Service*: baseados em SOAP e baseados em REST. Os mais diversos tipos de aplicações podem ser concebidas utilizando *Web Services* SOAP ou REST, situação também aplicável a serviços. Originalmente os serviços utilizaram *Web Service* SOAP, trafegando as informações em uma mensagem codificada em um formato de troca de dados (XML), por meio do protocolo SOAP (seção 2.2.1). Entretanto, a adoção de *Web Service* REST (seção 2.2.2) tem ganhado popularidade [29].

### 2.2.1 SOAP (W3C)

SOAP – *Simple Object Access Protocol* – é um protocolo padrão W3C que provê uma definição de como trocar informações estruturadas, por meio de XML, entre partes em um ambiente descentralizado ou distribuído [5]. SOAP é um protocolo mais antigo que REST, e foi desenvolvido para troca de informações pela Internet se utilizando de protocolos como HTTP, SMTP, FTP, sendo o primeiro o mais comumente utilizado.

Por ser anterior, SOAP é o padrão de *Web Service* mais comumente utilizado pela indústria. Algumas pessoas chegam a tratar *Web Service* apenas como SOAP e WSDL [36]. SOAP atua como um envelope que transporta a mensagem XML, e possui vastos padrões para transformar e proteger a mensagem e a transmissão.

### 2.2.1.1 Especificação de contratos

Os contratos em SOAP são especificados no padrão WSDL – *Web Services Description Language* – que define uma gramática XML para descrever os serviços como uma coleção de *endpoints* capazes de atuar na troca de mensagens. As mensagens e operações são descritas abstratamente na primeira seção do documento. Uma segunda seção, dita concreta, estabelece o protocolo de rede e o formato das mensagens.

Muitas organizações preferem utilizar SOAP por ele dispor de mais mecanismos de segurança e tratamento de erros [36]. Além disso a tipagem de dados é mais forte em SOAP que em REST [29].

### 2.2.2 REST (Fielding)

O termo REST foi criado por Roy Fielding, em sua tese de doutorado [14], para descrever um modelo arquitetural distribuído de sistemas hipermedia. Um *Web Service* REST é baseado no conceito de recurso (que é qualquer coisa que possua uma *Uniform Resource Identifier* – URI) que pode ter zero ou mais representações [17].

O estilo arquitetural REST é cliente-servidor, em que o cliente envia uma requisição por um determinado recurso ao servidor e este retorna uma resposta. Tanto a requisição como a resposta ocorrem por meio da transferência de representações de recursos [29], que podem ser de vários formatos, como XML e JSON [36]. Toda troca de informações ocorre por meio do protocolo HTTP, com uma semântica específica para cada operação:

1. HTTP GET é usado para obter a representação de um recurso.
2. HTTP DELETE é usado para remover a representação de um recurso.
3. HTTP POST é usado para atualizar ou criar a representação de um recurso.
4. HTTP PUT é usado para criar a representação de um recurso.

As transações são independentes entre si e com as transações anteriores, pois o servidor não guarda qualquer informação de sessão do cliente. Todas as informações de estado são trafegadas nas próprias requisições, de modo que as respostas também são independentes. Essas características tornam os *Web Services* REST simples e leves [29].

O uso de REST tem se tornado popular por conta de sua flexibilidade e performance em comparação com SOAP, que precisa envelopar suas informações em um pacote XML [29], de armazenamento, transmissão e processamento onerosos.

#### 2.2.2.1 Especificação de contratos

Ao contrário de SOAP, REST não dispõe de um padrão para especificação de contratos. Essa carência, que no início não era considerada um problema, foi se tornando uma necessidade cada vez mais evidente a medida em que se amplia o conjunto de *Web Services* implantados. Atualmente, existem algumas linguagens com o propósito de documentar o contrato REST.

A linguagem mais popular atualmente é *Swagger* cujo projeto se iniciou por volta de 2010 para atender a necessidade de um projeto específico, sendo posteriormente vendida para uma grande empresa. Em janeiro de 2016, *Swagger* foi doada para o *Open API Initiative (OAI)* e denominada de *Open API Specification*. O propósito da iniciativa é tornar *Swagger* padrão para especificação de APIs com independência de fornecedor. Apoiam o projeto grandes empresas como Google<sup>®</sup>, Microsoft<sup>®</sup> e IBM<sup>®</sup>.

WADL (*Web Application Description Language*), uma especificação baseada em XML semelhante ao WSDL, foi projetada e proposta pela *Sun Microsystems*<sup>®</sup> e sua última versão submetida ao W3C em 2009. Outra linguagem proposta é a RAML[2] – abreviação de *RESTful API Modeling Language* – baseada em YAML e projetada pela MuleSoft<sup>®</sup>. Muitos projetos *open source* adotam RAML.

Todas estas linguagens possuem suporte tanto para *Code-first* como para *Contract-first* [39].

## 2.3 DESIGN BY CONTRACT

*Design-by-Contract* [26] - DbC - é um conceito oriundo da orientação a objetos, no qual consumidor e fornecedor firmam entre si garantias para o uso de métodos ou classes. De um lado o consumidor deve garantir que, antes da chamada a um método, algumas condições sejam por ele satisfeitas. Do outro lado o fornecedor deve garantir, se respeitadas suas exigências, o sucesso da execução.

O mecanismo que expressa essas condições são chamados de asserções (*assertions*, em inglês). As asserções que o consumidor deve respeitar para fazer uso da rotina são chamadas de **precondições**. As asserções que fornecem, de parte do fornecedor, as garantias ao consumidor, são denominadas **pós-condições**.

DbC tem o objetivo de aumentar a robustez do sistema e tem na linguagem Eiffel [25] um de seus precursores. Para os mantenedores do Eiffel, DbC é tão importante quanto classes, objetos, herança, etc. O uso de DBC na concepção de sistemas é uma abordagem sistemática que produz sistemas com mais corretude.

O conceito chave de *Design-by-Contract* é ver a relação entre a classe e seus clientes como uma relação formal, que expressa os direitos e as obrigações de cada parte [27]. Se, por um lado, o cliente tem a obrigação de respeitar as condições impostas pelo fornecedor para fazer uso do módulo, por outro, o fornecedor deve garantir que o retorno ocorra como esperado.

As precondições vinculam o cliente, no sentido de definir as condições que o habilitam para acionar o recurso. Corresponde a uma obrigação para o cliente e o benefício para o fornecedor [27] de que certos pressupostos serão sempre respeitados nas chamadas à rotina. As pós-condições vinculam o fornecedor, de modo a definir as condições para que o retorno ocorra. Corresponde a uma obrigação para o fornecedor e o benefício para o cliente de que certas propriedades serão respeitadas após a chamada à rotina.

De forma indireta, *Design-by-Contract* estimula um cuidado maior na análise das condições necessárias para, de forma consistente, se ter o funcionamento correto da relação de cooperação cliente-fornecedor. Essas condições são expressas em cada contrato, o qual especifica as obrigações a que cada parte está condicionada e, em contraponto, os benefícios garantidos.

Nesse contexto, o contrato é um veículo de comunicação, por meio do qual os clientes tomam conhecimento das condições de uso, em especial das precondições. É fundamental que as precondições estejam disponíveis para todos os clientes para os quais as rotinas estão disponíveis, pois, sem que isso ocorra, o cliente corre o risco de acionar a rotina fora de suas garantias de funcionamento.

Segundo Bertrand Meyer [27], *Design-by-Contract* é um ferramental para análise, projeto, implementação e documentação, facilitando a construção de *softwares* cuja con-

fiabilidade é embutida, no lugar de buscar essa característica por meio de depuração. Meyer utiliza uma expressão de Harlan D. Mills [28] para afirmar que *Design-by-Contract* permite construir programas corretos e saber que eles estão corretos.

Com o uso de *Design-by-Contract*, cada rotina é levada a realizar o trabalho para o qual foi projetada e fazer isso bem: com corretude, eficiência e genericamente suficiente para ser reusada. Por outro lado, especifica de forma clara o que a rotina não trata. Esse paradigma é coerente, pois para que a rotina realize seu trabalho bem, é esperado que se estabeleça bem as circunstâncias de execução.

Outra característica da aplicação de *Design-by-Contract* é que o recurso tem sua lógica concentrada em efetivamente cumprir com sua função principal, deixando para as pre-condições o encargo de validar as entradas de dados. Essa abordagem é o oposto à ideia de programação defensiva, pois vai de encontro à realização de checagens redundantes. Se os contratos são precisos e explícitos, não há necessidade de testes redundantes [26].

Todos esses aspectos são fundamentais para se possibilitar o reuso eficiente de componentes, que é o pilar da orientação a objetos e se aplica de forma análoga à orientação a serviços. Componentes reusáveis por várias aplicações devem ser robustos pois as consequências de falhas ou comportamentos incorretos são muito piores que as de aplicações que atendem a único propósito [26].

Há de se registrar ainda que, em orientação a objetos, existe outro tipo de asserção além das pré e pós-condições. Em vez de cuidar das propriedades de cada rotina individualmente, elas expressam condições globais para todas as instâncias de uma classe [27]. Esse tipo de asserção é chamada de invariante. Uma vez que em orientação a serviço se preconiza a ausência de estado, o conceito de invariante não é explorado neste trabalho.

### 2.3.1 Implementações de DbC

**Eiffel** - A linguagem Eiffel foi desenvolvida em meados dos anos 80 por Bertrand Meyer [25] com o objetivo de criar ferramentas que garantissem mais qualidade aos *softwares*. A ênfase do projeto de Eiffel foi promover reusabilidade, extensibilidade e compatibilidade. Características que só fazem sentido se os programas forem corretos e robustos.

Foi essa preocupação que incorporou à linguagem Eiffel o conceito de contratos. A partir desse estilo de projeto se criou a noção de *Design-by-Contract*, concretizada na linguagem por meio das precondições, pós-condições e invariantes [25]. Esta abordagem influenciou outras linguagem de programação orientadas a objeto.

A figura 2.1 apresenta um exemplo de especificação de pré e póscondição na linguagem Eiffel.

---

```

1 class interface ACCOUNT create
2     make
3 feature
4     balance: INTEGER
5     ...
6     deposit (sum: INTEGER) is
7         — Deposit sum into the account.
8         require
9             sum >= 0
10        ensure
11            balance = old balance + sum
12
13 end — class ACCOUNT

```

Figura 2.1: Exemplo de pré e pós-condições em Eiffel

**JML** - *Java Modeling Language* é uma extensão da linguagem Java para suporte a especificação comportamental de interfaces, ou seja, controlar o comportamento de classes em tempo de execução. Para realizar essa função, JML possui amplo suporte a *Design-by-Contract*. As asserções (precondição, pós-condição e invariantes) são incluídas no código Java na forma de comentários (`//@` ou `/*@...@*/`). JML combina a praticidade de *Design-by-Contract* de linguagens como Eiffel com a expressividade e formalismo de linguagens de especificação orientadas a modelo [21].

A figura 2.2 apresenta um exemplo de especificação de pré e póscondição na linguagem de extensão JML.

**Spec#** - é uma extensão da linguagem C#, à qual agrega o suporte para distinguir referência de objetos nulos de referência a objetos possivelmente não nulos, especificações de pré e pós-condições, um método para gerenciar exceções entre outros recursos [9].

---

```

1 public class IntMathOps {
2
3   /*@ public normal_behavior
4     @ requires y >= 0;
5     @ ensures \result * \result <= y && y < (Math.abs(\result) + 1)
6     @ * (Math.abs(\result) + 1);
7     @*/
8
9   public static int isqrt(int y)
10  {
11    return (int) Math.sqrt(y);
12  }
13 }

```

Figura 2.2: Exemplo de pré e pós-condições em JML

A figura 2.3 apresenta um exemplo de especificação de pré e póscondição na linguagem de extensão JML.

---

```

1 class CircularList {
2
3   // Construct an empty circular list
4   public CircularList()
5     require true;
6     ensure Empty();
7
8   // Return my number of elements
9   public int Size()
10    require true;
11    ensure size = CountElements() && noChange;
12 }

```

Figura 2.3: Exemplo de pré e pós-condições em Spec#

## 3 NEOIDL: LINGUAGEM PARA ESPECIFICAÇÃO DE CONTRATOS REST

### 3.1 APRESENTAÇÃO

A NeoIDL é uma linguagem específica de domínio (*Domain Specific Language - DSL*) elaborada com o objetivo de possibilitar, em um processo simples, a elaboração de contratos para serviços REST. Em seu projeto, foram considerados os requisitos de concisão, facilidade de compreensão humana, extensibilidade e suporte à herança simples dos tipos de dados definidos pelo usuário.

Além de ser uma linguagem, a NeoIDL é também um *framework* de geração de código que permite, a partir de contratos especificados na própria linguagem, a produção da implementação da estrutura do serviço. Os serviços podem ser construídos em várias linguagens e tecnologias, por meio de *pluggins* da NeoIDL.

As próximas subseções apresentam o histórico da NeoIDL, exemplificam sua sintaxe e descrevem sucintamente seu *framework* de geração de código.

#### 3.1.1 Histórico e motivação

A NeoIDL surgiu no contexto de um acordo de colaboração entre a Universidade de Brasília e o Exército Brasileiro. O projeto do exército caracterizava-se pelos requisitos de modularidade – com a lógica distribuída inclusive geograficamente – e de execução em plataformas diversificadas. Diante dessa necessidade, o Exército desenvolveu um *framework* proprietário, voltado para arquitetura orientada a serviço e com suporte a implantação de serviços REST em vários linguagens, denominado NeoCortex.

A particularidade do NeoCortex de se utilizar serviços implementados em vários linguagens motivou o desenvolvimento um programa gerador de serviços políglotas – que produz código de várias linguagens de programação – a partir da descrição do contrato do serviço. A NeoIDL foi concebida para atender a essa finalidade. A primeira decisão de projeto da NeoIDL foi a linguagem para se especificar o contrato de serviço.



Porém, as linguagens de programação disponíveis para especificação de contratos REST, como Swagger[3], WADL[16] e RAML[2], possuíam (e ainda possuem) limitações importantes para a abordagem desejada, qual seja elaborar primeiramente o contrato e, a partir dele, gerar a implementação do serviço. Todas essas linguagens utilizam notações de propósito geral (XML[4], JSON[1], YAML[6]), tornando os contratos extensos e de difícil compreensão humana. Além disso, elas não possuem mecanismos semânticos de extensibilidade e modularidade.

Partiu-se então para a criação uma nova linguagem, com sintaxe inspirada em linguagens mais claras e concisas – como *emphCORBA IDL*<sup>TM</sup>[30] e *Apache Thrift*<sup>TM</sup>[37] –, e que permitisse ainda a declaração de tipos de dados definidos pelo usuário e extensibilidade. Ambas, *CORBA* e *Apache Thrift*, possuem limitações nesses últimos aspectos. A sintaxe e as características da linguagem NeoIDL são brevemente discutidas na subseção 3.1.2.

Em relação à geração de código, para se viabilizar a geração poliglota de código, a NeoIDL foi projetada para possuir uma arquitetura modular, de modo que novas linguagens ou características de implementação pudessem ser incorporadas por meio de *plugins* da NeoIDL. Assim, é possível desenvolver um novo *plugin* para geração de serviços em outras linguagens, por exemplo PHP, sem alterar qualquer outro componente do *framework*, conforme apresentado na subseção 3.1.3.

A primeira versão da NeoIDL, ponto de onde partiu este trabalho de mestrado, dava suporte à geração de código em Java, Python e Swagger com as características necessárias para execução no NeoCortex. Nessa versão, foram desenvolvidos para o Exército Brasileiro nove serviços do domínio de Comando e Controle [7], os quais compreenderam aproximadamente cinquenta módulos<sup>1</sup> e geração de três mil linhas de código Python a partir da especificação dos contratos em NeoIDL. Alguns outros serviços foram ainda implementados em Java.

### 3.1.2 Linguagem

A linguagem NeoIDL simplifica a especificação de contratos REST pois possui uma sintaxe concisa, própria de linguagens de especificação de interfaces (*interface description languages*). Ademais, a NeoIDL provê mecanismos de modularização e herança,

---

<sup>1</sup>O conjunto de documentos utilizados para descrever contratos na NeoIDL são denominados *módulos*.

de forma que os contratos possam ser separados em módulos, facilitando a herança e manutenção dos contratos.

Para demonstrar como os módulos são estruturados na NeoIDL, a seguir são apresentados alguns trechos de um serviço hipotético de envio de mensagens. Na primeira parte, um módulo faz uma definição de tipo de dado; em seguida, um segundo módulo, voltado para especificação do serviço em si, importa as definições do primeiro para então declarar as operações do serviço. Por fim, ao módulo de serviço é acrescentada uma anotação como forma de estender as características da operação.

---

```
1 module MessageData {
2   enum MessageType { Received , Sent };
3
4   entity Message {
5     string id;
6     string from;
7     string to;
8     string subject = 0;
9     string content;
10    MessageType type;
11  };
12 }
```

Figura 3.1: Tipos de dados definidos na NeoIDL

O trecho ilustrado na figura 3.1 faz a definição de dois tipos de dados. *MessageType*, declarado no linha 2, é uma estrutura simples do tipo enumeração. No exemplo, *MessageType* pode ter os valores *Received* e *Send*. O outro tipo é *Message*, declarado entre as linhas 4 e 11, composto de seis atributos (*id*, *from*, *to*, *subject*, *content* e *type*). O atributo *type* de *Message* é do tipo *MessageType* recém declarado.

Na NeoIDL, é utilizada a abordagem *convenção sobre configuração*, de modo que todos os atributos declarados são obrigatórios, a menos que seja explicitamente declarado diferente. O atributo *subject* do tipo *Message* é um exemplo de atributo opcional (`<Type> <Ident> = 0;`).

Definido o tipo de dado, o módulo seguinte (figura 3.2) , na linha proposta pela NeoIDL para suporte a herança e reuso, importa o conjunto de definições de *MessageData* e declara o serviço *sendbox* (linha 4). Esse serviço possui duas capacidades: *sendMessage*

e *listMessages*. A capacidade *sendMessage* (linha 6) utiliza a operação **post** para submeter uma mensagem (tipo *Message*). A capacidade *listMessages* (linha 7) tem a finalidade de listar as mensagens com um determinado sequecial, por meio da operação **get**.

A instrução *path* (linha 5) completa a especificação do serviço, indicando o caminho (URI) onde as operações serão disponibilizadas. Esse atributo é importante para se definir como as requisições serão roteadas entre os serviços.

---

```
1 module Message {
2   import MessageData;
3
4   resource sentbox {
5     path = "/messages/sent";
6     @post void sendMessage(Message message);
7     @get [Message] listMessages(string seq);
8   };
9 };
```

Figura 3.2: Sent message service specification in NeoIDL

Seguindo a filosofia de *conversão sobre configuração*, a NeoIDL assume que os argumentos das operações do tipos **POST** e **PUT** são enviadas no corpo da requisição. Nas operações dos tipos **GET** e **DELETE**, por outro lado, presume-se que os argumentos estão contidos no *path* da requisição ou ainda como *query string*.

A especificação dos contratos na NeoIDL pode ser enriquecida de forma simples com o uso de anotações, pois elas possibilitam estender a semântica de uma especificação sem que seja necessário alterar a sintaxe da linguagem NeoIDL. Essa versatilidade das anotações é bastante útil, pois a alteração da sintaxe da própria NeoIDL não é um esforço trivial, por demandar a compatibilização de todos os *plugins* já construídos.

O módulo apresentado na figura 3.3 contém, além das informações contidas no módulo da figura 3.2, uma anotação denominada *Security Policy* (linhas 4 a 6) que é aplicada ao serviço *sentbox*. A declaração da anotação é feita ao final do módulo (linhas 14 a 18).

---

```

1 module Message {
2   import MessageData;
3
4   @SecurityPolicy(method = "basic",
5                   algorithm="AES",
6                   role = "admin");
7
8   resource sentbox {
9     path = "/messages/sent";
10    @post void sendMessage(Message message);
11    @get [Message] listMessages(string seq);
12  };
13
14  annotation SecurityPolicy for resource {
15    string method;
16    string algorithm;
17    string role;
18  };
19
20 };

```

Figura 3.3: Especificação de anotação na NeoIDL

Além de serem aplicáveis a **resources**, as anotações também podem ser utilizadas em outros construtores da linguagem: **module**, **enum**, **entity**. Qualquer anotação na NeoIDL possui a mesma estrutura: um nome, um elemento alvo e uma lista propriedades. Todas estas informações ficam disponíveis para utilização pelos *plugins*.

A estrutura de um módulo NeoIDL, como pôde ser verificado nos exemplos acima, é composta pelas seguintes seções: importação, caminho do serviço, enumerações, entidades, serviços e declaração de anotações. O apêndice B apresenta a estrutura sintática e léxica da NeoIDL antes de terem sido incorporadas as construções relativas a *Design-by-Contract*.

### 3.1.3 Framework

A parte da NeoIDL responsável pela geração de código de serviço para as várias linguagens é denominado *framework* NeoIDL. O *framework* NeoIDL possui suas partes: o núcleo e os *plugins*, conforme ilustrado na figura 3.4. O núcleo é composto de módulos

responsáveis (a) por fazer o *parse*<sup>2</sup> do contrato escrito em NeoIDL, (b) por processar a sintaxe da linguagem NeoIDL e (c) pelo gerenciamento dos *plugins*.

Fora do núcleo da NeoIDL ficam os *plugins*, responsáveis, cada um, por gerar código para as linguagens de destino. Assim, para se possibilitar a geração de código para uma nova linguagem ou segundo uma nova arquitetura, um novo *plugin* deve ser desenvolvido. A primeira versão da NeoIDL possuía *plugins* para Python, Java e Swagger.

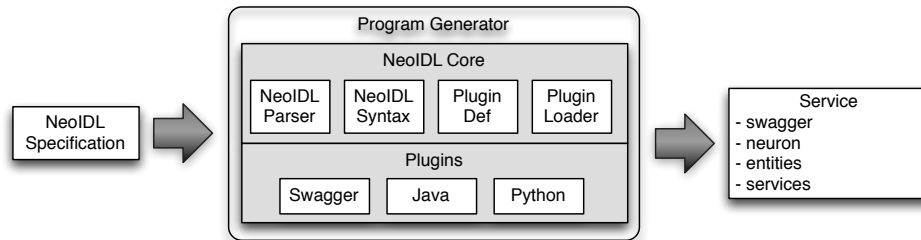


Figura 3.4: Gerador de código da NeoIDL

As próximas subseções resumem o funcionamento de dois módulos onde estão contidas os principais trechos da lógica implementada na NeoIDL: O *PluginDef* e *PluginLoader*. Mais detalhes podem ser obtidos na publicação *NeoIDL: A Domain Specific Language for Specifying REST Contracts Detailed Design and Extended Evaluation* [23].

### 3.1.3.1 Componente PluginDef

O módulo **PluginDef** estabelece as definições de regras de projeto (*Design Rules*) obrigatórias para o desenvolvimento de *plugins*, padronizando-os. De acordo com as regras de projeto, cada *plugin* precisa declarar uma instância do tipo *Plugin* e implementar uma função de transformação de acordo com a assinatura definida.

Além disso, cada instância de **Plugin** precisa ter o nome do **plugin** de forma que o componente **PluginLoader** (subseção 3.1.3.2) possa obter os dados necessários para o seu processamento. Resumidamente, a execução de um *plugin* consiste em aplicar sua função de transformação a um módulo NeoIDL e produzir uma lista de arquivos de código fonte.

<sup>2</sup>O *parser* da NeoIDL foi construído utilizando **BNFConverter** [34] com a linguagem de programação funcional Haskell.

### 3.1.3.2 Componente PluginLoader

O carregamento e validação dos *plugins* são competências do componente `PluginLoader`. Se todas as regras de definição do *plugin* tiverem sido atendidas, o *plugin* é carregado e estará pronto para ser acionado. Caso contrário, algumas exceções podem ocorrer, como, por exemplo, não haver definição de nenhum *plugin* no arquivo:

```
$/neoIDL
neoIDL: panic! (the 'impossible' happened)
(GHC version 7.6.3 for x86_64-darwin):
    Not in scope: 'Plugins.Python.plugin'
```

Ou ainda em razão de o *plugin* não ser uma instância do tipo `Plugin`:

```
$/neoIDL
neoIDL: panic! (the 'impossible' happened)
(GHC version 7.6.3 for x86_64-darwin):
    Couldn't match expected type 'Plugin'
      with actual type '[GHC.Types.Char]'
```

## 3.2 AVALIAÇÃO EMPÍRICA

A primeira versão da NeoIDL foi submetida a um estudo empírico de sua expressividade e reuso em um contexto real. As próximas subseções apresentam o resultado da análise comparativa da representação de 44 (quarenta e quatro) contratos escritos em Swagger em relação à mesma especificação em NeoIDL.

Esse estudo é uma das contribuições deste trabalho de mestrado e foi publicado no periódico IJSeke [23].

### 3.2.1 Expressividade

A NeoIDL é uma DSL, conforme apresentado na seção 3.1, e como tal se destina a atender a um propósito específico, nem mais, nem menos [18]. A NeoIDL foi projetada

para permitir a especificação de contratos de serviços REST de forma mais expressiva e concisa, facilitando-se a escrita e leitura por humanos (mais detalhes na subseção 3.1.1).

Programas escritos em DSLs costumam ser mais fáceis de escrever e, consequentemente, mais fáceis de se manter comparavelmente a programas escritos em linguagens de propósito geral [18]. Isso se deve justamente ao fato de a DSL tratar apenas um conjunto reduzido de situações e problemas, fazendo com ela seja, muitas vezes, mais acessível ao público geral [38].

A expressividade é um dos principais critérios para se escolher uma linguagem. Entretanto a linguagem que não expressa todas as situações necessárias ao seu contexto de uso, por óbvio, não pode ser usada [24]. Nesse sentido, o primeiro teste a que a NeoIDL foi submetido constituiu-se na produção de contratos e serviços reais no início do projeto com o Exército Brasileiro (vide subseção 3.1.1).

Assim, tendo a NeoIDL demonstrado sua capacidade de representar contratos REST reais, foi realizada uma segunda análise: quão expressiva seria a NeoIDL em comparação com outra linguagem com o mesmo objetivo. Foi escolhida Swagger [3], uma linguagem de especificação de contratos REST cujo uso tem crescido pela indústria. Em Swagger, os contratos são escritos em JSON[1] ou YAML[6], ambos com uma estrutura geral de chave-valor.

Sendo a facilidade de compreensão e manipulação por humanos um dos pilares de desenvolvimento da NeoIDL, foi adotada a estratégia de comparar a expressividade em termos de quantidade de linhas de código (SLOC - do inglês *Source Lines of Code*), uma vez que muitas linhas significam maior esforço para escrita, sobretudo na abordagem *Contract-first*.

Com este propósito, foi obtido um conjunto de 44 contratos do Exército Brasileiro especificados em Swagger. A primeira etapa foi reescrever esses contratos em NeoIDL e então comparar a quantidade de linhas de código produzida com a quantidade de linhas de código dos contratos originais.

Para a transcrição dos contratos, em razão da NeoIDL não possuir recursos para transcrição bidirecional de Swagger para NeoIDL, foi desenvolvido e utilizado um *script* na linguagem *Perl*, o qual consta do Apêndice desta dissertação (Apêndice A).

Os quarenta e quatro contratos em Swagger contabilizaram 13.921 linhas de especificação. Os mesmos contratos especificados em NeoIDL somaram 5.140 linhas de especificação, correspondendo a uma redução média de 63%. Assim, para cada 10 linhas de especificação em Swagger são requeridas 4 linhas de especificação NeoIDL. Nessa análise foram consideradas linhas físicas de código, ignorando-se linhas em branco ou compostas apenas de delimitadores.

A proporção de redução não se deu de forma igual em todos os contratos. Por exemplo, o contrato de um determinado serviço<sup>3</sup> requereu 367 linhas na especificação Swagger e 112 linhas na especificação NeoIDL – redução da ordem de 69%. Em contraponto, outro serviço especificado em Swagger possuía 81 linhas e o correspondente em NeoIDL 42 linhas – redução de linhas de código pouco inferior a 50%.

Estatisticamente, o tamanho original dos contratos tem apenas uma pequena influência na expressividade avaliada. Dessa forma, não é possível assumir que contratos Swagger maiores terão um correspondente proporcionalmente menor em NeoIDL. Outros atributos como documentação mais descritiva, quantidade de entidades e o número de capacidades de cada serviço também não possuem correlação com redução de linha de código maior ou menor após o processo de transformação para NeoIDL.

A tabela 3.1 apresenta a correlação entre a melhoria na expressividade observada (medida como percentual de redução após a transformação da especificação Swagger em especificação NeoIDL) e algumas métricas relacionadas ao tamanho da especificação original em Swagger. Na Correlação Pearson, um *p-value* igual a 1 significa correlação positiva perfeita. *p-value* igual a -1, significa correlação negativa perfeita, enquanto *p-value* igual a zero indica que as medidas não possuem correlação linear.

Tabela 3.1: Correlação da melhoria de expressividade com o tamanho da especificação em Swagger

Métrica	Correlação Pearson's	<i>p-value</i>
LOC da especificação Swagger	0.19	0.20
Número de serviços	0.14	0.35
Numero de capacidades	0.14	0.34
Número de entidades	0.20	0.18

<sup>3</sup>Os nomes reais dos contratos foram omitidos em razão de acordo de confidencialidade.



### 3.2.2 Potencial de reuso

De forma similar à NeoIDL, Swagger também possui recursos para reuso de estruturas, por meio de referências (marcação \$ref). Entretanto, esse recurso praticamente não foi explorado no conjunto de contratos analisados, o que ocasionou na duplicação da declaração de estruturas entre os diferentes arquivos de especificação Swagger. Isso se deve, provavelmente, ao modo não intuitivo de se fazer referência em Swagger (baseado na referência a outro arquivo JSON) e à dificuldade de se identificar que uma determinada entidade foi declarada em outro contrato.

No conjunto dos 44 contratos Swagger analisados foram identificadas 40 entidades especificadas em pelo menos dois contratos. Uma entidade específica, de identificação da posição geográfica, muito utilizada no domínio de Comando e Controle, aparece declarada 12 vezes em contratos distintos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Javascript object notation. <http://www.json.org>. JSON official site.
- [2] Raml - the simplest way to design apis. <http://raml.org>. The Official RAML web site.
- [3] Swagger - the world's most popular framework for apis. <http://swagger.io/>. Swagger project official site.
- [4] World wide web consortium (w3c) - extensible markup language (xml). <https://www.w3.org/XML>. XML W3C official site.
- [5] World wide web consortium (w3c) - web services description language. <https://www.w3.org/TR/wsdl>. WSDL W3C official site.
- [6] Yaml ain't markup language. <http://yaml.org>. The Official YAML web site.
- [7] Alberts, D. S. e Hayes, R. E. *Understanding Command and Control*. DoD Command and Control Research Program, 1st edition, 2006.
- [8] Alonso, G., Casati, F., Kuno, H., e Machiraju, V. *Web services*. Springer, 2004.
- [9] Barnett, M., Leino, K. R. M., e Schulte, W. The spec# programming system: An overview. In *Construction and analysis of safe, secure, and interoperable smart devices*, pages 49–69. Springer, 2004.
- [10] Chen, H.-M. Towards service engineering: service orientation and business-it alignment. In *Hawaii International Conference on System Sciences, Proceedings of the 41st Annual*, pages 114–114. IEEE, 2008.
- [11] Erl, T. *SOA design patterns*. Pearson Education, 2008.
- [12] Erl, T. *Soa: principles of service design*, volume 1. Prentice Hall Upper Saddle River, 2008.

- [13] Erl, T., Karmarkar, A., Walmsley, P., Haas, H., Yalcinalp, L. U., Liu, K., Orchard, D., Tost, A., e Pasley, J. *Web service contract design and versioning for SOA*. Prentice Hall, 2009.
- [14] Fielding, R. T. *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. Tese de Doutorado, University of California, Irvine, 2000.
- [15] Forsberg, M. e Ranta, A. Bnf converter. In *Proceedings of the 2004 ACM SIG-PLAN Workshop on Haskell*, Haskell '04, pages 94–95, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [16] Hadley, M. J. Web application description language (wadl). 2006.
- [17] He, H. What is service-oriented architecture. *Publicação eletrônica em 30/09/2003*, 2003.
- [18] Hudak, P. Modular domain specific languages and tools. In *Software Reuse, 1998. Proceedings. Fifth International Conference on*, pages 134–142. IEEE, 1998.
- [19] Jazequel, J.-M. e Meyer, B. Design by contract: The lessons of ariane. *Computer*, 30(1):129–130, 1997.
- [20] Karthikeyan, T. e Geetha, J. Contract first design: The best approach to design of web services. *(IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5:338–339, 2014.
- [21] Leavens, G. T. e Cheon, Y. Design by contract with jml, 2006.
- [22] Leymann, F. Combining web services and the grid: Towards adaptive enterprise applications. In *CAiSE Workshops (2)*, pages 9–21, 2005.
- [23] Lima, L., Bonifácio, R., Canedo, E., Castro, T. M.de , Fernandes, R., Palmeira, A., e Kulesza, U. Neoidl: A domain specific language for specifying rest contracts detailed design and extended evaluation. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 25(09n10):1653–1675, 2015.
- [24] Mackinlay, J. e Genesereth, M. R. Expressiveness and language choice. *Data & Knowledge Engineering*, 1(1):17–29, 1985.
- [25] Meyer, B. Eiffel: A language and environment for software engineering. *Journal of Systems and Software*, 8(3):199–246, 1988.
- [26] Meyer, B. Applying 'design by contract'. *Computer*, 25(10):40–51, 1992.

- [27] Meyer, B. *Object-oriented software construction*, volume 2. Prentice hall New York, 1997.
- [28] Mills, H. D. The new math of computer programming. *Communications of the ACM*, 18(1):43–48, 1975.
- [29] Mumbaikar, S., Padiya, P., e others,. Web services based on soap and rest principles. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(5).
- [30] (OMG), O. M. G. Interface definition language 3.5. Technical report, Object Management Group, 2014. <http://www.omg.org/spec/IDL35/3.5/PDF/>.
- [31] Papazoglou, M. P., Traverso, P., Dustdar, S., e Leymann, F. Service-oriented computing: State of the art and research challenges. *Computer*, (11):38–45, 2007.
- [32] Papazoglou, M. P., Traverso, P., Dustdar, S., e Leymann, F. Service-oriented computing: a research roadmap. *International Journal of Cooperative Information Systems*, 17(02):223–255, 2008.
- [33] Papazoglou, M. P. e Van Den Heuvel, W.-J. Service oriented architectures: approaches, technologies and research issues. *The VLDB journal*, 16(3):389–415, 2007.
- [34] Ranta, A. *Implementing Programming Languages. An Introduction to Compilers and Interpreters*. Texts in computing. College Publications, 2012.
- [35] Rao, J. e Su, X. A survey of automated web service composition methods. In *Semantic Web Services and Web Process Composition*, pages 43–54. Springer, 2004.
- [36] Serrano, N., Hernantes, J., e Gallardo, G. Service-oriented architecture and legacy systems. *Software, IEEE*, 31(5):15–19, 2014.
- [37] Slee, M., Agarwal, A., e Kwiatkowski, M. Thrift: Scalable cross-language services implementation. Technical report, Facebook, 2012. <http://thrift.apache.org/static/files/thrift-20070401.pdf>.
- [38] Taha, W. Domain-specific languages. In *International Conference on Computer Engineering Systems (ICCES)*. Springer, 2008.
- [39] Wideberg, R. Restful services in an enterprise environment - a comparative case study of specification formats and hateoas. Dissertação de Mestrado, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2015.

## APÊNDICES

## A TRANSFORMAÇÃO SWAGGER PARA NEOIDL

...

---

```

1  #!/usr/bin/perl
2
3  use JSON;
4
5  use Data::Dumper;
6
7  $arquivo = $ARGV[0];
8  my $model_name = ( split '/', $arquivo )[-2 ];
9
10 {
11     local $/ = undef;
12     open (FILE, $arquivo) or die "Couldn't open file: $!";
13     binmode FILE;
14     $json_file = <FILE>;
15     close FILE;
16 }
17
18 $text = decode_json($json_file);
19 # $dumped = Dumper($text);
20
21 # cabe alho
22 print "module ".lc($model_name)." {\n";
23 #TODO: Path do modulo n o dispon vel no swagger
24 print "\n\tpath = \"xxx\";\n\n";
25
26 for $models (keys $text->{'models'}){
27     print "\tentity ".$models." {\n";
28
29     if (exists $text->{'models'}->{$models}->{'properties'}){
30         $lista_models = $text->{'models'}->{$models}->{'
31             properties'};
32     } else {
33         $lista_models = $text->{'models'}->{$models};
34     }
35     for $nome_propriedade (keys $lista_models){
36
37         if (exists $lista_models->{$nome_propriedade}){
38             $atributos_propriedade = $lista_models->{
39                 $nome_propriedade};
40         } else {
41             $atributos_propriedade = $lista_models->{'
42                 data'}[0]->{$nome_propriedade};
43         }
44     }
45 }

```

## B ESTRUTURA DA LINGUAGEM NEOIDL

Estas informações foram geradas automaticamente pelo BNF-Converter [15] *parser generator*) a partir da gramática da NeoIDL.

### B.1 ESTRUTURA LÉXICA DA NEOIDL

#### 1. Identificadores

Identificadores  $\langle Ident \rangle$  são literais (*strings*) não delimitadas que começam com uma letra seguida por letras, números e os caracteres `_` `'`, exceto palavras reservadas.

#### 2. Literais

Literais de texto são cadeias de caracteres  $\langle String \rangle$  com a forma `“x“`, onde *x* é qualquer sequência de caracter, exceto `“`, a menos que precedido por `\`.

Literais numéricos  $\langle Int \rangle$  são sequências não vazias de números.

Literais de ponto flutuantes  $\langle Double \rangle$  tem a estrutura definida pela seguinte expressão regular:  $\langle digit \rangle + \langle ' \rangle \langle digit \rangle + (\langle ' \rangle \langle ' \rangle \langle ? \rangle \langle digit \rangle +) ?$ , ou seja, duas sequências de números separadas por um ponto, opcionalmente precedida de um símbolo de negativo.

#### 3. Palavras reservadas e símbolos

O conjunto de palavras reservadas são os terminais da gramática da linguagem NeoIDL. As palavras reservadas não compostas de letras são chamados símbolos, que são tratados de forma diferente dos identificadores. A sintaxe analisador léxico segue regras típicas de linguagens como Haskell, C e Java, incluindo correspondência mais longa e convenções para o espaço.

As palavras reservadas utilizadas na NeoIDL são as seguintes:



annotation	call	entity
enum	extends	float
for	import	int
module	path	resource
string		

Os símbolos utilizados na NeoIDL são os seguintes:

{	}	;
=	.	@
(	)	0
==	<>	>
>=	<	<=
[	]	@get
@post	@put	@delete
/@require	/@ensure	/@invariant
/@otherwise	/**	*/
*	@desc	@param
@consume	,	

## B.2 ESTRUTURA SINTÁTICA DA NEOIDL

Não-terminais são delimitados entre  $\langle$  e  $\rangle$ . O símbolo  $::=$  (produto),  $|$  (união) e  $\epsilon$  (regra vazia) advêm da notação BNF. Todos os demais símbolos são terminais.

```

 $\langle \text{Modulo} \rangle ::= \text{module } \langle \text{Ident} \rangle \{$ 
   $\langle \text{ListImport} \rangle$ 
   $\langle \text{MPath} \rangle$ 
   $\langle \text{ListEnum} \rangle$ 
   $\langle \text{ListEntity} \rangle$ 
   $\langle \text{ListResource} \rangle$ 
   $\langle \text{ListDecAnnotation} \rangle$ 
 $\}$ 

 $\langle \text{Import} \rangle ::= \text{import } \langle \text{NImport} \rangle ;$ 

```

$\langle MPath \rangle ::= \epsilon$   
 $\quad \mid \quad \text{path} = \langle String \rangle ;$

$\langle NImport \rangle ::= \langle Ident \rangle$   
 $\quad \mid \quad \langle Ident \rangle . \langle NImport \rangle$

$\langle Entity \rangle ::= \langle ListDefAnnotation \rangle \text{ entity } \langle Ident \rangle \{ \langle ListProperty \rangle \} ;$   
 $\quad \mid \quad \langle ListDefAnnotation \rangle \text{ entity } \langle Ident \rangle \text{ extends } \langle Ident \rangle \{ \langle ListProperty \rangle \} ;$

$\langle Enum \rangle ::= \text{enum } \langle Ident \rangle \{ \langle ListValue \rangle \} ;$

$\langle DecAnnotation \rangle ::= \text{annotation } \langle Ident \rangle \text{ for } \langle AnnotationType \rangle \{ \langle ListProperty \rangle \} ;$

$\langle DefAnnotation \rangle ::= @ \langle Ident \rangle ( \langle ListAssignment \rangle ) ;$

$\langle Parameter \rangle ::= \langle Type \rangle \langle Ident \rangle \langle Modifier \rangle$

$\langle Assignment \rangle ::= \langle Ident \rangle = \langle Value \rangle$

$\langle Modifier \rangle ::= \epsilon$   
 $\quad \mid \quad = 0$

$\langle AnnotationType \rangle ::= \text{resource} \mid \text{enum} \mid \text{entity} \mid \text{module}$

$\langle Resource \rangle ::= \langle ListDefAnnotation \rangle \text{ resource } \langle Ident \rangle \{ \text{path} = \langle String \rangle ; \langle ListCapacity \rangle \} ;$

$\langle Capacity \rangle ::= \langle NeoDoc \rangle \langle ListDefNAnnotation \rangle \langle Method \rangle \langle Type \rangle \langle Ident \rangle ( \langle ListParameter \rangle ) ;$

$\langle Method \rangle ::= @get \mid @post \mid @put \mid @delete$