

# Modelagem Matemática e Computacional de uma Solução de Integração baseada em Padrões de Integração Empresariais para o Formalismo de Redes de Petri Coloridas

Alexsandro Queiroz Lencina<sup>1</sup>

Departamento de Ciências Exatas e Engenharia/UNIJUÍ, Ijuí, RS

Fabricia Roos-Frantz<sup>2</sup>

Departamento de Ciências Exatas e Engenharia/UNIJUÍ, Ijuí, RS

Rafael Zancan Frantz<sup>3</sup>

Departamento de Ciências Exatas e Engenharia/UNIJUÍ, Ijuí, RS

Sandro Sawicki<sup>4</sup>

Departamento de Ciências Exatas e Engenharia/UNIJUÍ, Ijuí, RS

**Resumo.** Os Padrões de integração empresariais permitem auxiliar o enfrentamento dos desafios nos estágios iniciais de um projeto de integração. Várias *Domain Specific Languages* - DSL foram desenvolvidos para descrever soluções de integração. Este artigo propõe um modelo de simulação para uma solução de integração em Guaraná DSL, com equivalência dos padrões de integração, tarefas do Guaraná e dos elementos das redes de Petri coloridas, com a finalidade de verificação de análises de propriedades de um sistema.

**Palavras-chave.** Redes de Petri Coloridas, Padrões de Integração Empresariais, Modelagem Matemática.

## 1 Introdução

As tendências recentes em tecnologia, negócios e sociedade nos levam a aplicativos e processos cada vez mais distribuídos que exigem integração. Para atender essas tendências, muitas organizações possuem um conjunto de aplicações de software que dão suporte a suas atividades de negócio, o qual é denominado ecossistema de software. Normalmente essas aplicações são heterogêneas, concebidas sem levar em conta sua possível integração.

Na área da Engenharia de Software, o campo de estudos conhecido como Integração de Aplicações Empresariais [9] busca proporcionar metodologias, técnicas e ferramentas para a concepção e a implementação de soluções de integração. A finalidade dessa integração é orquestrar um conjunto de aplicações para mantê-las sincronizadas ou proporcionar novas funcionalidades que possam ser construídas a partir das já existentes.

Hohpe e Woolf propuseram uma coleção de Padrões de Integração Empresarial [9] com a finalidade de enfrentar os desafios nos estágios iniciais de um projeto de integração. Cada padrão em sua coleção encapsula uma funcionalidade chave normalmente encontrada no *middleware*, tais

---

<sup>1</sup>alexandro.queiroz@iffarroupilha.edu.br

<sup>2</sup>frantz@unijui.edu.br

<sup>3</sup>rzfrantz@unijui.edu.br

<sup>4</sup>sawicki@unijui.edu.br

como criação de mensagens, roteamento, filtragem, etc. Esses padrões podem então ser usados para descrever de maneira abstrata sistemas complexos de software de forma abrangente. Idealmente, uma vez que o projeto esteja completo, o *middleware* pode ser implementado de forma apropriada a uma tecnologia. No entanto, a funcionalidade e comportamento de cada padrão é fornecida apenas em texto informal, não sendo possível a análise para possíveis erros, problemas de desempenho, sendo assim necessário um trabalho de implementação.

Os Padrões de Integração Empresariais tornaram-se um ponto de referência entre engenheiros de software, pois documentam um conjunto de melhores práticas para implementar tarefas que ajudam a resolver problemas recorrentes de integração de aplicações. De acordo com Frantz, Corchuelo e Roos-Frantz [8], a integração de aplicações apresenta como vantagem a utilização da base tecnológica dos sistemas já em funcionamento, evitando assim um investimento de alto custo em novas plataformas, uma vez que existem diversas plataformas de integração que oferecem um *Application Programming Interface* - API de programação, implementação, um motor de execução e ferramentas de monitoramento, dentre elas podemos destacar o Apache Camel [10], Mule [2], Spring Integration [5] e o Guaraná DSL [7]. Essas plataformas de integração permitem representar uma solução de integração por meio de um modelo conceitual que implementam um padrão de integração concreto para processar dados encapsulados em mensagens.

As variadas tecnologias utilizadas para o desenvolvimento dos modelos de solução de integração adotam um DSL, que propõe uma linguagem própria para a modelagem de soluções de integração, dentro de um determinado contexto, de modo a simplificar códigos complexos, facilitando a compreensão da sua estrutura e funcionamento. A linguagem DSL tem excelência dentro do domínio que opera, porém perde eficiência se submetida a situações fora do seu domínio. A tecnologia Guaraná proporciona uma linguagem de domínio específico, que permite projetar soluções de integração de aplicações empresariais a um alto nível de abstração, utilizando uma sintaxe concreta gráfica e conceitos de modelagem intuitivos e um motor de execução que permite a implementação e execução da solução de integração. Esta linguagem de modelagem é baseada nos padrões de integração documentados por Hohpe e Woolf [9].

Fahland e Gierds [4], propõem para cada padrão um modelo formal em termos de redes de Petri coloridas - RPC, uma extensão de redes de Petri que também descrevem o processamento e troca de dados, uma vez que a descrição informal dos padrões não permite usá-los para modelagem, devido a falta de semântica de execução, nem para validar ou mesmo verificar a correção da atual ou novas soluções de integração. Usando essa formalização, um determinado modelo pode ser traduzido para um modelo RPC, descrevendo assim as suas funcionalidades de forma mais detalhada. Para o modelo RPC, por sua vez, uma variedade de técnicas estão disponíveis: o modelo RPC pode ser modelado para erros funcionais, o seu fluxo de controle pode ser completado usando técnicas de síntese de controlador, seu desempenho pode ser analisado usando técnicas de simulação e uma implementação do *middleware* poderia ser obtido por geração de código ou pela implantação do modelo RPC em um processo motor.

A rede de Petri é uma ferramenta de modelagem que permite a representação e análise de sistemas de eventos discretos, que possibilitam a visualização estrutural e comportamental de forma simultânea, utilizando como alicerce a base matemática. Esta ferramenta possui a particularidade de permitir modelar sistemas paralelos, concorrentes, assíncronos e não-determinísticos [13].

Este trabalho têm o objetivo de comparar as funcionalidades dos padrões de integração e as tarefas da Guaraná DSL, conforme o que foi proposto por Fahland e assim propor um modelo de simulação de uma solução de integração, a fim de verificar as propriedades do modelo. Em trabalhos futuros será possível verificar as propriedades do modelo, analisar os espaços de estados, fazer simulações, análise de desempenho entre outras que são suportadas pelo RPC.

## 2 Solução de Integração

Uma solução de integração visa resolver problemas de integração dos processos de negócios, reutilizando as aplicações do ecossistema de software por meio da sua integração, mantendo a sincronia dos dados e as funcionalidades das aplicações ou desenvolver novas funcionalidades a partir daquelas já existentes de tal forma que as aplicações não sejam alteradas pela solução [6].

### 2.1 Problema de Integração

Para adquirir um empréstimo, um cliente geralmente consulta vários bancos com o objetivo de encontrar a melhor taxa de juros possível. Os bancos solicitam ao cliente o seu CPF (cadastro de pessoa física), o montante do empréstimo e o número de parcelas desejado, ou seja, o número de meses até que o empréstimo tenha de ser liquidado. Os bancos investigam o histórico de crédito do cliente, geralmente entrando em contato com uma agência de crédito para obter informações a respeito do cliente. Com base nas informações sobre o cliente, o banco responde com uma cotação de taxa de juros para aquele cliente. Depois que o cliente recebe as cotações de todos os bancos, ele poderá selecionar a melhor oferta, ou seja, a menor taxa de juros. O processo de entrar em contato com vários bancos para solicitar cotações de empréstimo é uma tarefa tediosa, por isso há empresas corretoras de empréstimo que oferecem esse serviço. Uma corretora de empréstimo normalmente não é afiliada a nenhum banco, mas tem acesso a muitas instituições de empréstimo. A corretora reúne os dados do cliente e entra em contato com a agência de crédito para obter o *score* de crédito do cliente, e, com base nesse “score” de crédito e em um conjunto de regras exigidas por cada banco, busca um conjunto de bancos que possam atender o cliente. A corretora reúne as cotações resultantes dos bancos e encaminha para que o cliente possa escolher a que mais se encaixa no seu perfil.

### 2.2 Ecossistema de Software

O ecossistema de software abordado é composto por 4 aplicações, sendo agência de crédito e bancos X, Y e Z. Estas aplicações não foram desenvolvidas com o objetivo de serem integradas, então, para que possam dar suporte para as corretoras de empréstimos, devem ser integradas por meio de uma solução de integração. A aplicação agência de crédito é o departamento de crédito responsável por fornecer o *score* de crédito e o histórico do cliente. O *score* de crédito do cliente com o mercado considera o pagamento de contas em dia, histórico de dívidas negativadas (últimos 5 anos), relacionamento financeiro com as empresas e dados cadastrais atualizados. Quanto maior o *score*, maiores são as chances do cliente honrar compromissos financeiros nos próximos 12 meses e ter acesso ao mercado de crédito. Os *scores* são classificados de 0 a 1000 pontos, sendo que um *score* de até 300 pontos indica alto risco de inadimplência, de 300 a 700 pontos indica médio risco e acima de 700 pontos indica baixo risco. O histórico do cliente está relacionado aos casos que tiveram alguma ação contra a instituição financeira, do tipo reversão de prejuízo e pagaram valor inferior ao capital. As aplicações bancos X, Y e Z são responsáveis por fornecer as taxas de juros de suas instituições, com base nos dados do cliente, emitidos anteriormente pela agência de crédito, cada banco possui seus próprios critérios para autorizar a concessão de um empréstimo.

### 2.3 Solução de Integração Proposta

A solução de integração para o problema proposto é responsável por reunir os dados do cliente, entrar em contato com uma agência de crédito para obter o *score* e o histórico do cliente e enviar a solicitação de cotação para os bancos, os quais analisam o perfil do cliente e verificam se atendem os critérios mínimos exigidos para a concessão do empréstimo. O ecossistema reúne as cotações

retornadas pelos bancos e encaminha a solicitação de todas as taxas recebidas para os clientes. As corretoras de empréstimos solicitam aos seus clientes o preenchimento de um formulário com todos os dados necessários para a consulta de taxas de juros dos bancos, tais como nome, endereço, CPF, data de nascimento, renda bruta, valor do empréstimo e número de parcelas desejado. O encaminhamento deste formulário é o que dá início ao fluxo de trabalho da solução de integração, que será na porta assíncrona (P1), que recebe e responde às solicitações das corretoras de empréstimos e encaminha a mensagem para o slot 1 (S1) que segue o seguinte fluxo: A tarefa (T1) replica as mensagens, uma cópia é encaminhada para a porta assíncrona (P2), onde na aplicação *agência de crédito* será obtido o score e histórico do cliente. A tarefa (T5) enriquece a cópia realizada pela tarefa (T1), correlacionando com as informações retornadas pela *agência de crédito*. A tarefa (T6) tem a função de descartar os scores dos clientes menores do que 300 pontos. Em seguida a tarefa (T7) replica novamente a mensagem para as aplicações *banco X*, *banco Y* ou *banco Z*, através das portas assíncronas (P3), (P4) ou (P5) que retornam as suas cotações de juros. A tarefa (T14) recebe as mensagens vindas e as encaminha para um slot de saída, respondendo ao cliente através da porta assíncrona (P1).

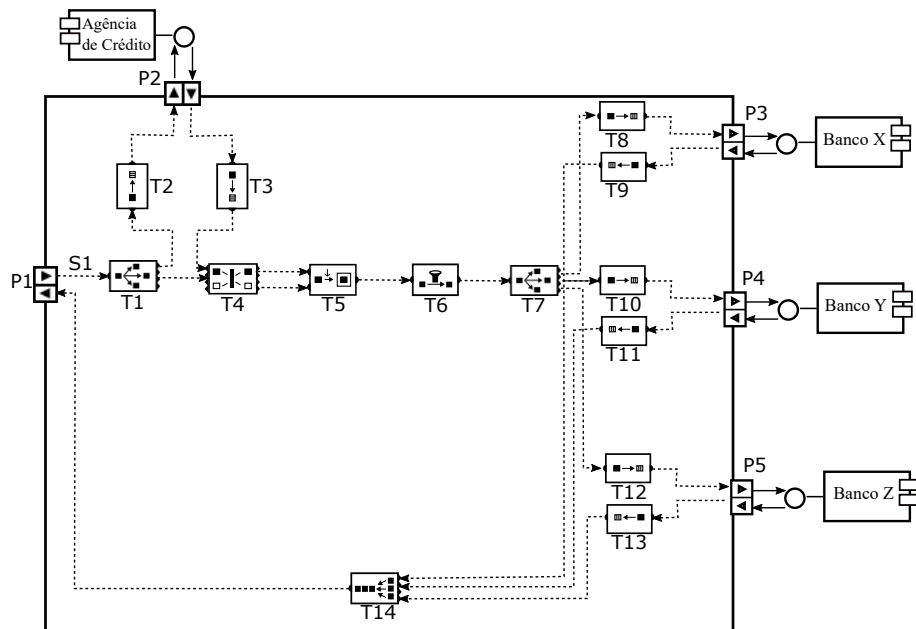


Figura 1: Solução de Integração em Guaraná DSL

### 3 Modelagem Matemática e Computacional

Para a modelagem matemática e computacional da solução de integração, foi utilizado o formalismo matemático das redes de Petri, onde fez-se o mapeamento de equivalência das funcionalidades de cada padrão, tarefa do Guaraná e redes de Petri Coloridas.

#### 3.1 Redes de Petri Coloridas

Segundo Jensen [11], uma rede de Petri colorida é definida por uma tupla  $RPC = (\sum; P; T; F; N; C; G; E; I)$  onde:

- $\Sigma$  é um conjunto finito de tipos (conjuntos de cores); - P e T são conjuntos finitos e separados de lugares e transições;
- $F \subseteq P \times T \cup T \times P$  é a relação de fluxo entre lugares e transições;
- C é a função que atribui um conjunto de cores a cada lugar da rede;
- G é uma função de guarda de T em expressões;
- E é uma função de expressão de arco de F em expressões;
- I é uma função de inicialização de P em expressões livres de variáveis.



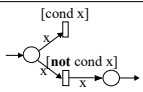


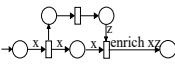


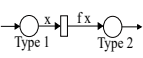
Utilizou-se as redes de Petri coloridas - RPC, pois são usadas para modelar sistemas distribuídos e dependentes de dados. O principal objetivo das RPC é a redução do tamanho do modelo, permitindo que os *tokens* sejam individualizados, através de cores atribuídas a eles, assim, diferentes processos ou recursos podem ser representados em uma mesma rede [11].

### 3.2 Equivalência entre Guaraná DSL, Padrões de Integração para Redes de Petri Coloridas

#### 3.2.1 Comparação da Semântica

A proposta de tradução do modelo conceitual da solução de integração, apresentada na Figura 1, é possível pela sua relação análoga entre os seus componentes e pela semelhança dos modelos de execução propostas por Fahland [3], onde o conjunto de padrões coletados por Hohpe e Woolf [9] é relacionado com cada rede de Petri colorida, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Tabela de Equivalência entre Guaraná DSL, Padrões de Integração para Redes de Petri Coloridas.

Tarefa Guaraná DSL	Semântica	Padrão Hohpe e Woolf	Semântica	RdP Fahland
	Filtra mensagens indesejadas.		Verifica as mensagens, se preencher um determinado critério, a mensagem será encaminhada, caso contrário será descartada.	
	Adiciona conteúdo dinâmico de uma mensagem de contexto ao corpo de uma mensagem base.		Enriquece uma mensagem com informações adicionais usando recursos extras.	
	Transforma o corpo de uma mensagem de um esquema em outro.		Converte um formato de mensagem em outro.	


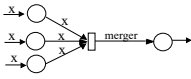

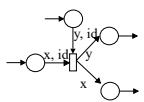

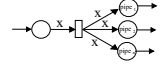
#### 3.2.2 Proposta de Comparação da Semântica

Após a revisão da literatura, houve a necessidade de relacionar os componentes e elaborar traduções para as redes de Petri Coloridas, conforme a Tabela 2

## 4 Modelo de Simulação

A Figura 2, representa o modelo de simulação da solução de integração, apresentada na Figura 1. Para o modelo de simulação, foi analisado cada padrão na coleção um modelo formal e descrito

Tabela 2: Tabela de Proposta de Equivalência entre Guaraná DSL, Padrões de Integração para Redes de Petri Coloridas.

Tarefa Guaraná DSL	Semântica	Padrão Hohpe e Woolf	Semântica	RdP Proposta
	Fusão/Junção/mescla das mensagens de diferentes slots de entrada em um slot de saída.	x	-	
	Analisa mensagens de entrada e gera conjuntos de mensagens correlacionadas.	x	-	
	Replica uma mensagem para todos slots de saída.	x	-	

com redes de Petri coloridas [11]. Usando essa formalização, um determinado padrão middleware, o design pode ser traduzido para um modelo RPC que descreva a funcionalidade do middleware [3].

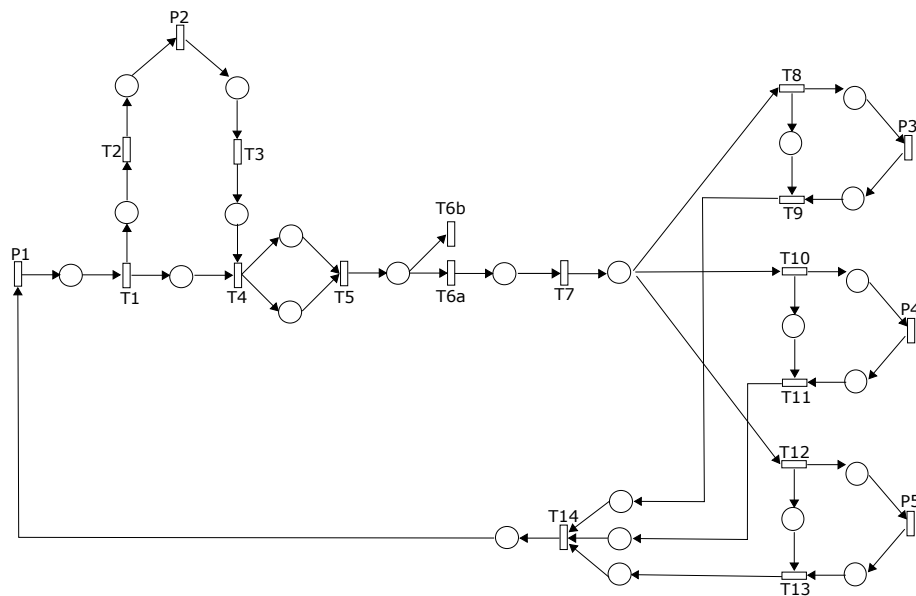


Figura 2: Modelo de simulação em RPC.

## 5 Conclusões

A tecnologia Guaraná oferece um conjunto de ferramentas e metodologias de apoio para a construção de soluções de integração de aplicações empresariais. Para analisar uma solução de integração em fase de projeto, depende-se de várias atividades relacionadas com a construção e captação de dados, associado ao alto custo, risco e tempo de desenvolvimento associado à essas atividades, além do risco de conter erros, gargalos de desempenho em seus componentes.

Portanto, foi proposto um modelo de simulação em redes de Petri coloridas, a tradução do

modelo conceitual foi baseado em trabalhos existentes na literatura e também foram propostas novas traduções a fim de contribuir com a comunidade científica, possibilitando assim a vantagem da implementação do modelo em ferramentas de simulações com análise do comportamento, possíveis erros que o modelo possa apresentar, análise de espaços de estados, verificação, validação dos modelos, entre outros.

Para trabalhos futuros, será proposto a aplicação do modelo de simulação equivalente ao modelo conceitual em uma ferramenta, para que seja possível testar o que foi proposto, em diferentes cenários, cargas de entrada, podendo utilizar de funções de distribuição probabilística que simulam entradas, simulando sob cenários de diferentes cargas de entrada a fim de possibilitar a identificação de gargalos de desempenho que possam vir a ocorrer na solução em cenários de grande demanda.

## Referências

- [1] Aalst, W. V and Stahl, C. Modeling business processes: a petri net-oriented approach, *MIT press*, 2011.
- [2] Dossot, D., D’Emic, J. and Romero, V. Mule in action, title=Mule in action, author=Dossot, David and D’Emic, John and Romero, Victor, *Manning Publication Co.*, 2014.
- [3] Fahland, D. and Gierds, C. *Using petri nets for modeling enterprise integration patterns*. Technical Report BPM Center Report BPM-12-18, 2012.
- [4] Fahland, D. and Gierds, C. Analyzing and completing middleware designs for enterprise integration using coloured petri nets. *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, pg 400-416, Springer, 2013.
- [5] Fischer, M., Partner, J., Bogovice, M. and Fuld, Iwein. Spring integration in action, *Manning Publication Co.*, 2012.
- [6] Frantz, R.Z., Quintero, R., Antonia, M., Corchuelo, R. A domain-specific language to design enterprise application integration solutions *International Journal of Cooperative Information Systems*, volume 20, nr 02, pages 143-176, World Scientific, 2011.
- [7] Frantz, R.Z., Corchuelo, R., Molina, C. J. A proposal to detect errors in Enterprise Application Integration solutions *Journal of Systems and Software*, volume 85, nr 3, pages 480-497, Elsevier, 2012. DOI 10.1016/j.jss.2011.10.048.
- [8] Frantz, R. Z., Corchuelo, R. and Frantz, F. R. *On the design of a maintainable software development kit to implement integration solutions*. *Journal of Systems and Software*, volume 111, pages 89-104, Elsevier, 2016.
- [9] Hohpe, G., Woolf, B. *Enterprise integration patterns: Designing, building, and deploying messaging solutions*. Addison-Wesley Professional, 2004.
- [10] Ibsen, C. and Anstey Jonathan. Camel in action, *Manning Publication Co.*, 2010.
- [11] Jensen, K. and Kristensen, L. M. Coloured Petri nets: modelling and validation of concurrent systems, *Springer Science & Business Media.*, 2009.
- [12] Jensen, K. and Kristensen, L. M. Coloured Petri nets: basic concepts, analysis methods and practical use, *Springer Science & Business Media.*, volume 1, 2013.
- [13] Murata, T. Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, v. 77, n. 4, p. 541-580, 1989.