

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO



**FORMALIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE APLICAÇÕES
DE CAPTURA E ACESSO EM AMBIENTES
EDUCACIONAIS UBÍQUOS**

TAFFAREL BRANT RIBEIRO

Uberlândia - Minas Gerais
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO



TAFFAREL BRANT RIBEIRO

**FORMALIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE APLICAÇÕES
DE CAPTURA E ACESSO EM AMBIENTES
EDUCACIONAIS UBÍQUOS**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Área de concentração: Sistemas de Computação.

Orientador:

Prof. Dr. Renan Gonçalves Cattelan

Uberlândia, Minas Gerais
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Os abaixo assinados, por meio deste, certificam que leram e recomendam para a Faculdade de Computação a aceitação da dissertação intitulada “**Formalização e Validação de Aplicações de Captura e Acesso em Ambientes Educacionais Ubíquos**” por **Taffarel Brant Ribeiro** como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência da Computação**.

Uberlândia, 7 de Agosto de 2014

Orientador:

Prof. Dr. Renan Gonçalves Cattelan
Universidade Federal de Uberlândia

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Renato de Freitas Bulcão Neto
Universidade Federal de Goiás

Prof. Dr. Michel dos Santos Soares
Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. Fabiano Azevedo Dorça
Universidade Federal de Uberlândia

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Data: 7 de Agosto de 2014

Autor: **Taffarel Brant Ribeiro**

Título: **Formalização e Validação de Aplicações de Captura e Acesso em Ambientes Educacionais Ubíquos**

Faculdade: **Faculdade de Computação**

Grau: **Mestrado**

Fica garantido à Universidade Federal de Uberlândia o direito de circulação e impressão de cópias deste documento para propósitos exclusivamente acadêmicos, desde que o autor seja devidamente informado.

Autor

O AUTOR RESERVA PARA SI QUALQUER OUTRO DIREITO DE PUBLICAÇÃO DESTE DOCUMENTO, NÃO PODENDO O MESMO SER IMPRESSO OU REPRODUZIDO, SEJA NA TOTALIDADE OU EM PARTES, SEM A PERMISSÃO ESCRITA DO AUTOR.

Agradecimentos

A todos aqueles que contribuíram de alguma maneira para o desenvolvimento desta pesquisa, mas que devido à sobrecarga da minha unidade de processamento cerebral e aumento inesperado da temperatura em meus componentes de *hardware*, fui incapaz de realizar atividades computacionais de natureza quântica para nomear cada um sem que houvesse uma perda considerável de dados.

A vocês, o meu muito obrigado.

"Computer science is no more about computers than astronomy is about telescopes, biology is about microscopes or chemistry is about beakers and test tubes. Science is not about tools, it is about how we use them and what we find out when we do."

Edsger Dijkstra

Resumo

A *Captura e Acesso* é um tema de pesquisa recorrente da *Computação Ubíqua*, que versa sobre a possibilidade de se registrar fluxos de conteúdo multimídia para posterior disponibilização e acesso. No âmbito acadêmico, seu uso permite a automatização de atividades educacionais, colaborando com processos de ensino e aprendizagem e criando *Ambientes Educacionais Ubíquos*. Nesse contexto, esta pesquisa buscou realizar a formalização do fluxo interativo e a validação da aplicabilidade de uma plataforma educacional ubíqua denominada *Classroom eXperience (CX)*, implantada na Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia. Durante a formalização, criou-se uma linguagem para a especificação de fluxos interativos Web baseada em *Redes de Petri Coloridas*, que foi empregada para a modelagem do sistema. Posteriormente, o modelo concebido foi verificado por meio de um grafo de alcançabilidade e validou-se a eficiência da linguagem utilizando-se questionários para usuários e entrevistas com especialistas. Para a validação do CX, turmas de cursos de graduação e pós-graduação foram investigadas no decorrer de quatro semestres letivos. Variáveis de assiduidade, desempenho e impressões de usuários foram coletadas e analisadas empregando-se, quando pertinente, técnicas estatísticas para a certificação dos dados obtidos. Como resultado, o uso do sistema propiciou maiores aumentos de desempenho entre turmas de graduação que na pós-graduação. A frequência dos alunos de ambas as vertentes não sofreu mudanças expressivas entre turmas que tiveram ou não contato com a aplicação. Professores que empregaram o CX no cotidiano sentiram-se confiantes ao fazer seu uso, demonstrando interesse em utilizá-lo com maior frequência e recomendá-lo para colegas. Alunos informaram que prestaram mais atenção nas explicações dos docentes que usaram o sistema durante as aulas, justificando que não precisaram anotar tudo o que foi escrito e puderam concentrar-se no conteúdo exposto. Além disso, declararam que a gravação das aulas não os desestimulou a frequentarem as disciplinas presencialmente, encorajando-os a estudarem mais.

Palavras chave: Computação Ubíqua; Captura e Acesso; Métodos Formais; Modelagem de *Software*; Validação de Aplicações Educacionais; Ambientes Educacionais Ubíquos.

Abstract

Capture and Access is a recurring theme of research in *Ubiquitous Computing*, which deals with the possibility of recording multimedia streams to later provision and access. In academic scope, its use allows the automation of educational activities, collaborating with teaching and learning processes and creating *Ubiquitous Learning Environments*. In this context, this study aimed to formalize the interactive flows and validate the applicability of a ubiquitous learning platform called *Classroom eXperience* (CX), located at the Faculty of Computing in Federal University of Uberlândia. During the formalization, we created a language for specifying interactive Web flows based on *Colored Petri Nets*, which was used for modeling the system. Subsequently, the designed model was verified with a graph of reachability and the language efficiency was validated using questionnaires for users and interviews with experts. For CX's validation, groups of undergraduate and graduate students were investigated over four semesters. Variables such as user attendance, performance and impressions were collected and analyzed employing statistical techniques for data certification, when appropriate. As a result, the system usage resulted in higher performance increases among undergraduate than graduate students. Their attendance suffered no significant changes between those who had or not contact with the application. Teachers who employed CX in daily activities felt confident while making its use, showing interest in using it more often and recommending the system to colleagues. Students reported they paid more attention to teachers' explanations who used the application during classes, justifying they did not need to annotate everything written by the instructor and could concentrate on content displayed. In addition, they declared that content recording did not discourage their attendance, but incited them to study more.

Keywords: Ubiquitous Computing; Capture and Access; Formal Methods; Software Modeling; Validation of Educational Applications; Ubiquitous Learning Environments.

Sumário

Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xix
Lista de Abreviaturas e Siglas	xxi
1 Introdução	23
1.1 Motivação	24
1.2 Objetivos	25
1.3 Metodologia	26
1.4 Estrutura da Dissertação	28
2 Fundamentação Teórica	31
2.1 Formalização de Sistemas	31
2.1.1 Especificação Formal de Sistemas	32
2.1.1.1 Redes de Petri	33
2.1.1.2 Redes de Petri Coloridas	34
2.2 Captura e Acesso	36
2.2.1 Ambientes Educacionais Ubíquos	37
2.2.1.1 Classroom eXperience	38
2.2.2 Vertentes de Pesquisa em Aplicações de Captura e Acesso	40
3 Formalização do Sistema Classroom eXperience	43
3.1 Levantamento e Especificação dos Requisitos	43
3.2 Especificação Formal	44
3.2.1 Redes de Petri Coloridas para a Modelagem de Interações Web . . .	44
3.2.2 Modelagem do Fluxo de Interações do Classroom eXperience . . .	48
3.2.3 Verificação do Modelo Desenvolvido	52

3.2.4	Validação da Linguagem wiCPN	54
3.3	Trabalhos Relacionados e Discussões	59
3.4	Considerações Finais	65
4	Validação do Uso do Sistema Classroom eXperience	67
4.1	Delineamento Amostral	68
4.1.1	Intervalo de Confiança e Margem de Erro	68
4.1.2	Variáveis Avaliadas nas Amostras	69
4.2	Resultados e Discussões	69
4.2.1	Desempenho	70
4.2.2	Assiduidade	74
4.2.3	Impressões	78
4.3	Trabalhos Relacionados	86
4.4	Considerações Finais	88
5	Conclusões	89
5.1	Contribuições	92
5.2	Publicações	93
5.3	Limitações e Trabalhos Futuros	93
Referências		95
Apêndice A Documento de Especificação de Requisitos de Software do Classroom eXperience		103
Apêndice B Modelagem de Interações do Classroom eXperience		117
Apêndice C Gráficos de Assiduidade de Turmas e Frequências de Acesso ao Classroom eXperience		135

Lista de Figuras

2.1	Fatia do processo de formalização de sistemas capaz de ilustrar o local em que a especificação formal se encaixa neste fluxo.	32
2.2	Fragmento do fluxo de uma <i>Rede de Petri</i> que ilustra o processo inicial de funcionamento de uma máquina.	34
2.3	Fragmento do fluxo de uma <i>Rede de Petri Colorida</i> que ilustra o mesmo processo apresentado na Figura 2.2.	35
2.4	Sala de aula instrumentada com lousa digital, câmera e projetores multimídia.	38
2.5	Páginas de <i>login</i> e seleção de contexto da interface Web do CX.	39
2.6	Páginas principal e de aula capturada da interface Web do CX.	40
3.1	Tipos de lugares modelados utilizando-se a extensão <i>wiCPN</i>	46
3.2	Lugares modelados utilizando-se a extensão <i>wiCPN</i> e que retratam mais de um papel simultaneamente.	47
3.3	Declaração e uso da cor <i>Ativo</i> utilizando-se a extensão <i>wiCPN</i>	47
3.4	Tipos de transições modeladas utilizando-se a extensão <i>wiCPN</i>	47
3.5	O nível mais alto da modelagem do CX.	48
3.6	Fluxo de interação da <i>TelaPrincipal</i> quando o usuário é um professor. . . .	50
3.7	Fluxo de interação da <i>TelaLogin</i> na modelagem do CX.	51
3.8	Fluxo de interação da <i>TelaAcessoTurma</i> quando o usuário é um aluno. . .	52
3.9	Grafo de alcançabilidade da modelagem do CX.	53
3.10	Respostas dos alunos aos questionários sobre <i>UML</i> e <i>wiCPN</i>	58
4.1	<i>Boxplots</i> das turmas analisadas na Tabela 4.1.	71
4.2	<i>Boxplots</i> das turmas analisadas na Tabela 4.2.	73
4.3	Frequência em turmas de graduação que cursaram a disciplina A.	74
4.4	Frequência em turmas de pós-graduação que cursaram a disciplina A. . . .	75

4.5 Quantidade de acessos ao sistema por turmas de graduação e pós-graduação que cursaram a disciplina A	76
4.6 Motivos dos alunos terem acessado o sistema durante os semestres avaliados.	77
4.7 Locais de onde originaram-se os acessos ao sistema durante os semestres avaliados.	77
4.8 Nível de concordância dos professores com relação às afirmativas presentes nos questionários.	80
4.9 Proporção dos cursos frequentados pelos discentes que responderam ao questionário.	83
4.10 Nível de concordância dos alunos com relação às afirmativas dos questionários e motivos que os levaram a acessar o CX.	84
C.1 Frequência em turmas de graduação que cursaram a disciplina A.	136
C.2 Frequência em turmas de graduação que cursaram a disciplina B.	137
C.3 Frequência em turmas de graduação que cursaram a disciplina C.	138
C.4 Frequência em turmas de pós-graduação que cursaram a disciplina A.	139
C.5 Frequência na turma de pós-graduação que cursou a disciplina B.	140
C.6 Quantidade de acessos ao sistema por turmas de graduação e pós-graduação que cursaram a disciplina A.	141
C.7 Quantidade de acessos ao sistema por turmas de graduação e pós-graduação que cursaram a disciplina B.	142
C.8 Quantidade de acessos ao sistema por turmas de graduação que cursaram a disciplina C.	143

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas e Siglas

ACM	<i>Association for Computing Machinery</i>
AEU	<i>Ambiente Educacional Ubíquo</i>
CASE	<i>Computer-Aided Software Engineering</i>
CV	<i>Coeficiente de Variação</i>
CX	<i>Classroom eXperience</i>
C&A	<i>Captura e Acesso</i>
FACOM	<i>Faculdade de Computação</i>
IC	<i>Intervalo de Confiança</i>
ICO	<i>Interactive Cooperative Objects</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IFML	<i>Interaction Flow Modeling Language</i>
IHC	<i>Interação Humano-Computador</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
LOC PN	<i>Learning Objects Production with Colored Petri Nets</i>
ME	<i>Margem de Erro</i>
MoLIC	<i>Modeling Language for Interaction as Conversation</i>
OA	<i>Objeto de Aprendizagem</i>
OMG	<i>Object Management Group</i>
OOHDM	<i>Object Oriented Hypermedia Design Method</i>
PetShop	<i>Petri Net Workshop</i>
PPGCO	<i>Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação</i>
RdP	<i>Rede de Petri</i>
RdPC	<i>Rede de Petri Colorida</i>
SIGCHI	<i>Special Interest Group on Computer-Human Interaction</i>
SRS	<i>Software Requirements Specification</i>
SW	<i>Shapiro-Wilk</i>

UbiComp	<i>Ubiquitous Computing</i>
UFU	<i>Universidade Federal de Uberlândia</i>
UITD	<i>User Interface Transition Diagram</i>
U-Learning	<i>Ubiquitous Learning</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
WebML	<i>Web Modeling Language</i>
wiCPN	<i>Web Interaction Modeling Using Colored Petri Nets</i>

Introdução

No início da década de 90, Mark Weiser¹ prenunciou – em seu artigo *The Computer for the 21st Century* – que no futuro os computadores passariam a habitar os mais corriqueiros objetos do cotidiano (Weiser, 1991). Argumentou que os dispositivos computacionais tornariam-se invisíveis à percepção humana – no contexto de que estariam intimamente ligados ao dia a dia – e deduziu que as tecnologias mais profundas seriam capazes de desaparecer a ponto de se tornarem indistinguíveis, entrelaçando-se por completo ao modo de vida das pessoas (Weiser, 1994).

Atualmente, pouco mais de duas décadas após a publicação desse artigo, é possível perceber que as pessoas passaram a fazer uso demasiado de equipamentos tecnológicos, mantendo-se durante a maior parte do tempo – quando não integralmente – conectadas à Internet (Internet World Stats, 2012) e em ambientes capazes de proporcionar interações entre humanos e computadores (ITU, 2012). A este paradigma tecnológico de interação entre homem e máquina é atribuído o nome de *Computação Ubíqua (UbiComp)*, cuja utilização permite conceder aos usuários a capacidade de receber o auxílio de equipamentos computacionais no exercício de suas tarefas do dia a dia.

Ao se realizar a instrumentação de espaços predeterminados – como salas de reuniões, áreas domésticas ou ambientes educacionais – com equipamentos tecnológicos de *UbiComp*, aborda-se uma área de pesquisa intitulada *Captura e Acesso (C&A)* (Truong e Hayes, 2009). Esse campo versa, essencialmente, sobre o processo de se registrar o conteúdo apresentado em determinados locais e disponibilizá-lo posteriormente, de ma-

¹Mark Weiser foi um cientista da computação norte-americano. É considerado o pai da *Computação Ubíqua*, conceito que designa a onipresença da tecnologia no dia a dia das pessoas, de maneira que a interação com os computadores seja algo intrínseco e habitual do cotidiano (Weiser, 1991).

neira que os usuários envolvidos sejam capazes de acessar as informações capturadas no momento em que preferirem.

No âmbito educacional, as aplicações de C&A permitem a automatização das atividades pedagógicas, contribuindo com os processos de ensino e aprendizagem ao equipar salas de aula com dispositivos tecnológicos e criando *Ambientes Educacionais Ubíquos (AEUs)* (Settle *et al.*, 2011; Wang e Wu, 2011; Zhao *et al.*, 2010). Ao se utilizar equipamentos de captura posicionados estratégicamente em salas instrumentadas, é possível automatizar o processo de autoria de material pedagógico, compondo acervos de arquivos multimídia e apresentando-os utilizando recursos de personalização (Lopes *et al.*, 2012) e recomendação de conteúdo (Araújo *et al.*, 2013; Wang e Wu, 2011). Atividades nesse contexto acabam integrando ambientes virtuais e reais de aprendizagem, eliminando limites físicos das salas de aula e abordando uma área de pesquisa intitulada *Aprendizagem Ubíqua (U-Learning)* (Aihua, 2010; Graf *et al.*, 2012).

1.1 Motivação

O processo de desenvolvimento de aplicações de C&A abrange uma gama de peculiaridades que vai desde a formalização e a implantação de arquiteturas computacionais complexas até a elaboração e execução de métodos para avaliar essas aplicações em ambientes reais (Felice *et al.*, 2010; Hierons *et al.*, 2009). Por causa disso, fatores referentes ao projeto e à manutenção de interfaces são essenciais, tendo em vista que tais aplicações demandam uma quantidade significativa de atenção ao tratar de questões relativas à interação entre humanos e computadores (Wilde *et al.*, 2010). Nesse escopo, a área de *Interação Humano-Computador (IHC)* – caracterizada pela sua natureza multidisciplinar e capacidade de abranger disciplinas de vertentes diversificadas – é assumida como uma parte inerente às aplicações de C&A, sendo também aplicada aos demais âmbitos de atuação da *UbiComp* (Koo, 2010; Traue e Kobayashi, 2011).

A IHC tem como objetivo prover aos pesquisadores previsões e esclarecimentos sobre os fenômenos interativos que ocorrem ao se utilizar interfaces de sistemas (ACM SIGCHI, 1992). Ela busca, portanto, analisar a comunicação interface-usuário e assegurar que determinadas características, requisitos e funcionalidades sejam cumpridos, contribuindo para que o processo de interação alcance níveis satisfatórios. Devido a sua essência interdisciplinar, pesquisas nessa área tendem a explorar conceitos de diversos campos, como *Ciência da Computação, Psicologia Cognitiva, Linguística, Ergonomia, Usabilidade e Design* (Rogers *et al.*, 2011). A IHC modifica a maneira clássica de se abordar projetos de *software*, voltando a atenção para os usuários e suas impressões, respeitando aspectos estéticos, sociais e culturais (Dix, 2010).

Com base nessas assertivas, realizar a formalização de uma aplicação de C&A em um AEU é uma etapa fundamental do processo de desenvolvimento de arquiteturas compu-

tacionais ubíquas (Hierons *et al.*, 2009). Ao se utilizar métodos formais, torna-se possível identificar as funcionalidades e características que os sistemas devem possuir; simulando comportamentos, analisando fenômenos, certificando a integridade da modelagem por meio de provas matemáticas e elaborando resoluções para corrigir problemas de *software* e *hardware* (Muller *et al.*, 2012; Rogers *et al.*, 2011; Woodcock *et al.*, 2009).

Do mesmo modo, validar o emprego dessa aplicação de *C&A* é uma atividade essencial para se obter respaldo de usuários e determinar o grau de impacto que uma arquitetura computacional ubíqua causa no ambiente educacional (Settle *et al.*, 2011). Utilizando dados de fontes diversificadas, como *logs* de acesso, rendimento e assiduidade de alunos, impressões de professores e questionários baseados em aspectos de interatividade e utilização do sistema, é possível avaliar o nível de satisfação dos usuários que interagem com a plataforma e mesurar se ela realmente beneficia quem faz o seu uso, sendo também possível determinar, caso afirmativo, qual a real proporção desse fenômeno (Dickson *et al.*, 2012; Settle *et al.*, 2011; Wieling e Hofman, 2010).

1.2 Objetivos

Este trabalho pretendeu formalizar uma plataforma de *C&A* denominada *Classroom eXperience* (*CX*) (Ferreira *et al.*, 2012), implantada na *Faculdade de Computação* da *Universidade Federal de Uberlândia* (*FACOM/UFU*). Para a realização desse objetivo, elaborou-se um *Documento de Especificação de Requisitos de Software (SRS)* (IEEE, 1998) e representou-se o fluxo interativo do Web *front-end* da aplicação por meio de uma linguagem baseada em *Redes de Petri Coloridas (RdPC)* (Gehlot e Nigro, 2010; Jensen, 2010), elaborada para este fim. Em continuidade, almejou-se também validar a utilização da plataforma sob perspectivas educacionais, com o intuito de determinar sua capacidade de auxiliar alunos e professores durante atividades pedagógicas cotidianas. Desse modo, foram empregados métodos de legitimação de dados e técnicas estatísticas para se adquirir informações robustas e capazes de permitir resultados e interpretações representativas do escopo real no qual esta pesquisa foi conduzida.

Por conseguinte, como desdobramentos do objetivo geral, planejou-se:

- Elaborar uma extensão baseada em *RdPC* adequada para representar a interatividade entre usuários e a interface da aplicação de *C&A*;
- Modelar os fluxos de interação do Web *front-end* do *CX*, com o intuito de verificar e validar a linguagem criada num contexto real;
- Desenvolver módulos para o registro *logs* de acesso e elaborar questionários para coletar opiniões de professores e alunos sobre o *CX*;
- Validar a aplicabilidade da plataforma *CX* no âmbito da *FACOM/UFU*.

1.3 Metodologia

Um método de pesquisa pode ser definido como a linha de raciocínio adotada durante a realização de determinada investigação científica (Lakatos e Marconi, 2010). O método é, portanto, uma sequência de passos necessários para demonstrar como os objetivos propostos foram atingidos e, para isso, suas etapas devem ser claras e bem estruturadas (Wazlawick, 2009). No âmbito da *UbiComp*, as pesquisas caracterizam-se pela necessidade de se desenvolver inicialmente protótipos funcionais em níveis e quantidades suficientes para serem examinados no dia a dia (Truong e Hayes, 2009). Neste escopo, as aplicações devem ser continuamente avaliadas e aperfeiçoadas, permitindo que os pesquisadores familiarizem-se com os objetos de estudo e realizem pesquisas com alto nível de compreensão, habitualmente seguindo um enfoque de investigação exploratória.

Na área da *IHC*, as pesquisas se baseiam em observações que buscam descobrir e interpretar fatos, leis ou teorias referentes à interação entre usuários e dispositivos computacionais (Dix, 2010; Karray *et al.*, 2008). Investigações nessa área normalmente abordam propriedades empíricas – já que se baseiam na extração e análise de dados, levando a resultados que podem modificar ou acrescentar novas informações ao conhecimento (MacKenzie, 2013). Todavia, quando unida à *UbiComp*, a *IHC* adquire um espectro ainda mais amplo de interesses, abraçando fatores emocionais, experiências incorporadas ao contexto dos usuários e características socioculturais. Isso ocorre porque as pessoas se tornaram mais conectadas e dependentes da tecnologia, o que eleva o estudo da interatividade a um contexto exploratório – tendo em vista que novos dispositivos e aplicações são produzidos constantemente e a investigação dos mesmos tende a ser realizada já em ambientes com usuários reais (Lazar *et al.*, 2010; Rogers, 2009).

Diante desses esclarecimentos, o desenvolvimento desta investigação se deu em duas fases sequenciais e complementares: a formalização da aplicação *CX* e a validação da sua aplicabilidade em um *AEU* real. Inicialmente, na etapa de formalização, desenvolveu-se um *SRS*, elicitando as funcionalidades, comportamentos e propriedades do *software* analisado. Após a compreensão dos requisitos, as *RdPCs* foram utilizadas como base para criar uma extensão formal capaz de representar os fluxos interativos existentes entre usuários e interfaces Web. Empregando-se a linguagem elaborada, representou-se toda a interação do *CX* e realizou-se a verificação da modelagem gerada por meio do método de espaço de estados – capaz de criar um grafo de alcançabilidade que permitiu a análise de todas as ações realizáveis no modelo gerado (Jensen, 2010).

Em seguida, a nova linguagem foi validada por meio de entrevistas com especialistas e aplicação de questionários para alunos de graduação do curso de Ciência da Computação. As entrevistas basearam-se em conversas nas quais a técnica foi apresentada a profissionais atuantes em áreas afins da extensão, como desenvolvimento Web, qualidade e teste de *software* e convededores de linguagens de modelagem, como a *Unified Modeling Language*

(UML) e as *Redes de Petri* (RdPs). Para os discentes, realizou-se a modelagem do fluxo interativo do CX utilizando-se o *Diagrama de Atividades* da UML e dividiu-se uma turma de IHC em duas amostras iguais de alunos, coletando informações com base no que foi percebido em cada uma das modelagens. Esses questionários foram compostos por 12 afirmativas com ideias referentes aos modelos observados e acompanhadas de *Escalas Likert* de 7 pontos – que continham opções que variaram da concordância à discordância com relação às afirmações listadas.

As respostas obtidas foram legitimadas utilizando-se o método de negação de afirmativas, no qual as mesmas ideias foram apresentadas em afirmações diferentes, todavia camufladas de modo a ilustrarem opiniões aparentemente opostas (Huang *et al.*, 2012; Weijters e Baumgartner, 2012). A esses dados, aplicou-se uma valoração que acompanhou o nível de concordância de cada asserção (de 1 a 7) e realizou-se o cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) para comparar as respostas obtidas entre as amostras investigadas (Triola, 2011). Os resultados obtidos no decorrer deste processo foram discutidos e comparados aos de trabalhos relacionados, almejando demonstrar as diferenças e peculiaridades que a linguagem elaborado e as técnicas encontradas na literatura apresentam no âmbito da modelagem de interação.

Paralelamente, um módulo para registrar os *logs* dos usuários que tiveram contato com o CX foi desenvolvido. Tais *logs* armazenaram informações relativas ao contexto em que os usuários se encontraram quando acessaram o sistema durante os quatro semestres letivos compreendidos pela pesquisa. Ao final de cada período, aplicou-se questionários para os docentes e discentes com o intuito de investigar suas impressões com relação ao sistema. Para os alunos, apresentou-se uma lista de 18 afirmativas acompanhadas de *Escalas Likert* de 5 pontos, seguidas de duas questões nas quais eles deveriam informar os motivos que mais os levaram a utilizar o CX e suas críticas e sugestões sobre a aplicação. Para legitimar as respostas obtidas, utilizou-se o método de negação de afirmativas e um limite de tempo inferior mínimo considerado necessário para ler, compreender e responder corretamente as questões apresentadas (Meade e Craig, 2012).

Para os professores, aplicou-se um conjunto de 30 afirmativas com diversos pontos de vista sobre o sistema, acompanhadas de *Escalas Likert* de 5 pontos e sucedidas por uma questão aberta na qual os docentes informaram críticas e sugestões pessoais. Dado o fato que os professores denotam maior comprometimento com pesquisas e seriedade em suas respostas, não se empregou técnicas para filtrar as respostas desses usuários. Utilizando-se os dados das respostas dos professores e alunos que utilizaram o CX, foram então criados gráficos para ilustrar os níveis de concordância e discordância que os usuários tiveram com relação a cada afirmativa e suas críticas e sugestões foram listadas e interpretadas, junto a discussões sobre os resultados obtidos.

Também coletaram-se dados relativos à assiduidade e o rendimento de alunos que frequentaram disciplinas em que o CX foi empregado no decorrer dos semestres. Com

relação à presença de alunos, gráficos de frequência foram gerados, ilustrando os diferentes fluxos de assiduidade que ocorreram entre os discentes de cursos de graduação e pós-graduação da *FACOM/UFU*. Sobre a frequência de acesso ao sistema, geraram-se gráficos que ilustraram a maneira que o sistema foi utilizado durante os semestres – com base nos motivos que levaram os usuários a visitarem-no – e realizaram-se discussões de modo a enriquecer o entendimento dos resultados obtidos.

Finalmente, para investigar o desempenho dos alunos, notas foram analisadas para averiguar se o uso do *CX* trouxe aumento de rendimento entre as turmas sob observação. A princípio, calculou-se a média e o desvio padrão das notas das turmas, organizando os resultados com relação ao nível frequentado pelos discentes (graduação ou pós-graduação) e emprego do sistema durante os semestres (parcial, ausente ou presente). A esses dados, foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk (SW) e Levene para, respectivamente, investigar se os resíduos das amostras seguiam uma distribuição normal e se havia homogeneidade de variâncias entre as turmas que cursaram as mesmas disciplinas (Triola, 2011). Em seguida, aplicou-se o teste *t* de Student para averiguar a existência de diferenças expressivas entre as médias das turmas observadas e, por fim, os resultados obtidos foram discutidos e comparados aos de trabalhos relacionados, com o intuito de evidenciar os ganhos obtidos e os pontos a serem melhorados por meio de trabalhos futuros.

1.4 Estrutura da Dissertação

Os demais capítulos desta dissertação estão organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 2: apresenta a fundamentação teórica relativa aos procedimentos utilizados durante a formalização e a validação do *CX*; abordando detalhes sobre especificações formais e o tema de pesquisa em *C&A*, além de ilustrar sua aplicabilidade em ambientes acadêmicos e detalhar a plataforma educacional *CX*.
- Capítulo 3: discorre sobre o processo de formalização do sistema *CX*; ilustrando a etapa de levantamento e especificação de requisitos de *software*, a elaboração de uma extensão baseada em *RdPCs* e a representação do fluxo interativo do Web *front-end* do sistema, junto à verificação da representação gerada e a validação da linguagem de modelagem concebida.
- Capítulo 4: descreve a investigação realizada para validar a aplicabilidade do *CX* em um *AEU* real; por meio da análise de vertentes de desempenho, assiduidade e impressões em alunos e opiniões de professores que tiveram contato com o sistema no decorrer de quatro semestres letivos.
- Capítulo 5: conclui as ideias apresentadas no decorrer desta dissertação; expondo conclusões e contribuições obtidas por meio da pesquisa, limitações observadas no decorrer da investigação e propostas de trabalhos futuros.

Adicionalmente, apêndices foram incluídos nesta dissertação de modo a detalhar as informações compreendidas no decorrer da pesquisa:

- Apêndice A: apresenta o *Documento de Especificação de Requisitos de Software* do CX; no qual é realizada uma descrição geral sobre o sistema, suas aplicações e características.
- Apêndice B: comprehende a modelagem completa do fluxo interativo do CX; concebida empregando-se a linguagem *wiCPN* (*Web Interaction Modeling Using Colored Petri Nets*).
- Apêndice C: contém os gráficos de assiduidade e frequências de acesso ao CX das turmas que foram observadas durante a investigação.

Fundamentação Teórica

Com o intuito de compreender o universo de pesquisa no qual esta investigação se encontra e abordar as técnicas utilizadas durante as etapas de formalização e validação do CX, este capítulo fornece conceitos fundamentais sobre essas temáticas. Ao início, detalhes sobre processos de formalização de sistemas são apresentados (Seção 2.1), abordando tópicos de levantamento e especificação de requisitos de *software* e conceitos relativos a métodos formais. Em seguida, o tema de pesquisa relativo a aplicações de C&A é introduzido (Seção 2.2), junto a sua aplicabilidade em ambientes educacionais – apresentando-se a plataforma CX, na qual este trabalho foi desenvolvido – e detalhando melhor esta vertente de investigação no âmbito da *UbiComp*.

2.1 Formalização de Sistemas

Processos de formalização são métodos compostos por sequências de etapas complementares que objetivam amparar atividades de desenvolvimento de sistemas (Felice *et al.*, 2010). Essas fases podem ser utilizadas tanto para descrever e analisar comportamentos e características quanto para verificar propriedades-chave que contribuem para a robustez e a confiabilidade de um produto. Tais técnicas auxiliam durante as etapas de especificação, desenvolvimento e verificação de *hardware* e *software*, eliminando ambiguidades, diminuindo equívocos e reduzindo o aparecimento de não-conformidades ao se produzir sistemas (Hierons *et al.*, 2009; Sommerville, 2010).

Em função disso, um processo de formalização deve abranger tanto as etapas de identificação e documentação dos requisitos de um sistema – com base em sua análise de domínio – quanto sua representação utilizando um meio de comunicação capaz de tradu-

zir corretamente os fluxos de informações existentes na estrutura do sistema (Figura 2.1) (Felice *et al.*, 2010).

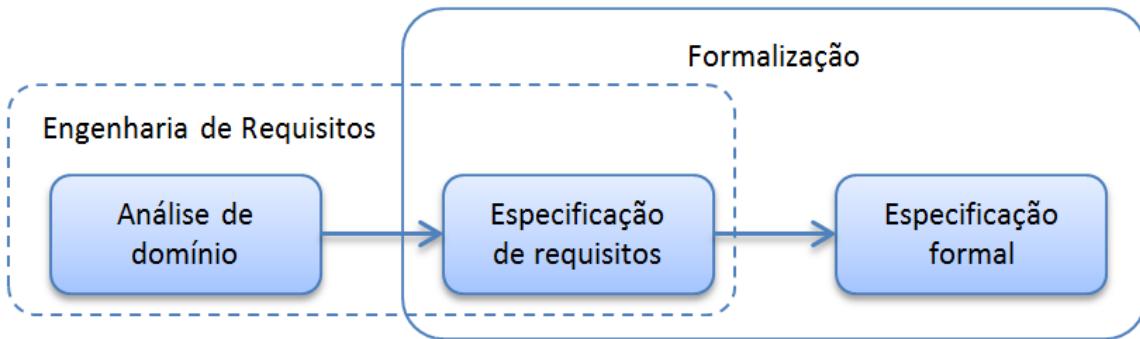


Figura 2.1: Fatia do processo de formalização de sistemas capaz de ilustrar o local em que a especificação formal se encaixa neste fluxo.

Desta maneira, a análise de domínio deve realizar a identificação e o agrupamento das funcionalidades que os sistemas que operam num mesmo escopo (ou domínio) possuem em comum (Lisboa *et al.*, 2010). Atividades neste escopo são responsáveis pela investigação e organização das informações necessárias para o desenvolvimento de um *software*, atentando-se para que esses dados possam ser reutilizados para efetuar melhorias ou para o desenvolvimento de outros produtos de mesmo domínio.

Na especificação de requisitos, são detalhados os atributos e funcionalidades que os sistemas devem possuir, explicando-se, também, a maneira que eles precisam se comportar quando forem utilizados por usuários finais (Pressman, 2010). Os requisitos são, portanto, um conjunto de características e comportamentos que determinado *software* precisa ter para ser eficiente ao seu público-alvo. Por causa disso, durante esta etapa de especificação é necessário classificá-los em dois tipos: os requisitos funcionais, que abordam tudo o que o sistema deve fazer (p. ex., permitir que um aluno matricule-se numa disciplina ou possibilitar que um professor realize o lançamento das notas de uma turma), e os requisitos não-funcionais, que informam características relacionadas à abrangência, operação e qualidade das funcionalidades que um sistema deve possuir (p. ex., confiabilidade – que descreve detalhes sobre falhas da aplicação e sua aptidão para recuperar-se de erros – e usabilidade – que descreve a facilidade de se utilizar o sistema e a necessidade de treinamento prévio de usuários) (Sommerville, 2010).

2.1.1 Especificação Formal de Sistemas

Uma especificação formal é um meio de representação de *hardware* e *software* capaz de descrever informações que auxiliam durante o processo de desenvolvimento e implementação de sistemas (Hierons *et al.*, 2009). Utilizando tais especificações, torna-se possível empregar técnicas de verificação formal capazes de comprovar que os modelos gerados estão de acordo com suas características pré-estabelecidas, permitindo, por exemplo, que

não-conformidades sejam identificadas em etapas iniciais de desenvolvimento.

Durante o processo de especificação formal, linguagens baseadas em conceitos matemáticos devem ser empregadas para a criação de modelos. De modo a conduzir o uso correto dessas estruturas, os métodos formais mostram-se indispensáveis para regerem a disposição harmoniosa dos elementos que compõem as representações criadas. Utilizando-se esses métodos, torna-se possível analisar e verificar modelos durante todo o ciclo de vida dos sistemas, assegurando que o tempo gasto durante a especificação seja compensado por um produto de maior qualidade e reduzindo a possibilidade e o custo de retrabalho posterior (Woodcock *et al.*, 2009).

Conforme Rogers *et al.* (2011), atividades de especificação de interfaces compreendem a criação de modelos capazes de retratar os requisitos que precisam ser atendidos pelo *software* em momentos que fluxos de interação são realizados pelos usuários. O uso de métodos formais para modelar a interatividade entre usuários e interfaces é capaz de prover uma série de benefícios, tais como a garantia de consistência entre plataformas operacionais e a incorporação da fase de projeto de interfaces ao processo de desenvolvimento de sistemas (Bowen e Hinze, 2012). Dentre os métodos formais existentes e aplicáveis à modelagem de fluxos interativos, as *Redes de Petri* (*RdPs*) são definidas como um meio de representação formal gráfico e matemático, apropriado para a modelagem de sistemas de caráter distribuído e concorrente (Reisig, 2013).

2.1.1.1 Redes de Petri

As *RdPs* são compreendidas como grafos bipartidos, ou seja, diagramas cujos elementos formam dois conjuntos disjuntos que não possuem unidades em comum (Petri, 1962). Por se tratarem de um método formal baseado em modelos, as *RdPs* são construídas utilizando-se abstrações com fundamentos matemáticos – tais como elementos e conjuntos –, além de operações capazes de definir a maneira e a sequência que as atividades são realizadas no sistema modelado.

Os elementos que compõem uma *RdP* são denominados *lugares*, *transições*, *arcos* e *fichas* (Peterson, 1977). Os *lugares* – representados por círculos – simbolizam os estados de um sistema. As *transições* – que podem ser retângulos ou barras verticais – ilustram os eventos que podem ocorrer. Os *arcos* – retratados por linhas que ligam os lugares às transições e vice-versa – exemplificam os fluxos que acontecem no sistema e as *fichas* – expressas por pontos localizados dentro dos lugares – são indicadores que verificam se as condições associadas aos lugares são cumpridas.

Com o intuito de ilustrar um fragmento de uma *RdP*, a Figura 2.2(a) demonstra o processo inicial de funcionamento de uma máquina. Na modelagem, a transição *Iniciar operação* somente pode ser ativada caso haja pelo menos uma máquina e uma peça disponíveis. Como os lugares *Máquina disponível* e *Peça disponível* possuem fichas e isso supre a condição para realizar este evento, a transição encontra-se passível de ser dispa-

rada – o que explica a razão dela estar estilizada com um sombreamento e, por isso, ser denominada como *transição sensibilizada*.

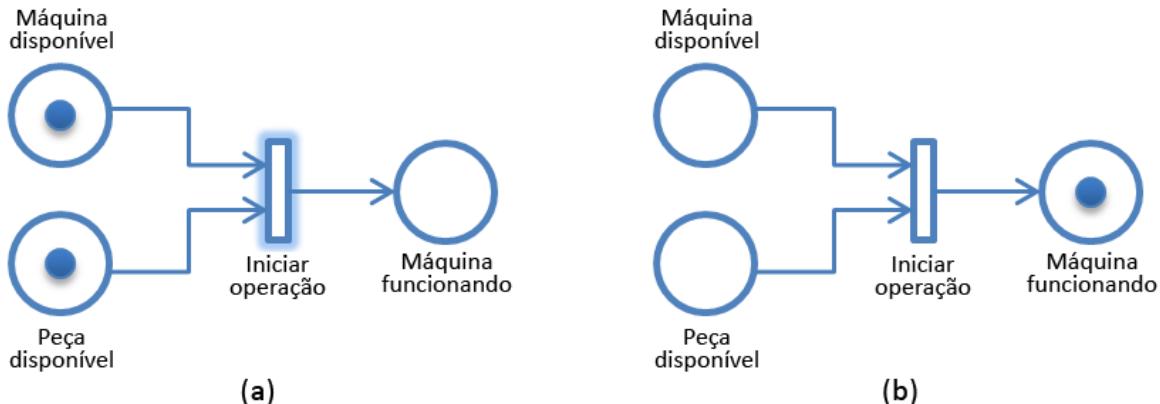


Figura 2.2: Fragmento do fluxo de uma *Rede de Petri* que ilustra o processo inicial de funcionamento de uma máquina.

Após o disparo da transição *Iniciar operação*, as fichas presentes nos lugares que representam máquinas e peças são consumidas (Figura 2.2(b)) e uma nova ficha é gerada para representar que a máquina antes ociosa agora se encontra em funcionamento. Com base no emprego e aprimoramento de mecanismos triviais, porém eficazes, como o apresentado na Figura 2.2, as *RdPs* permitem a modelagem de fluxos em contextos diversificados, como em sistemas de transmissão assíncrona, concorrente, paralela e não-determinística (Cardoso e Valette, 1997).

2.1.1.2 Redes de Petri Coloridas

Definidas como uma extensão das *RdPs* clássicas, as *Redes de Petri Coloridas* (*RdPCs*) são um formalismo de alto nível de abstração capaz de representar os estados que um sistema pode alcançar a partir de uma ou mais condições simultâneas (Jensen, 1994). Permitem, também, a realização de tratamentos de caráter temporal e a descrição das mudanças que as transições podem causar aos estados de sistemas (Gehlot e Nigro, 2010). As *RdPCs* têm sido aplicadas a uma ampla gama de circunstâncias, tais como em projetos de *hardware* (Kim *et al.*, 2012), *software* (Martinie *et al.*, 2014), análise de protocolos de rede (Choosang e Gordon, 2014), sistemas de arquivos paralelos (Nguyen e Apon, 2012) e sistemas distribuídos (Weidlich *et al.*, 2013).

O uso das *RdPCs* permite criar uma abstração capaz de compreender o projeto, a especificação e a validação de *hardware* e *software*. Assim como as *RdPs*, elas também são representadas por grafos que possuem *lugares*, *transições*, *arcos* e *fichas*; todavia, nas *RdPCs* é possível atribuir *cores* (ou tipos) a cada uma das *fichas* – o que permite uma distinção das mesmas – e suas *transições* podem representar hierarquias, concedendo uma melhor organização ao sistema modelado (Jensen, 2010).

Em consequência desses aprimoramentos, os lugares de um modelo em *RdPC* devem ser especificados com os conjuntos de cores das fichas que podem preencherê-los quando ocorrem fluxos de atividades pelo diagrama (Cardoso e Valette, 1997). Além disso, é necessário associar às transições determinadas operações denominadas *funções de guarda* – capazes de habilitar ou não a transição para a qual foram declaradas – e atribuir aos arcos condições booleanas ou esquemas de cores que ilustram as fichas que podem ser carregadas através dos modelos gerados.

A Figura 2.3 ilustra o mesmo fragmento de fluxo apresentado na Figura 2.2, todavia com o uso de *RdPCs*. Na Figura 2.3(a) é possível observar que o lugar *Recursos disponíveis* possui duas fichas com tipos diferentes: *Peca* e *Máquina*. Essas fichas fazem parte de um mesmo conjunto chamado *Recursos*. A transição *Iniciar operação* possui uma função de guarda que regula seu disparo e, como há fichas que suprem a condição imposta, ela se encontra sensibilizada. Após o disparo, as duas fichas que representam os recursos disponíveis são consumidas e uma nova é gerada e inserida no lugar *Máquinas funcionando*, especificado pelo conjunto unitário *MFunc* (Figura 2.3(b)).

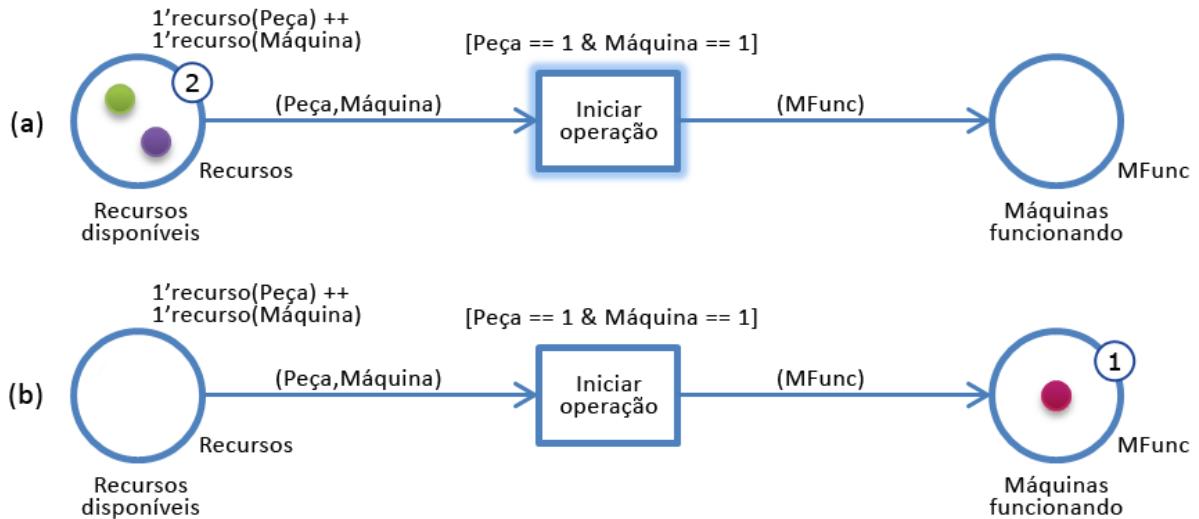


Figura 2.3: Fragmento do fluxo de uma *Rede de Petri Colorida* que ilustra o mesmo processo apresentado na Figura 2.2.

Uma vantagem de se utilizar as *RdPCs* para a modelagem de sistemas refere-se à compactação obtida nos modelos que são criados por meio dessa linguagem. Ao se empregar outras abordagens como, por exemplo, as *RdPs* clássicas para realizar especificações formais, mostra-se necessário utilizar diversos lugares diferentes para representar fichas de origens diversificadas. Com os aprimoramentos das *RdPCs*, torna-se possível usar apenas um lugar e especificá-lo com um conjunto de tipos capaz de comportar várias fichas ao mesmo tempo. No exemplo da Figura 2.3, dois lugares ilustrados na Figura 2.2 (*Máquina disponível* e *Peca disponível*) passam a ser apenas um (*Recursos disponíveis*), capaz de conter fichas de ambos os tipos (*Peca* e *Máquina*).

Conforme Jensen (2010), a definição formal de uma *Rede de Petri Colorida* é representada por uma eneátuple (9-tupla) $RdPC = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, I)$, na qual:

- Σ denota um conjunto finito e não nulo de cores ou tipos;
- P retrata um conjunto finito de lugares;
- T representa um conjunto finito de transições;
- A ilustra um conjunto finito e disjuntos de arcos;
- N denota as funções de nó;
- C retrata os conjuntos e multiconjuntos de cores;
- G representa as funções de guarda;
- E ilustra os esquemas de arcos (ou funções de expressão);
- I é uma função de inicialização.

Apesar das *RdPCs* serem graficamente mais compactas que as *RdPs* clássicas, não existe um ganho teórico real quando se opta por fazer o seu uso (Ramos e Oliveira, 2010). Por conseguinte, elas podem ser convertidas em *RdPs* equivalentes e vice-versa. De todo modo, o formato de apresentação tipográfico dos modelos em *RdPC* facilita a compreensão de sistemas – já que eles se assemelham a diagramas de fluxos de dados – e isso permite uma melhor aceitação de equipes de projeto e desenvolvimento. Além disso, a utilização das *RdPCs* ainda é uma atividade pouco explorada no que tange à modelagem de interações em sistemas *Web*, o que abre margem para a realização de estudos envolvendo a capacidade gráfica da linguagem para este fim, permitindo, também, que os modelos gerados possam ser verificados de modo formal.

2.2 Captura e Acesso

A área de *C&A* é uma vertente de pesquisa da *UbiComp* que tem como objetivo auxiliar usuários durante a realização de tarefas cotidianas, registrando e produzindo fluxos multimídia por meio de recursos computacionais capazes de se adaptarem aos ambientes em que são inseridos (Kientz, 2012; Schmidt *et al.*, 2014; Truong e Hayes, 2009). Diversos trabalhos científicos têm investigado o emprego das aplicações de *C&A* em contextos variados, demonstrando que sua utilização pode ser feita de maneira mais sintética – por meio de um único equipamento de captura de mídias – ou de modo mais complexo e estruturado – em infraestruturas compostas por vários dispositivos que operam em conjunto para a mesma finalidade. Em função disso, as aplicações de *C&A* são capazes de abranger um amplo leque de possibilidades que permite o seu uso em diversas circunstâncias, tais como em locais de trabalho e salas de reuniões (Gumienny *et al.*, 2011; Renals, 2010;

Vega-Oliveros *et al.*, 2011; Yu e Nakamura, 2010), em situações do dia a dia e momentos pessoais (Al-Mutawa e Mishra, 2010; Gouveia e Karapanos, 2013; Kay *et al.*, 2012) e em ambientes acadêmicos onde ocorrem atividades educacionais (Aihua, 2010; Dickson *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2012; Settle *et al.*, 2011; Wieling e Hofman, 2010).

De acordo com Truong e Hayes (2009), para que uma aplicação de C&A se mostre efetiva, ela deve seguir um processo padronizado de atividades com base em quatro fases sequenciais, denominadas: *pré-produção*, *gravação ao vivo*, *pós-produção* e *acesso*. Inicialmente, na etapa de *pré-produção*, é necessário preparar o conteúdo que será registrado numa sessão de captura. Neste momento, realiza-se a elaboração do que será versado e premedita-se o funcionamento de como a captura acontecerá. Em seguida, na *gravação ao vivo*, o registro dos fluxos de mídias acontece conforme inicialmente estabelecido. Tal captura pode ocorrer, dependendo do emprego da aplicação de C&A, tanto em ambientes profissionais instrumentados quanto em circunstâncias diletantes, por exemplo. Após a fase de gravação, entra-se na etapa de *pós-produção*, responsável pelo processamento dos fluxos de conteúdo que foram capturados e, por fim, na fase de *acesso*, em que há a apresentação dos conteúdos capturados aos usuários finais.

Embora aparentem fazer parte de um processo sequencial imutável, tais etapas não devem ser vistas apenas como passos a serem seguidos durante a construção de aplicações de C&A. Seu real propósito diz respeito à fundamentação essencial necessária para se criar, estruturar e organizar corretamente o funcionamento de dispositivos computacionais para este fim. Por causa disso, é possível fazer adaptações nesta estrutura, de maneira a adequá-la ao contexto no qual a aplicação será inserida e, deste modo, realizar personalizações, tais como a união das etapas de gravação e pós-produção em uma só ou, até mesmo, a criação de fases adicionais (Truong e Hayes, 2009).

2.2.1 Ambientes Educacionais Ubíquos

Ao se instrumentar salas de aula com dispositivos computacionais ubíquos, torna-se possível empregar a *UbiComp* no escopo acadêmico, automatizando processos de ensino e aprendizagem e gerando benefícios para alunos e professores por meio da criação de *Ambientes Educacionais Ubíquos* (AEUs) (Aihua, 2010; Graf *et al.*, 2012). Um AEU, desse modo, pode ser criado a partir da integração de componentes de C&A, tais como microfones, câmeras e lousas digitais, de maneira a propiciar a captura automática dos conteúdos abordados em sala de aula e permitir seu acesso posterior pelos usuários.

Em função disso, o processo de gravação de mídias deve acontecer de maneira transparente para os envolvidos, permitindo que ambos interajam com as aplicações sem que haja mudanças no modo em que as aulas são conduzidas (Zhao *et al.*, 2010). Ao final das sessões de captura, os fluxos de conteúdo devem ser sincronizados e armazenados, de maneira a possibilitar também a criação de arcabouços de conteúdo que podem ser aces-

sados pelos usuários em circunstâncias desejadas – bastando apenas que estes possuam conectividade com a Internet.

2.2.1.1 Classroom eXperience

O CX¹ é uma plataforma educacional de *C&A* desenvolvida com o intuito de registrar os fluxos de conteúdo apresentados em sala de aula e disponibilizá-los posteriormente para que alunos e professores possam acessá-los (Ferreira *et al.*, 2012). Por meio de seu uso, é possível fazer a captura, armazenamento, acesso e extensão das mídias geradas em ambientes educacionais instrumentados e contribuir com os processos de ensino e aprendizagem de usuários que utilizam esta tecnologia no cotidiano. Para que essas atividades sejam realizadas de maneira transparente, o sistema atualmente conta com duas salas de aula equipadas com dispositivos computacionais (como lousas digitais, câmeras, microfones e projetores multimídia), localizadas na *Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia (FACOM/UFU)*, conforme ilustrado na Figura 2.4.

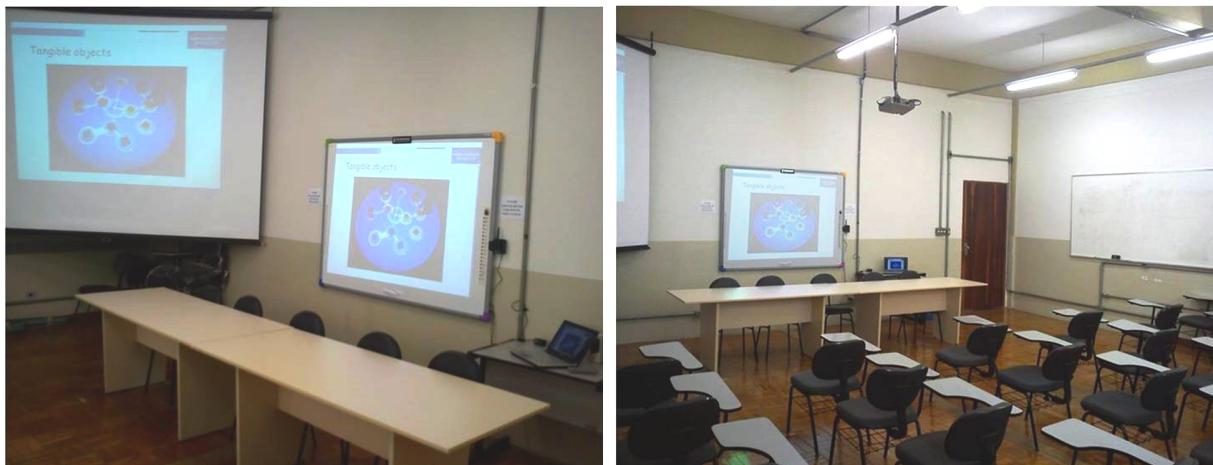


Figura 2.4: Sala de aula instrumentada com lousa digital, câmera e projetores multimídia.

Sem modificar a maneira que as aulas convencionais são lecionadas, o CX faz uso de recursos da *UbiComp* para auxiliar tanto os professores – enquanto fazem a captura das aulas – quanto os alunos – durante atividades de acesso ao conteúdo ministrado. Para isso, o sistema conta com uma série de componentes de *hardware* e *software* especializados para realizar a gravação das atividades educacionais, fazer a sincronia dos fluxos de mídia concebidos e pôr à disposição o conteúdo por meio de uma interface de acesso amigável e intuitiva, cujas páginas podem ser observadas nas Figuras 2.5 e 2.6.

A página inicial do CX (Figura 2.5(a)) é uma tela de *login* que realiza a validação do nome de acesso e senha dos usuários que desejam entrar no sistema. Além disso, ela possui um *link* que direciona para a tela de cadastro de novos usuários, onde alunos podem registrar-se livremente e professores devem informar um código de segurança para

¹<http://cx.facom.ufu.br/>



Figura 2.5: Páginas de *login* e seleção de contexto da interface Web do CX.

que consigam se cadastrar. Após logarem no sistema, os usuários são direcionados para uma tela que contém um mini formulário de contexto de acesso (Figura 2.5(b)). Esses dados fazem parte de um conjunto padronizado de dimensões de contexto que tem como objetivo aferir informações do usuário em tempo real para proporcionar uma melhor experiência enquanto realizam acessos ao sistema (Araújo *et al.*, 2013).

Dessa maneira, as dimensões de contexto trabalham em conjunto para fornecer benefícios aos usuários, tais como personalizações, recomendações e restrições de mídias referentes ao conteúdo capturado. Atualmente, o CX utiliza sete dimensões de contexto: a) *tipo de dispositivo*, b) *velocidade de conexão*, c) *resolução da tela*, d) *data e hora de acesso*, e) *tempo disponível*, f) *local de origem do acesso* e g) *motivo do usuário acessar o sistema*. Dessas, as quatro primeiras são aferidas de maneira automática, enquanto as três últimas precisam ser informadas manualmente por meio do mini formulário de contexto de acesso presente na Figura 2.5(b).

Após informarem as dimensões de contexto, os usuários são direcionados para a página principal do sistema (Figura 2.6(a)), onde é possível – para um professor – adicionar uma nova turma e – para ambos os usuários – realizar matrículas nas turmas já cadastradas no sistema. Além disso, esta página também exibe as últimas atualizações que aconteceram no CX, tais como aulas que foram capturadas ultimamente e avaliações registradas pelos professores – como provas, trabalhos, exercícios e seminários. De modo a melhorar a organização desses dados, eles são exibidos utilizando-se filtros temporais e de disciplinas vinculadas às informações, de maneira que apenas usuários matriculados em turmas referentes às atualizações são capazes de enxergá-las na página principal.

Ao selecionarem uma aula específica, os usuários devem escolher em qual formato de apresentação o conteúdo capturado deverá ser exibido. No CX, atualmente há três tipos de formato de apresentação: *somente slides*, *somente vídeo* e *completo*. Caso selecione a primeira opção, o usuário será direcionado para uma página contendo os *slides* utilizados pelo professor durante uma sessão de captura realizada, já com as anotações feitas nessas mídias. A segunda opção apresentará apenas o vídeo de uma aula capturada pelo sistema

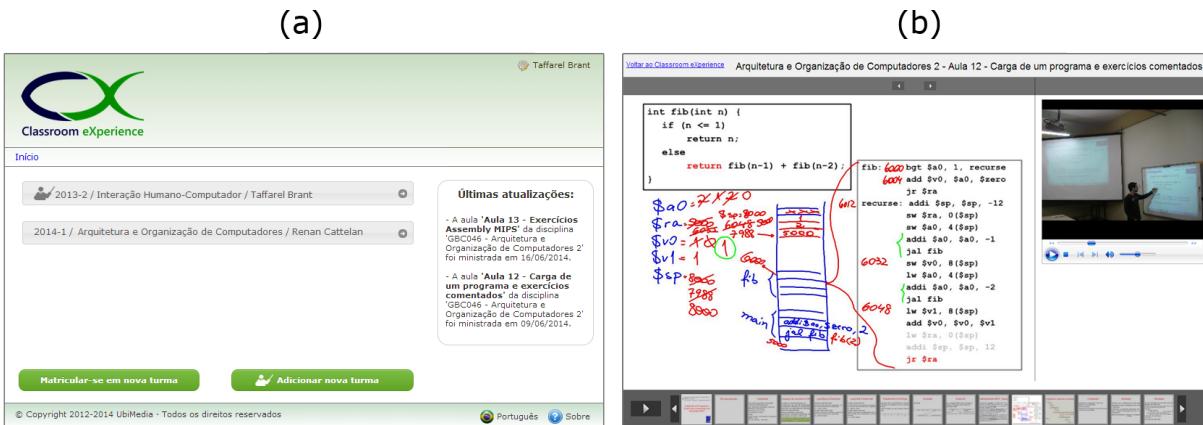


Figura 2.6: Páginas principal e de aula capturada da interface Web do CX.

e a terceira exibirá ambos os fluxos de mídia, conforme pode ser visto na Figura 2.6(b).

2.2.2 Vertentes de Pesquisa em Aplicações de Captura e Acesso

A aplicabilidade da área de *C&A* tem se fortalecido na literatura tanto por meio de trabalhos mais extensos e abrangentes (Kientz, 2012; Schmidt *et al.*, 2014; Truong e Hayes, 2009; Yu e Nakamura, 2010) quanto por pesquisas mais acuradas que estudam o uso dessas aplicações em contextos específicos, como em locais de trabalho (Gumienny *et al.*, 2011; Renals, 2010; Vega-Oliveros *et al.*, 2011), circunstâncias cotidianas (Al-Mutawa e Mishra, 2010; Gouveia e Karapanos, 2013; Kay *et al.*, 2012) e ambientes educacionais (Aihua, 2010; Dickson *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2012; Settle *et al.*, 2011). Por isso, realizar investigações a respeito das vantagens e desvantagens do uso dessas aplicações é uma atividade relevante e atual, capaz de averiguar aspectos e obter informações para tornar essas experiências cada vez melhores para os usuários.

No âmbito acadêmico, as aplicações de *C&A* são um tema de pesquisa frequente, já que possibilitam a criação de AEUs e automatizam os processos de ensino e aprendizagem gerando benefícios para alunos e professores dentro e fora das salas de aula (Cook e Das, 2012; Graf *et al.*, 2012). Por causa disso, aplicações neste escopo também tendem a levantar uma série de questões relativas a melhor maneira de serem implantadas, utilizadas e estudadas, pois diversas tecnologias podem ser empregadas para estas atividades e a escolha de soluções adequadas pode ser um fator essencial para a obtenção de resultados satisfatórios (Aihua, 2010; Settle *et al.*, 2011; Smyth e Volker, 2013).

Na literatura, trabalhos que apresentam análises sobre a *C&A* em âmbitos educacionais têm avaliado diversas particularidades dessas aplicações, como o processo de criação de infraestruturas que unificam dispositivos computacionais ubíquos (Truong e Hayes, 2009) e a maneira que os usuários se comportam quando têm contato com esses ambientes (Dickson *et al.*, 2012). Entre as investigações observadas, também é possível perceber objetivos de pesquisa que buscam responder a questões similares, evidenciando em sua

maioria tanto fatores como a frequência e o desempenho de alunos (Settle *et al.*, 2011; Wieling e Hofman, 2010), quanto a disposição, impressões e experiências de professores (Danielson *et al.*, 2014; Prodanov, 2012).

Os resultados de tais pesquisas abrem margem para a realização de diversos novos trabalhos, já que a análise dos dados coletados é feita levando em consideração as diferentes perspectivas e particularidades dos usuários – como seus níveis de escolaridade, valores socioculturais e estilos de aprendizagem (Aihua, 2010; Graf *et al.*, 2012). Por causa disso, trabalhos que avaliam o uso de aplicações de *C&A* em contextos educacionais permitem a investigação de tendências não apenas para o futuro da pesquisa neste campo, como também em demais áreas afins da *UbiComp*, visto que uma de suas premissas originais diz respeito à sua abrangência multidisciplinar (Cook e Das, 2012; Smyth e Volker, 2013; Truong e Hayes, 2009; Wilde *et al.*, 2010).

Formalização do Sistema Classroom eXperience

Atividades de formalização são processos sequenciais e iterativos caracterizados por etapas que têm o objetivo de amparar o desenvolvimento de sistemas (Sommerville, 2010). Tais procedimentos auxiliam durante as etapas de especificação, desenvolvimento e verificação de *hardware* e *software*, eliminando ambiguidades, diminuindo equívocos e reduzindo o aparecimento de não-conformidades ao se produzir sistemas (Woodcock *et al.*, 2009).

Este capítulo apresenta o processo de formalização da plataforma educacional CX. Ao início, é ilustrada a etapa de levantamento e especificação de requisitos de *software* (Seção 3.1). Em seguida, são apresentados os passos que compuseram sua especificação formal (Seção 3.2) e os resultados obtidos a partir dessas atividades. Posteriormente, são listados alguns trabalhos relacionados à pesquisa e discussões são realizadas sobre o assunto (Seção 3.3). Ao fim, são apresentadas considerações finais (Seção 3.4), com o propósito de finalizar a temática deste capítulo.

3.1 Levantamento e Especificação dos Requisitos

De acordo com Pressman (2010), requisitos são um conjunto de características, funcionalidades e comportamentos que determinado *software* deve possuir para ser eficiente ao seu público-alvo. Atividades de levantamento de requisitos são, por isso, essenciais durante o processo de desenvolvimento de *software*, já que têm como objetivo descrever detalhadamente os atributos que os sistemas devem possuir e explicar o modo que precisam se comportar quando forem utilizados pelos usuários finais.

Desse modo, inicialmente realizou-se o levantamento e a análise dos requisitos do CX. Durante este processo, fez-se uso de um modelo de *Documento de Especificação de Requisitos de Software (SRS)* capaz de compreender as práticas de especificação recomendadas pela IEEE (1998). O arquivo resultante¹ apresentou a descrição geral do sistema e especificou detalhadamente suas aplicações e características. Além disso, todas as interfaces (telas) de acesso do usuário foram listadas, assim como as interfaces de *hardware* do sistema. Os modos de operação e tipos de características dos usuários também foram explicados, sendo sucedidos pela listagem das funcionalidades e restrições do produto, assim como os requisitos funcionais e não funcionais, que complementaram os itens abordados no documento produzido nesta etapa.

3.2 Especificação Formal

Especificações formais são procedimentos utilizados para descrever, analisar e verificar comportamentos, características e propriedades-chave de sistemas (Sommerville, 2010). O processo de especificação formal faz uso de informações obtidas durante o levantamento e especificação de requisitos e compreende uma etapa de modelagem (ou representação) de *software* fazendo uso de meios capazes de retratar seus fluxos de informação.

Dentre os meios de representação existentes, os métodos formais baseiam-se em formalismos matemáticos que permitem a análise e a verificação de modelos durante todo o ciclo de vida dos sistemas (Woodcock *et al.*, 2009). Deste modo, tais métodos asseguram que o tempo gasto durante o processo de especificação formal de *software* seja compensado por um produto de maior qualidade, o que pode reduzir a quantidade de erros e a possibilidade de retrabalho posterior.

O uso de métodos formais para modelar fluxos de interação de usuários provê uma série de benefícios, tais como a garantia de consistência entre plataformas operacionais e a incorporação da fase de projeto de interface ao processo de desenvolvimento de sistemas. Dentre os métodos formais existentes e aplicáveis à modelagem da interatividade, as *RdPCs* (Jensen, 1994) são um formalismo de alto nível de abstração capaz de representar os estados alcançáveis de um sistema a partir de uma ou mais condições, permitindo, também, a realização de tratamentos temporais e a descrição de mudanças que as transições causam aos estados do sistema (Gehlot e Nigro, 2010).

3.2.1 Redes de Petri Coloridas para a Modelagem de Interações Web

Com base no formalismo das *RdPCs*, elaborou-se uma linguagem capaz de representar as atividades de interação que podem acontecer entre usuários e interfaces de sistemas

¹O documento completo pode ser visto no Apêndice A desta dissertação.

Web. O desenvolvimento dessa extensão levou em conta aspectos de interatividade – como a maneira em que os fluxos de navegação ocorrem em interfaces Web (Rogers *et al.*, 2011) – e requisitos de segurança – como o princípio de que determinadas telas e funcionalidades de um sistema só devem ser acessadas por usuários preestabelecidos (Pressman, 2010). Complementando a técnica desenvolvida, também foram considerados atributos organizacionais, de maneira que os modelos gerados se mostrassem capazes de apresentar uma boa compreensão dos fluxos interativos para os profissionais envolvidos durante o processo de formalização de *software*.

Como resultado, criou-se a linguagem *wiCPN* (*Web Interaction Modeling Using Colored Petri Nets* ou, em tradução livre, *Redes de Petri Coloridas para a Modelagem de Interações Web*). Por ser baseada em *RdPCs* tradicionais, a *wiCPN* manteve características originais da linguagem, todavia apresentando alguns aperfeiçoamentos em seus modelos, como a classificação dos lugares em recursos, telas de sistema e portas de entrada e saída; a diferenciação de transições que representam fluxos comuns e condicionais e o uso de uma cor específica para representar o percurso interativo realizado pelo usuário nas telas do sistema.

Explicando melhor a extensão *wiCPN*, uma *Rede de Petri Colorida para a Modelagem de Interações Web* é definida como uma 9-tupla: $\text{wiCPN} = (\Sigma_{wi}, P_{wi}, T_{wi}, A_{wi}, N_{wi}, C_{wi}, G_{wi}, S_{wi}, I_{wi})$, na qual:

- $\Sigma_{wi} = <\text{Cor, Ativo}>$, é um conjunto não-nulo de cores e tipos, composto por *Cor* – um grupo finito de cores ou tipos que determina as funções que podem ser utilizadas na rede – e *Ativo* – uma cor reservada para esta extensão e que deve ser utilizada durante a modelagem;
- $P_{wi} = \{<r_1, r_2, \dots, r_t> \cup <t_1, t_2, \dots, t_b> \cup <p_1, p_2, \dots, p_r>\}$, é um conjunto finito de lugares composto por três subconjuntos: *r* (que representa os recursos disponíveis), *t* (que ilustra as telas do sistema) e *p* (que retrata as portas de entrada/saída);
- $T_{wi} = \{<f_1, f_2, \dots, f_m> \cup <c_1, c_2, \dots, c_n>\}$, é um conjunto finito de transições composto por dois subconjuntos: *f* (que representa as *transições de fluxo*) e *c* (que ilustra as *transições condicionais*, ou seja, as transições que possuem condições circunstanciais baseadas nos recursos disponíveis);
- A_{wi} é um conjunto disjunto e finito de arcos, no qual $P_{wi} \cap T_{wi} = P_{wi} \cap A_{wi} = A_{wi} \cap T_{wi} = \emptyset$;
- $N_{wi} : A_{wi} \rightarrow P_{wi} \times T_{wi} \cup T_{wi} \times P_{wi}$, é um conjunto de funções nodais que mapeia cada arco em um par resultante, cujo primeiro elemento é o nó de origem e o segundo é o nó de destino de cada arco da rede;

- $C_{wi} : P_{wi} \rightarrow \Sigma_{wi}$, é um grupo de funções de cores que mapeia cada lugar em um conjunto ou multiconjunto de cores;
- $G_{wi} : c \rightarrow \text{bool}$, é um conjunto de funções de guarda que mapeia cada *transição condicional* em uma expressão booleana;
- $S_{wi} : A_{wi} \rightarrow \text{exp} \subset \Sigma_{wi}$, é um grupo de esquemas de arcos que mapeia cada arco da rede numa expressão de um conjunto de cores, subconjunto de Σ_{wi} ;
- I_{wi} é uma função de inicialização que mapeia cada lugar da rede em uma expressão cujo resultado é o multiconjunto das cores dos lugares.

Após essas descrições, é possível observar que alguns elementos das redes criadas utilizando a extensão *wiCPN* apresentam certas peculiaridades, tais como:

- Os *lugares* podem ser especificados como (a) *recursos*, (b) *telas do sistema* ou (c) (d) *portas de entrada/saída*. Essas especificações podem ser vistas na Figura 3.1 e diferenciadas pelas cores verde, roxo e azul, respectivamente. Dentre os tipos de lugares, os *recursos* têm o intuito de representar condições e requisitos de *software*, tais como fatores de segurança que controlam o acesso dos usuários a determinadas funções, como atividades específicas e *telas do sistema*.
- As *portas de entrada/saída* podem ser estilizadas de duas maneiras: (c) com borda simples – quando aparecem nas abstrações mais altas da hierarquia de um modelo – ou (d) com borda dupla e etiqueta *In/Out* – em níveis mais baixos de um modelo, representando a interconectividade entre seus módulos. Tais *portas* objetivam representar os meios de interconexão que existem entre *telas do sistema*, tais como os botões e *links* de uma interface.

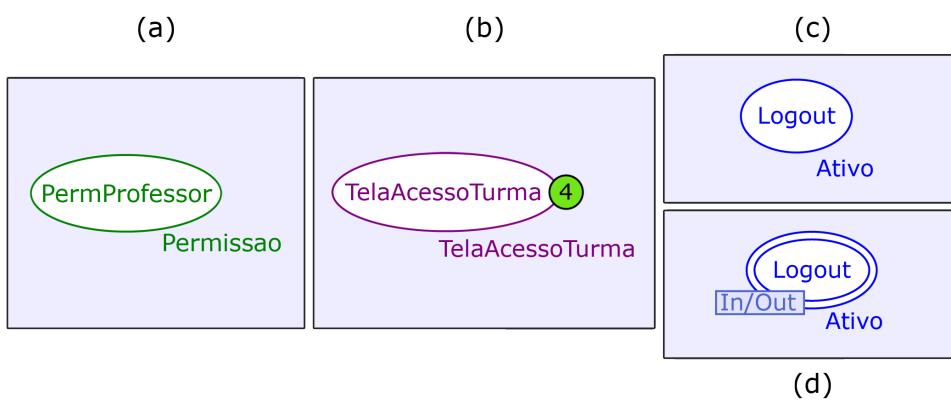


Figura 3.1: Tipos de lugares modelados utilizando-se a extensão *wiCPN*.

- Além disso, os *lugares* também podem, simultaneamente, representar recursos e portas de entrada/ saída (Figura 3.2(a)) ou telas do sistema e portas de entrada/saída (Figura 3.2(b)). Isso acontece quando os recursos ou telas do sistema estão ligados a transições hierárquicas e, neste caso, os lugares são estilizados com borda dupla quando aparecem em níveis mais baixos dos modelos.

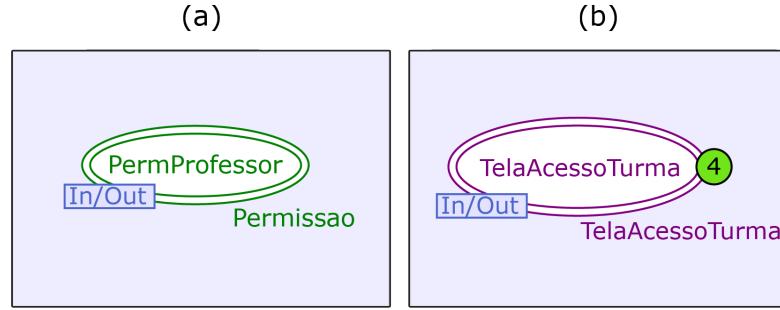


Figura 3.2: Lugares modelados utilizando-se a extensão wiCPN e que retratam mais de um papel simultaneamente.

- A cor Ativo é reservada nesta linguagem e deve ser indispensavelmente atribuída em duas circunstâncias: para as *portas de entrada/saída* conectadas às transições hierárquicas – como já visto nas Figuras 3.1(c) e 3.1(d) – e para uma única *ficha* responsável pelo controle de toda a navegabilidade interativa dos modelos. Ambos os casos podem ser observados na Figura 3.3, na qual é possível perceber que (a) o lugar *Login* foi especificado com a cor Ativo, (b) que foi previamente declarada enquanto atribuída à ficha “at”.

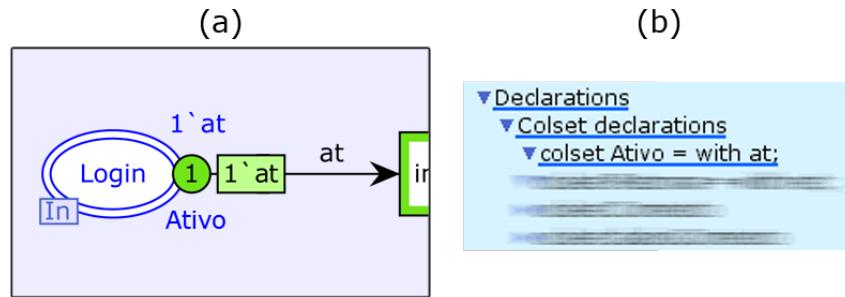


Figura 3.3: Declaração e uso da cor Ativo utilizando-se a extensão wiCPN.

- Por fim, as *transições* (ilustradas na Figura 3.4), são capazes de representar dois tipos de fluxos: as navegações comuns – sendo estilizadas em preto e denominadas *transições de fluxo* (p. ex., a transição *autLogin*) – e as circunstâncias condicionais

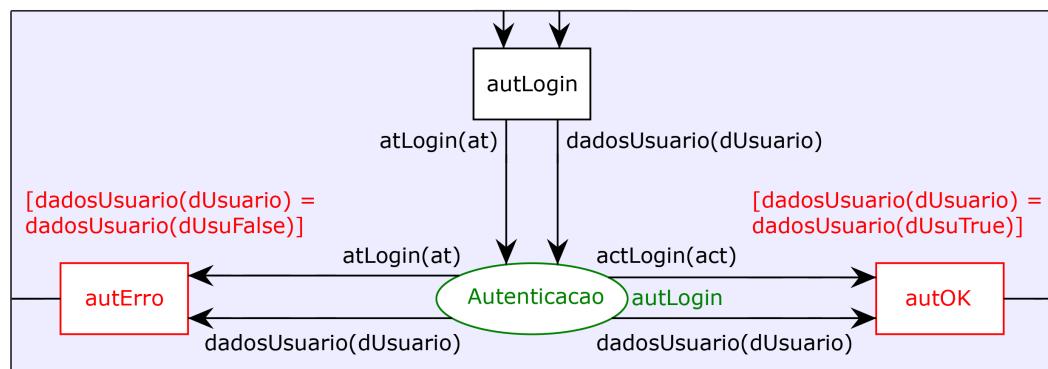


Figura 3.4: Tipos de transições modeladas utilizando-se a extensão wiCPN.

– sendo destacadas em vermelho e chamadas de *transições condicionais* (p. ex., as transições *autErro* e *autOK*).

Após esses detalhamentos, é possível perceber que a wiCPN propõe uma nova maneira de se representar interações em atividades de modelagem de *software*. Ao se utilizar essa extensão, passa-se a enxergar os modelos como mapas intuitivos de navegação capazes de ilustrar os fluxos de interatividade que acontecem nas interfaces dos sistemas. Além disso, as estilizações dos elementos das *RdPCs* possuem o objetivo de melhorar a compreensão das especificações formais dos sistemas, de modo que membros de equipes que trabalhem com atividades de formalização sejam capazes de entender e representar de maneira intuitiva o que acontece nos sistemas modelados.

3.2.2 Modelagem do Fluxo de Interações do Classroom eXperience

Fazendo-se uso dos aperfeiçoamentos da linguagem wiCPN, modelou-se o fluxo interativo do Web *front-end* do CX. Foram utilizadas as características da linguagem proposta, a fim de validar sua utilização num ambiente real e obter uma representação precisa das atividades interativas do sistema formalizado.

Como resultado, a Figura 3.5 apresenta o nível mais alto da modelagem do CX. As transições hierárquicas (p. ex., *TelaLogin*, *TelaPrincipal*, *TelaIdioma*, entre outras) – também chamadas de *transições de substituição* no *CPN Tools* (Jensen, 2010) – representam

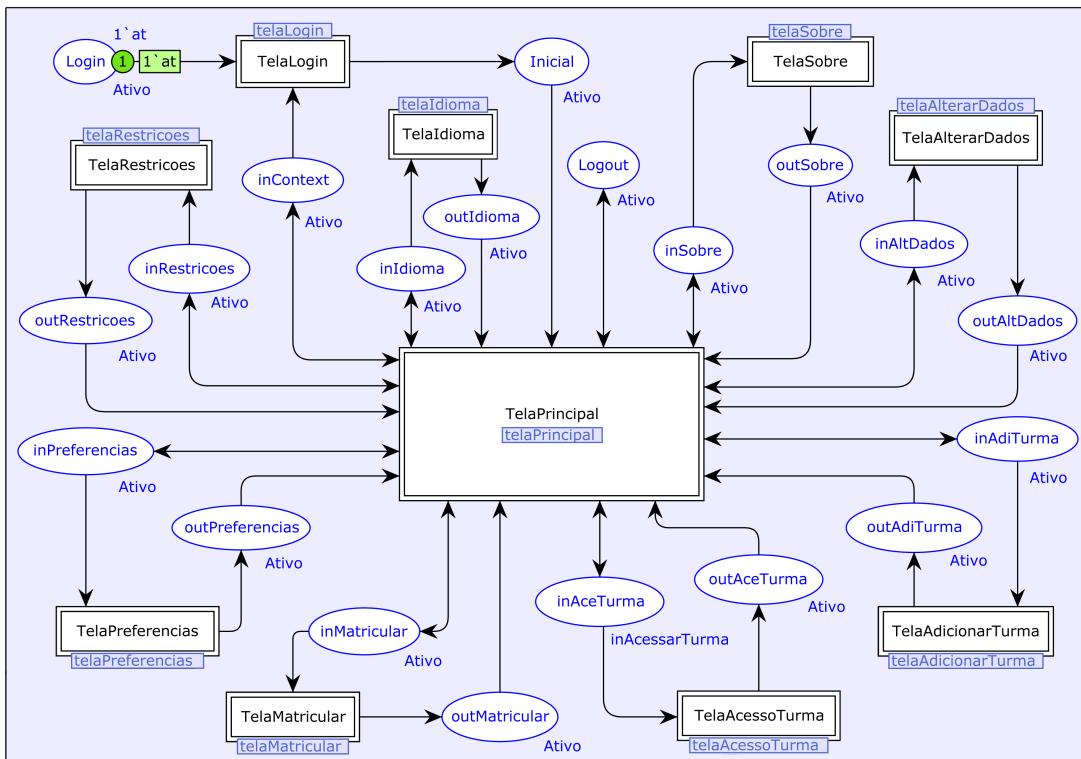


Figura 3.5: O nível mais alto da modelagem do CX.

as telas do sistema modelado e são compostas por sub-redes que contêm toda a atividade que ocorre dentro de cada uma dessas transições. Isso necessariamente acontece pois cada tela do sistema torna-se hierárquica – tendo em vista que cada uma delas possui um fluxo inerente com suas próprias condições – e essas características são substanciais para se realizar uma correta modelagem da interatividade.

Também é possível perceber portas de entrada/saída na Figura 3.5. Neste caso, por elas se encontrarem no nível mais alto da modelagem, estão conectadas às transições hierárquicas do módulo e especificadas com a cor *Ativo*. Entretanto, à medida que o nível de abstração da modelagem desce, as portas de entrada/saída passam a ser destacadas com borda dupla e etiquetas *In/Out*, sendo estilizadas desta maneira na Figura 3.6 – que ilustra todo o fluxo interativo que acontece dentro da transição hierárquica *TelaPrincipal*. Como visto na Figura 3.5, a *TelaPrincipal* está conectada às outras páginas da interface modelada. Por isso, na Figura 3.6, ela é especificada com um multiconjunto homônimo, composto pela união das cores que direcionam o fluxo de interação para cada uma das outras páginas do sistema modelado.

Para exemplificar um fluxo habitual de interação entre um usuário e a interface do CX, supõe-se que durante um acesso comum a este sistema a primeira ação que um usuário precise fazer seja navegar até a página de *login* e inserir suas credenciais (p. ex., *nome de usuário* e *senha*). Por conseguinte, na Figura 3.5, a tela inicial do sistema é representada pela transição *TelaLogin* – que é, também, a primeira página acessível a partir da marcação de inicialização original da modelagem. Quando a página inicial é acessada, *TelaLogin* torna-se ativa – tendo em vista que a ficha “at” sensibiliza a transição *inLog*, localizada dentro de *TelaLogin* (Figura 3.7). Neste momento, há uma bifurcação no fluxo que acontece dentro desta página, pois caso seja a primeira vez em que um usuário acessa o sistema, ele inevitavelmente deverá cadastrar-se (disparando, assim, a transição *inNUSu* e chegando à *TelaNovoUsuario*, onde ele preencherá um formulário de registro e fará seu primeiro *login* no sistema).

Todavia, caso se trate de um usuário já cadastrado e que deseja apenas fazer o *login* no sistema utilizando suas credenciais, o fluxo seguirá pela transição *autLogin* e alcançará o lugar *Autenticacao*. Neste caso, um requisito de segurança autenticará os dados inseridos pelo usuário e somente aqueles que tenham informado credenciais corretas terão permissão para prosseguir e acessar as demais telas do sistema. Ao final deste processo, o usuário chega à porta de entrada/saída *Inicial* – perceptível como a última unidade do fluxo de *TelaLogin* na Figura 3.7 e como o primeiro elemento da Figura 3.6. Além disso, no nível mais alto da modelagem (Figura 3.5), também é possível perceber que o lugar *Inicial* se encontra entre duas telas do sistema, *TelaLogin* e *TelaPrincipal*, representando uma conexão entre as duas páginas do CX.

É neste momento que outro tipo de validação acontece: o sistema verifica se o usuário logado é aluno ou professor. Caso o usuário seja um aluno, a transição condicional

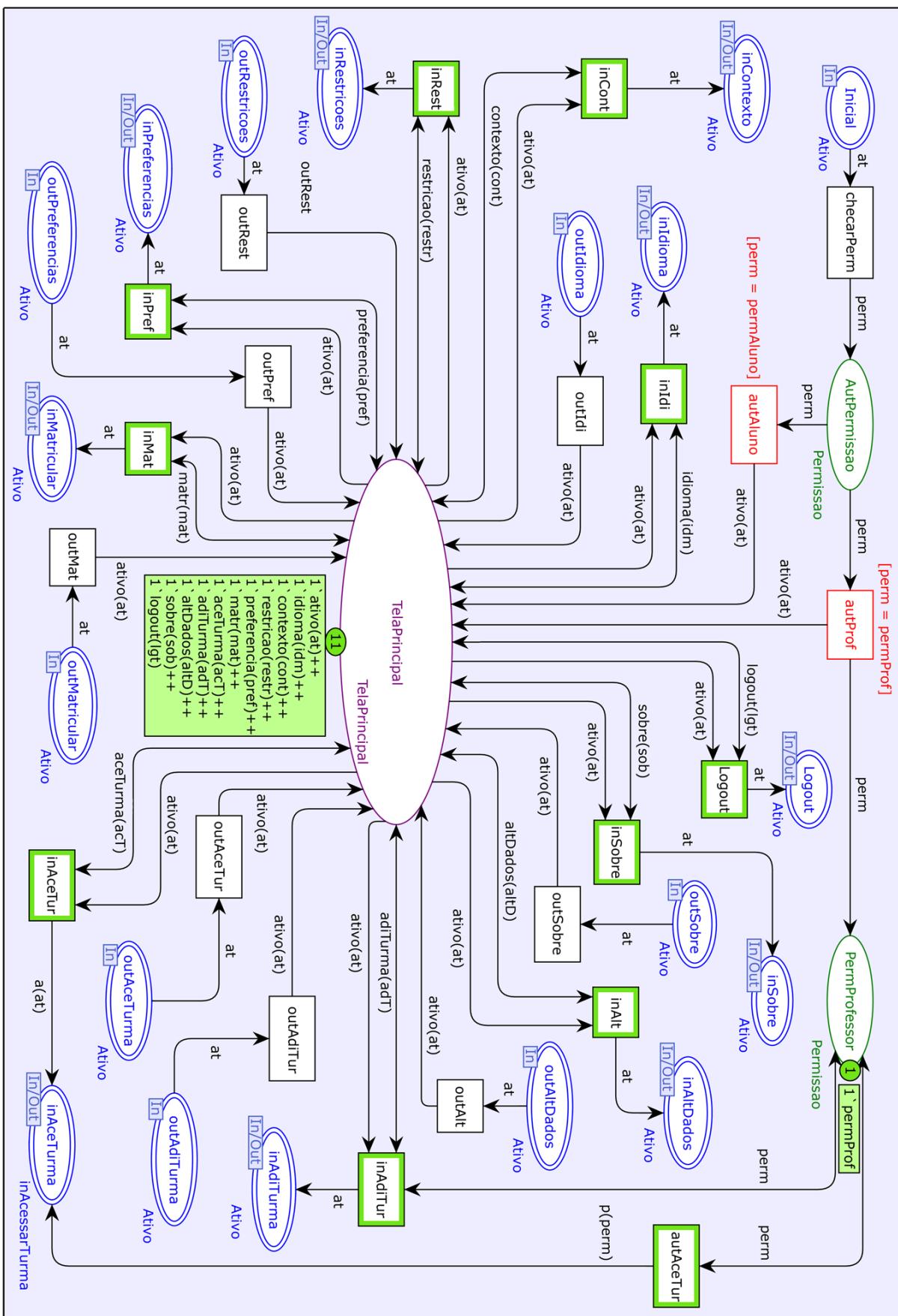
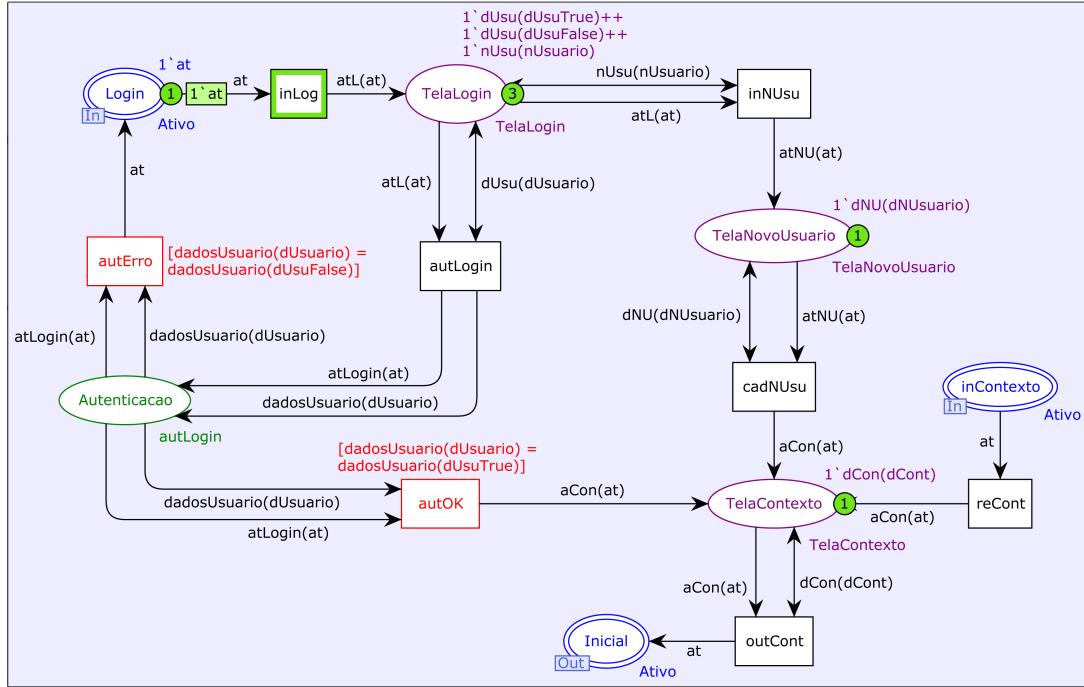


Figura 3.6: Fluxo de interação da *TelaPrincipal* quando o usuário é um professor.

Figura 3.7: Fluxo de interação da *TelaLogin* na modelagem do CX.

autAluno se torna sensibilizada e a ficha “*at*” é levada até a página principal do sistema (representada por *TelaPrincipal* na Figura 3.6). Todavia, caso se trate de um professor, a transição sensibilizada passa a ser *autProf* e a ficha “*at*” alcança a *TelaPrincipal* ao mesmo tempo em que outra ficha, denominada “*perm*”, chega ao lugar *PermProfessor* – preenchendo-o com “recursos” que garantem aos professores acesso a mais funcionalidades que os alunos dentro do sistema. Graças a este requisito, um aluno nunca poderá acessar determinadas funcionalidades, tais como a criação de novas turmas (uma atividade exclusiva para professores) e a extensão wiCPN suporta essa restrição, já que a porta de entrada/saída *inAdiTurma* (Figura 3.6) não é alcançável por alunos, pois a transição *inAdiTur* nunca é sensibilizada.

De todo modo, algumas telas do sistema devem ser acessíveis por ambos os tipos de usuários, mesmo que com determinadas características visíveis por apenas alguns deles. Nesta modelagem, tal situação acontece na *TelaAcessoTurma* (Figura 3.8), na qual alunos e professores possuem diferentes níveis de acesso numa mesma página do sistema.

Caso o usuário seja um aluno e navegue até a *TelaAcessoTurma*, ele poderá visitar a *TelaAcessarAulaEspecifica* e a *TelaAcessarTodasAulas* – páginas que os professores também possuem acesso. Todavia, os alunos têm a permissão de realizar uma quantidade menor de ações dentro dessas telas, tendo em vista que a ficha “*perm*” é responsável por fornecer os recursos necessários para determinadas atividades. Em contraste, os professores, além de serem capazes de visualizar todas essas funcionalidades, também podem acessar a *TelaAdicionarAula* – que é uma página na qual é possível criar aulas que serão lecionadas no decorrer do semestre letivo.

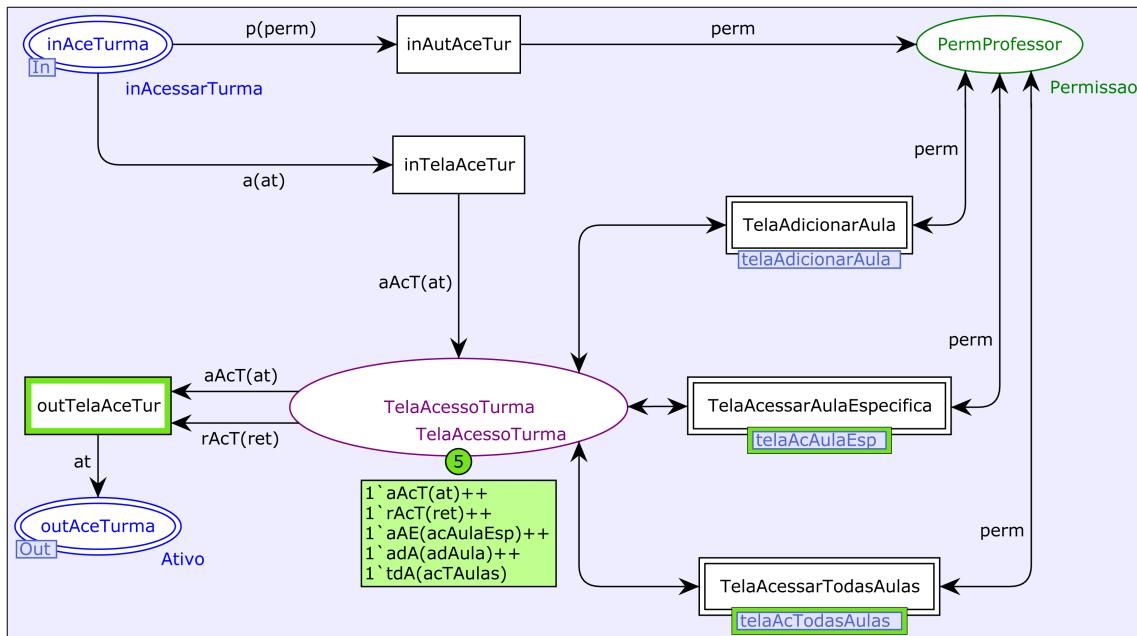


Figura 3.8: Fluxo de interação da *TelaAcessoTurma* quando o usuário é um aluno.

A linguagem wiCPN foi utilizada para a modelagem de todo o fluxo interativo do CX, entretanto, nesta seção foram apresentadas apenas algumas páginas com o intuito de explicar o funcionamento da linguagem e a navegação pelo modelo. A representação completa do sistema pode ser vista no Apêndice B desta dissertação, na qual o fluxo das páginas, declarações de cores, variáveis e tipos dos lugares podem ser visualizados com um maior nível de detalhamento.

3.2.3 Verificação do Modelo Desenvolvido

Ao se utilizar a ferramenta *CPN Tools*, torna-se possível explorar o comportamento dos sistemas modelados utilizando técnicas específicas, como simulação de redes, verificação de modelos e o método de espaço de estados (Jensen, 2010). A execução completa de um espaço de estados é capaz de retratar todas as ações possíveis de um modelo em análise, computando cada estado alcançável e suas modificações, além de representar essas informações em um grafo direcionado.

O conceito fundamental por trás de um espaço de estados diz respeito à criação de um grafo que possui um arco para cada elemento de ligação e um nó para cada marcação alcançável. Espaços de estados também são denominados grafos de alcançabilidade e ocorrência, já que eles contêm todas as marcações alcançáveis e possíveis sequências de ocorrência de um modelo. Um espaço de estados de um modelo é calculado de maneira automática e isso faz com que seja possível provar com embasamento matemático que determinadas representações possuem propriedades formais.

Com base nisso, a Figura 3.9 apresenta o grafo de alcançabilidade gerado por meio da ferramenta de cálculo de espaço de estados do *CPN Tools*. Seu primeiro nó ilustra o

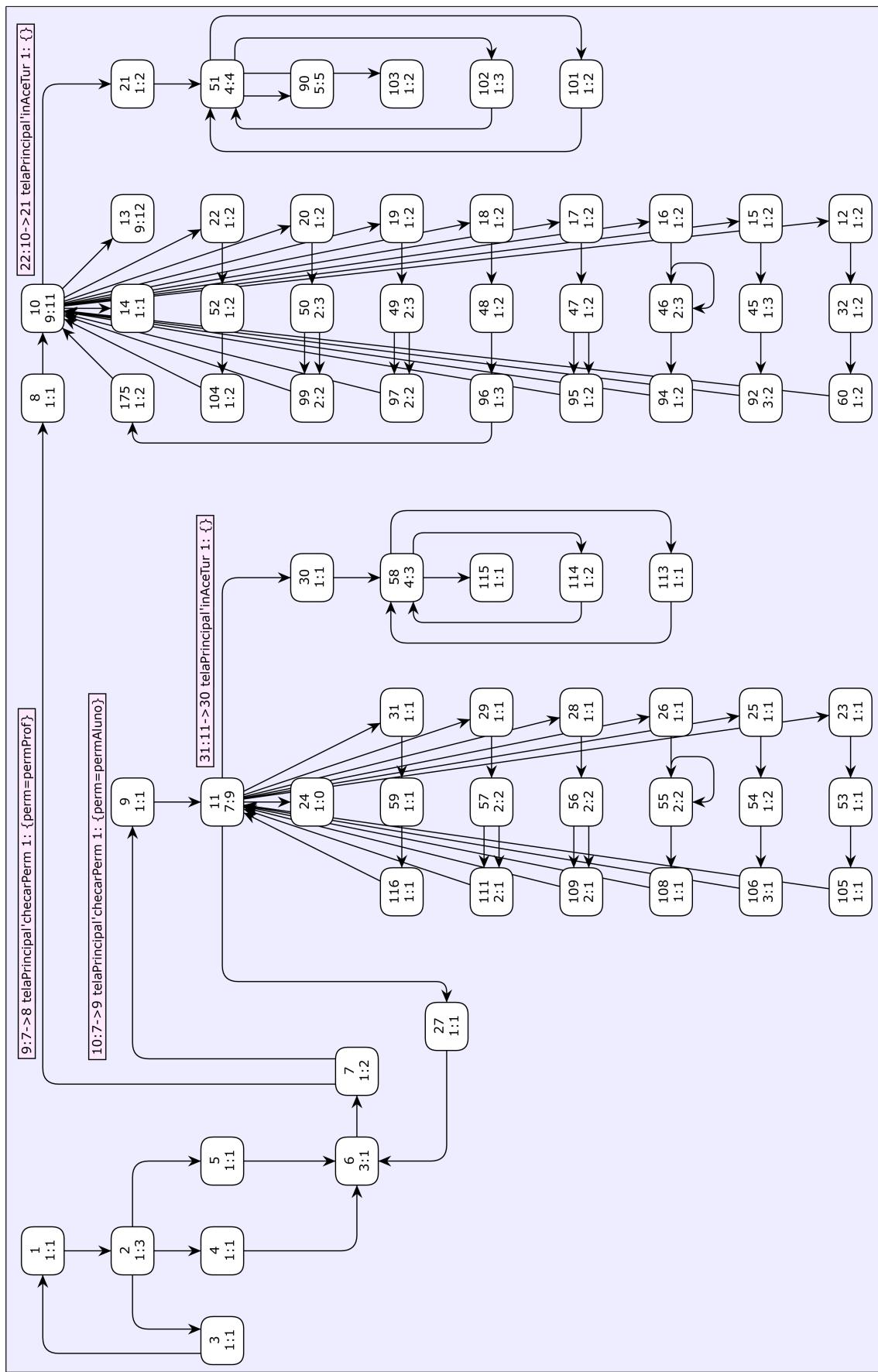


Figura 3.9: Grafo de alcançabilidade da modelagem do CX.

momento em que a tela inicial do sistema é acessada (situação já mostrada na Figura 3.7). Em seguida, o segundo nó ilustra quando as credenciais do usuário podem ser informadas para que ele faça *login* no CX ou inseridas para que um novo cadastro seja realizado – é por causa disso que o grafo sofre uma trifurcação. Consequentemente, enquanto o quarto e o quinto nós ilustram, respectivamente, que o *login* e o cadastro de um novo usuário foram realizados com sucesso – prosseguindo para o sexto –, o terceiro nó indica uma situação na qual o *login* não foi efetuado com sucesso, o que redireciona o usuário que informou as credenciais incorretas novamente para a tela de *login* do CX.

Continuando o fluxo, o sétimo nó representa quando o sistema valida se o usuário é aluno ou professor (como já visto na Figura 3.6). Caso trate-se de um professor, a interação segue para o oitavo nó, enquanto o fluxo de um aluno avançaria para o nono. Neste momento, é possível visualizar que a alcançabilidade de um aluno é inferior caso comparada aos estados que um professor pode atingir, pois o décimo e o décimo primeiro nós apresentam a tela principal do sistema com diferentes perspectivas de usuários. Enquanto no décimo nó um professor pode acessar todas as páginas do CX, no décimo primeiro percebe-se que os alunos alcançam uma quantidade reduzida de telas.

Além disso, até mesmo nas páginas acessíveis por ambos os usuários percebe-se que o grafo apresenta diferentes níveis de acesso. A partir do nó 51 um professor alcança um estado a mais que um aluno é capaz no nó 58. Essas marcações representam a *TelaAcessoTurma* (visível na Figura 3.8) e demonstram que alunos podem acessar apenas as aulas que foram anteriormente gravadas utilizando a plataforma de captura do CX – uma atividade que os professores também podem realizar, mas apenas os docentes são capazes de fazer a captura de tais aulas.

3.2.4 Validação da Linguagem wiCPN

Com o intuito de validar a *wiCPN* e assegurar que a linguagem é capaz de suprir seus requisitos preestabelecidos, entrevistas foram realizadas com especialistas e questionários foram aplicados para discentes do curso de graduação em Ciência da Computação da *FACOM/UFU*. As entrevistas basearam-se em conversas nas quais a linguagem foi apresentada a profissionais que não a conheciam e discussões foram feitas a respeito de suas características e aplicações. Para os alunos, inicialmente realizou-se a modelagem do fluxo interativo do CX utilizando-se o *Diagrama de Atividades da UML* e em seguida dividiu-se uma turma em duas amostras iguais de discentes, fazendo-se a coleta de informações com base no que os alunos perceberam em cada uma das modelagens.

A partir das entrevistas com seis profissionais que atuam em áreas afins da extensão (dois deles com quatro anos de experiência em desenvolvimento Web, um possuindo cinco anos de prática em qualidade e teste de *software* e três especialistas em linguagens de modelagem – como *UML* e *RdPs* – sendo um deles mestrandos, um doutorando e um

docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da FACOM/UFU), as seguintes respostas² foram obtidas:

- I. “Achei interessante a proposta e acredito que ela auxilie no desenvolvimento fornecendo mais detalhes das telas. Ainda, acredito que os diagramas da UML também podem ser utilizados como um complemento, pois cada ação (passo a passo) é apresentado melhor no diagrama de atividades, por exemplo.”
- II. “Gostei muito da abordagem proposta. Dessa forma, consegue-se ter uma visão global do sistema de forma centralizada, o que não ocorre na UML (precisa de vários diagramas). Concordo que com a wiCPN consegue-se ter uma ideia melhor das telas que devem ser implementadas.”
- III. “Gostei muito da proposta e concordo com os ganhos da abordagem, principalmente na construção de casos de teste que podem ser mais ricos ao se analisar a modelagem wiCPN. Quando há qualquer alteração no sistema, na modelagem UML, vários diagramas devem ser revistos, pois as mesmas informações podem estar distribuídas em diagramas diferentes, o que não ocorre nas Redes de Petri. Além disso, o uso de Redes de Petri permite encontrar situações indesejadas tais como deadlocks (situações de total travamento) e livelocks (situações que o sistema entra em loop em um conjunto de estados e não consegue sair deles) e, assim, modelar o sistema de forma a evitá-los.”
- IV. “Concordo com os benefícios elencados da abordagem apresentada e reforço que o modelo apresenta elementos que permitem uma melhor organização da modelagem como, por exemplo, a hierarquização, que refina o modelo com o intuito de deixá-lo mais claro. Além disso, é possível simular todos os fluxos de interação passo a passo e, ainda, modelar elementos de controle do sistema.”
- V. “Os benefícios das Redes de Petri comparadas a UML são claros devido às suas propriedades. As Redes de Petri podem ser verificadas matematicamente quanto a sua corretude, assim como a extensão wiCPN, o que não ocorre com a UML. Ainda, na UML pode ocorrer a não unicidade de informações devido ao fato das mesmas estarem espalhadas (scattered) em diversos diagramas que não podem ser transformados uns nos outros (não são equivalentes).”
- VI. “Concordo fortemente com os benefícios apresentados, reforçando que a modelagem UML exige mais esforço devido a quantidade de diagramas e que nem sempre as pessoas modelam corretamente devido ao entendimento errôneo dos elementos de cada diagrama e, ainda, a modelagem final fica bem mais extensa e fragmentada. As CPNs são melhor compreendidas e apresentam os fluxos possíveis de interação (neste caso, quais telas podem ou não ser acessadas por cada usuário).”

²Textos reproduzidos de modo fiel às respostas dos profissionais envolvidos.

De modo geral, os comentários dos profissionais foram favoráveis à nova extensão. Os desenvolvedores Web elogiaram a maneira que a *wiCPN* organiza os elementos nos modelos e como a proposta pode auxiliar no desenvolvimento de *software* ao fornecer mais detalhes sobre as telas dos sistemas. O profissional de qualidade de *software* evidenciou os ganhos da abordagem para a construção de casos de teste mais ricos ao se analisar os modelos gerados com a técnica. Os especialistas em linguagens de modelagem apontaram benefícios de se utilizar as RdPs em comparação à UML e reforçaram que a linguagem apresenta elementos que permitem uma melhor organização da modelagem.

Na validação entre discentes, pelo fato dos alunos da disciplina de *IHC* já estarem habituados a trabalhar com fluxos de interação e serem capazes de contribuir com impressões mais exatas sobre o escopo da modelagem, eles foram utilizados para realizar uma validação quantitativa da linguagem *wiCPN*. Para isso, dividiu-se uma turma de bacharelados em duas amostras de quinze alunos, realizando-se na primeira uma introdução a respeito do *Diagrama de Atividades* da *UML* e, na segunda, uma apresentação da extensão *wiCPN*, com o intuito de ilustrar para cada grupo de discentes os respectivos elementos e características possuídos pelas linguagens.

Em seguida, modelos do sistema CX criados com o uso de cada uma das abordagens foram distribuídos para seus respectivos grupos, para que os alunos pudessem analisar as modelagens geradas e dar suas impressões. Para cada amostra de discentes, foram aplicados questionários compostos por 12 afirmativas que apresentavam pontos referentes às características, funcionalidades e compreensão dos modelos gerados. Junto a cada afirmativa, posicionou-se uma *Escala Likert* de 7 pontos com as possíveis impressões que o discente poderia informar a respeito daquela asserção. Essas respostas ilustraram o nível de concordância que cada usuário teve com base nas afirmativas expostas, variando entre 1) *Discordo completamente*, 2) *Discordo*, 3) *Discordo parcialmente*, 4) *Neutro*, 5) *Concordo Parcialmente*, 6) *Concordo* e 7) *Concordo completamente*. As 12 afirmativas utilizadas nos questionários são listadas a seguir:

1. A modelagem dos fluxos interativos do sistema é intuitiva.
2. Há telas na modelagem que não possuem finalidades bem definidas.
3. Consigo entender quais atividades são realizáveis por cada tipo de usuário.
4. A informação sobre qual tela estou nem sempre fica clara na modelagem.
5. Compreendo para quais telas posso ir a partir do ponto em que me encontro.
6. Não é possível implementar completamente as funcionalidades apresentadas a partir do modelo observado.
7. Não consegui entender o fluxo interativo da modelagem apresentada.
8. Pude compreender todas as telas apresentadas na modelagem.

9. As permissões de cada tipo de usuário não são bem definidas no modelo.
10. No modelo, sempre sei em qual tela estou.
11. Na modelagem apresentada, não consegui descobrir quais telas posso acessar a partir da tela em que me encontro.
12. O modelo fornece todas as informações necessárias para a implementação das funcionalidades apresentadas.

Com o intuito de legitimar as respostas obtidas dos alunos, utilizou-se o método de negação de afirmativas nos questionários (Huang *et al.*, 2012; Weijters e Baumgartner, 2012). Tal técnica baseou-se em apresentar as mesmas ideias em afirmações diferentes, camuflando-as de modo a ilustrarem opiniões aparentemente opostas. Os pares de itens utilizados para este fim foram, respectivamente, 1 e 7 (que versaram sobre a compreensão do fluxo interativo), 2 e 8 (sobre a finalidade das telas da modelagem), 3 e 9 (relativas às permissões de cada tipo de usuário), 4 e 10 (acerca da tela em que o usuário se encontra a cada passo), 5 e 11 (sobre quais telas são alcançáveis a partir de cada ponto) e 6 e 12 (a respeito do entendimento das funcionalidades do sistema).

Para cada par de afirmativas, presumiu-se que os alunos responderiam com opiniões contrárias, pois em cada uma delas havia ideias opostas sobre o mesmo tema. De modo a avaliar os itens corretamente, realizou-se a inversão da segunda afirmativa de cada par e fez-se o cálculo dos resultados de maneira conjunta, objetivando invalidar ou evidenciar as respostas dadas no primeiro tópico. Sabendo que cada ponto da *Escala Likert* possuiu uma valoração que acompanhou o nível de concordância das asserções (de 1 a 7), realizou-se o cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação (*CV*) das respostas obtidas para cada par de afirmativas entre as duas amostras de alunos (Tabela 3.1).

Como as afirmativas dos questionários tiveram ideias positivas e negativas listadas de maneira propositalmente intercalada, esperou-se que as respostas apresentassem níveis maiores de concordância nos pares 1-7, 3-9 e 5-11 e discordâncias em 2-8, 4-10 e 6-12. Após o cálculo da média e desvio padrão em cada par, determinou-se também o *CV* com o intuito de comparar os resultados obtidos em cada amostra e quantificar a intensidade que eles diferiram-se entre si (Triola, 2011).

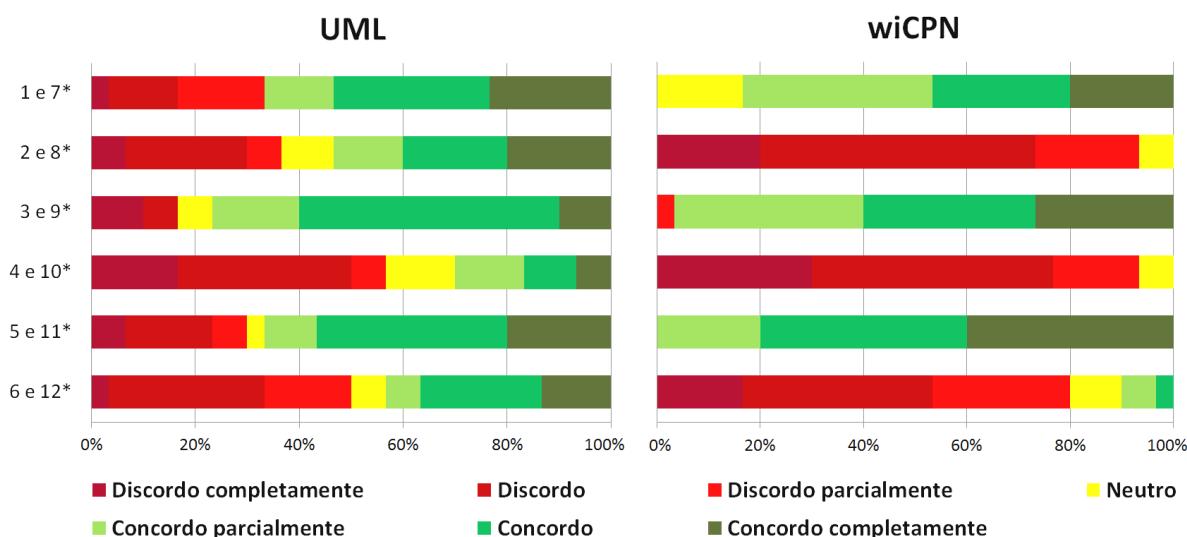
Em todos os pares de afirmativas, as respostas dadas pelos alunos que tiveram contato com a wiCPN apresentaram médias com maior parcialidade e menor desvio padrão que nos dados observados entre discentes que usaram *UML*. Além disso, na maioria dos pares, o *CV* relativo à wiCPN foi menor – exceto no último caso em que ele superou em 1,31% o valor obtido com o emprego da *UML*. Tal resultado demonstra que a maior parte das respostas dos alunos que utilizaram a nova abordagem manteve níveis bastante próximos e uniformes entre si, garantindo maior homogeneidade de opiniões e reforçando que a wiCPN foi bem aceita e compreendida pelos discentes que a avaliaram.

Tabela 3.1: Média, desvio padrão e coeficiente de variação das respostas dos alunos aos questionários sobre *UML* e *wiCPN*.

Afirmativas ¹	<i>UML</i>		<i>wiCPN</i>	
	$\bar{x} \pm s$	CV(%)	$\bar{x} \pm s$	CV(%)
1 e 7	4,20 ± 2,01	47,79	5,40 ± 1,06	19,55
2 e 8	5,13 ± 1,85	35,97	2,40 ± 0,83	34,50
3 e 9	5,33 ± 1,72	32,22	6,00 ± 0,85	14,09
4 e 10	3,20 ± 1,08	64,91	2,27 ± 0,96	42,40
5 e 11	4,87 ± 2,10	43,15	6,27 ± 0,70	11,23
6 e 12	3,60 ± 2,03	56,34	2,33 ± 1,35	57,65

¹As segundas afirmativas de cada par tiveram seus resultados invertidos e incorporados aos das primeiras, com o intuito de anular ou evidenciar as respostas dadas nos primeiros itens; *UML*: Unified Modeling Language; *wiCPN*: Web Interaction Modeling Using Colored Petri Nets; $\bar{x} \pm s$: Média e desvio padrão; *CV*: Coeficiente de variação.

Com o intuito de evidenciar os resultados apresentados na Tabela 3.1, a Figura 3.10 demonstra a frequência das respostas obtidas nos questionários aplicados aos alunos. Seguindo a mesma ordenação dos pares em ambas as amostras, é possível observar que as respostas dos alunos que analisaram a modelagem *wiCPN* foram mais parcias que entre os que tiveram contato com a *UML*. Enquanto na primeira coluna percebe-se que as opiniões tiveram leves inclinações para concordâncias e discordâncias, na segunda há tendências explícitas para cada par de afirmativas.



* Respostas invertidas.

Figura 3.10: Respostas dos alunos aos questionários sobre *UML* e *wiCPN*.

Mais de 30% dos discentes que tiveram contato com os modelos em *UML* disseram que a modelagem dos fluxos interativos não se mostrou intuitiva. Na mesma amostra, metade dos alunos informou que as telas dos modelos não possuíam finalidades bem definidas: opiniões que nenhum dos discentes que usou a extensão *wiCPN* apresentou. Além disso, quase 20% dos alunos da primeira coluna não conseguiram entender quais atividades poderiam ser realizadas por cada tipo de usuário e menos de 5% dos discentes tiveram este problema na segunda.

Ainda entre os alunos que analisaram a modelagem *UML*, cerca de 30% deles declararam que informações sobre as telas em que se encontravam não estavam claras, nem conseguiram compreender para quais telas eles poderiam ir a partir de cada ponto dos modelos. Nenhum aluno envolvido com a *wiCPN* apresentou opiniões similares. Por fim, mais de 40% dos usuários da primeira coluna informou que não era possível implementar as funcionalidades do sistema a partir dos modelos observados, algo declarado em menos de 5% dos discentes da segunda coluna.

3.3 Trabalhos Relacionados e Discussões

Diversas abordagens com interesses particulares em modelagem de interações foram encontradas na literatura. Dentre elas, a *UITD* (*User Interface Transition Diagram*) é uma notação de modelagem desenvolvida para representar as mudanças que acontecem nas interfaces quando são acessadas por usuários (Gómez e Cervantes, 2013). Além disso, a representação também é capaz de controlar o disparo de transições entre as telas baseando-se em condições específicas que cada interface possui.

Os autores explicam que a notação *UITD* gera pseudo-dígrafos (grafos direcionados cujas transições têm a possibilidade de entrar em *loop*), nos quais os vértices representam a maneira que as interfaces são exibidas e as arestas denotam as possíveis transições. No trabalho, o termo “*user interface presentation*” (em tradução livre, “exibição da interface de usuário”) é utilizado para descrever um estado específico que a tela de uma interface pode assumir, com base na capacidade de um usuário reconhecer tal situação durante uma interação em particular. Por causa disso, as transições são definidas como os eventos que acontecem quando os usuários navegam entre as exibições das telas. Consequentemente, as arestas presentes nos grafos resultantes são capazes de ilustrar cada uma das possíveis ações que os usuários podem realizar enquanto interagem com a interface modelada.

Pelo fato da *UITD* ser uma variação dos já conhecidos *Diagramas de Transição de Estados* – também chamados de *Statecharts* (Harel, 1987) – e sua notação expandir o escopo de modelagem dos *Statecharts* para um nível de interação, as ferramentas de suporte que existem atualmente (p. ex., o *Yakindu*³) ainda não são capazes de representar por completo os grafos modelados com a *UITD*.

³<http://statecharts.org/>

De fato, a extensão *wiCPN* também é baseada numa linguagem de modelagem já existente: as *RdPC*. No entanto, esta extensão faz uso de uma suíte de ferramentas específicas para gerar, editar, simular e realizar análises nos modelos desenvolvidos: a *CPN Tools*. Tendo em vista que a *UITD* não possui uma ferramenta *CASE* (*Computer-Aided Software Engineering*) exclusiva para apoiar os gráficos gerados, suas atividades de modelagem acabam sendo realizadas em aplicativos originalmente desenvolvidos para outros fins ou, até mesmo, sem fazer qualquer uso de ferramentas adequadas.

Outro trabalho encontrado na literatura foi o *LOCPN* (*Learning Objects Production with Colored Petri Nets*), um modelo também baseado em *RdPCs* que foi desenvolvido para guiar o processo de desenvolvimento de Objetos de Aprendizagem (OAs) e auxiliar no desempenho de práticas pedagógicas (de Souza *et al.*, 2007). Um OA é um recurso digital desenvolvido para ser usado em ambientes educacionais, como um utensílio para facilitar o processo de aprendizagem dos usuários. Desse modo, os autores afirmam que incorporando o *LOCPN* aos passos de construção de OAs alcança-se uma série de benefícios, como especificações mais intuitivas e facilidade de se encontrar erros.

Certas complicações inevitavelmente surgem no escopo educacional devido ao grau de complexidade que a produção de OAs envolve. Como diversos profissionais são necessários para compreender tanto as questões técnicas quanto pedagógicas desses artefatos, mostra-se necessário manter grupos com elementos especializados em categorias distintas, com o intuito de criar um elo entre os requisitos desejados e os que são de fato tangíveis. No trabalho, a aplicabilidade do *LOCPN* é validada por meio de seu uso durante a formalização de um OA e a clareza da especificação traz uma redução de tempo considerável ao final do processo de criação do artefato. Entretanto, tal método mostra-se aplicável exclusivamente ao desenvolvimento de OAs e a *wiCPN* difere-se por modelar o fluxo de interação existente em Web *front-ends*, modificando a perspectiva entre os trabalhos e expandindo sua atuação, já que ela se mostra aplicável à modelagem de qualquer interface que possa ser acessada por meio de um navegador Web.

O *MoLIC* (*Modeling Language for Interaction as Conversation*) é um modelo com enfoque para especificações no âmbito da *IHC* (Sangiorgi e Barbosa, 2009). Proposto para ser incorporado à família *UML* (*Unified Modeling Language*), ele representa interações como tópicos de conversação. No entanto, já que cada segmento de conversação é representado por uma cena construída utilizando-se linguagens naturais e perspectivas de usuários, o modelo torna-se sujeito a eventuais ambiguidades e subjetividades.

Vera *et al.* (2012) também apresentam uma abordagem para modelar aplicações com base na *UML*, mas com enfoque para representar interfaces Web em dispositivos móveis. Fundamentando-se em processos definidos pela *OOHDM* (*Object Oriented Hypermedia Design Method*) – uma metodologia de desenvolvimento para aplicações Web – o trabalho unifica atividades de modelagem de interatividade ao fazer uso de dois diagramas *UML*: o *Diagrama de Componentes* para representar a navegação pela interface e o *Diagrama de*

Classes para a modelagem do domínio. Ambos são expandidos fazendo uso de etiquetas e estereótipos. Essas extensões adicionam informações para os modelos e permitem suas configurações, o que contribui fazendo a geração de código se tornar uma tarefa mais fácil durante o processo de desenvolvimento.

Embora essa abordagem tenha demonstrado ganhos de formalização, ela se mostra exclusivamente focada na especificação de aplicações Web em dispositivos móveis. Diferentemente, a *wiCPN* demonstra um escopo com enfoque nas interações que usuários constantemente realizam e que podem originar-se de diversos dispositivos, tais como *notebooks*, *smartphones* e *tablets* – sendo apenas necessário que um navegador Web esteja previamente instalado nesses equipamentos.

Adotada recentemente como um novo padrão pela *OMG (Object Management Group)*, a *IFML (Interaction Flow Modeling Language)* é uma linguagem desenvolvida para representar interações de usuários, conteúdos de aplicações e comportamentos de *front-ends* (Rossi, 2013). Ela possui um conjunto de notações gráficas capaz de gerar modelos visuais que representam o fluxo de interação junto ao funcionamento das interfaces, focando nas transições que os usuários têm contato enquanto navegam por um *front-end*. Um diagrama *IFML* é composto por *repositórios visuais* que representam “janelas de interfaces de usuários”, ou páginas Web. Esses repositórios podem ter elementos denominados *componentes visuais* que, por sua vez, contêm parâmetros de entrada e saída das páginas. Ambos os repositórios podem ser associados a eventos, a fim de representar interações advindas de usuários que estão em contato com as interfaces.

De acordo com Gal-Chis (2013), apesar de ter sido desenvolvida para representar a dinâmica interativa de usuários em *front-ends*, a *IFML* possui uma modelagem de hiper-texto bastante recente. Como consequência, esse recurso carece de uma base adequada e organizada de notações, concepções e métodos de projeto – já que possui apenas uma ferramenta simples para fazer esse tipo de modelagem. Além disso, a linguagem não é capaz de representar características visuais relativas às interfaces, como estilos e *layouts* encontrados em *front-ends* de aplicações (Rossi, 2013).

Tal singularidade ocorre devido ao fato da *IFML* ser uma extensão da *WebML (Web Modeling Language)* – uma notação para projetar aplicações Web, inicialmente definida no começo dos anos 2000 e que experienciou apenas cerca de dez anos de uso (Ceri *et al.*, 2009). Como a *IFML* atualmente se encontra em versão *Beta*, diversos ajustes deverão ser realizados para fornecer à linguagem um nível maior de confiança em seu campo. A *wiCPN*, por outro lado, faz uso das *RdPCs* – que são baseadas nas *RdPs*: uma linguagem para descrição de sistemas inicialmente documentada por volta de 1962 (Petri, 1962) e amplamente aplicada e difundida desde então (Fan *et al.*, 2013; Iordache e Antsaklis, 2009; Silva, 2013) –, o que evidencia seus pontos fortes e a amplitude de uso que as *RdPs* trazem para o âmbito da modelagem de sistemas.

Em outro trabalho, Ma *et al.* (2010) apresentam a modelagem interativa do sistema

ciber-físico de uma comunidade inteligente, intitulado *Net-in-Net*. Como elucidado pelos autores, os sistemas ciber-físicos são ambientes que integram áreas físicas com a Internet, a fim de proporcionar interações de caráter eficiente, confidencial e oportuno entre aplicações e usuários. Tendo em vista que neste trabalho foram representados os fluxos de interação de um sistema complexo caracterizado por requisitos de segurança, estabilidade e confiabilidade, ele deveria ter sido formalizado com a utilização de uma linguagem robusta e verificável – uma escolha adequada para uma circunstância dessa magnitude. Todavia, a interatividade do *Net-in-Net* foi modelada utilizando-se simples fluxogramas, o que eventualmente resulta na criação de modelos ambíguos e subjetivos.

Tal problema também acontece em Tena *et al.* (2013), em que um vocabulário para projetar interfaces em ambiente Web é proposto. Com o intuito de funcionar como um glossário numa área em que os termos mudam de sentido constantemente ou são substituídos, seu reuso torna-se praticamente impossível (já que os arcabouços se encontram à mercê de fatores temporais) e os vocabulários gerados passam a ser inutilizáveis noutras pesquisas. Ciardelli *et al.* (2011) propõem um modelo cognitivo para representar interações entre motoristas e veículos, com o intuito de considerar o comportamento dos usuários para detectar situações potenciais de perigo. O trabalho apresenta uma abordagem para analisar e modelar aplicações automotivas e explora uma plataforma de simulação junto a uma rede de sensores instalada num veículo. Por fim, resultados preliminares são apresentados para demonstrar a viabilidade do método e discussões apresentam que pesquisas continuadas nessa área são capazes de trazer melhorias para aplicações com enfoque na segurança humana.

Embora as abordagens de Ma *et al.* (2010), Tena *et al.* (2013) e Ciardelli *et al.* (2011) tenham sido aplicadas para fins de alta relevância, não fizeram uso de linguagens formais durante suas etapas de especificação. O último desses trabalhos, por exemplo, não apresentou uma maneira robusta de compreender as modificações de eventos que podem ocorrer no escopo interativo enquanto motoristas estão dirigindo um veículo. Isso aconteceu devido à natureza cognitiva da investigação e, possivelmente, por se tratar de um experimento que ainda se encontra em estágios iniciais. Por outro lado, como a *wiCPN* é baseada em *RdPCs* – uma linguagem matemática e formal – ela diferencia-se dessas três abordagens e destaca-se por se tratar de algo verificável e consistente para a modelagem do fluxo de interações.

Assemelhando-se à *wiCPN* por também explorar a teoria das *RdPs*, a *ICO* (*Interactive Cooperative Objects*) é uma linguagem de descrição de interfaces baseada em *Redes de Petri Objeto*, utilizada para a engenharia e desenvolvimento de aplicações interativas (Martinie *et al.*, 2014). A linguagem possui uma ferramenta *CASE* exclusiva intitulada *PetShop* (*Petri net workShop* ou, em tradução livre, *Oficina de Redes de Petri*), que é capaz de fornecer suporte para os processos de especificação, prototipação e validação de *softwares* com fluxos interativos.

Além de compartilhar dos benefícios de uma base concreta numa notação formal de descrição, a *ICO* também faz uso de alguns conceitos emprestados do paradigma de orientação a objetos, como instanciação dinâmica, encapsulamento, classificação e herança. Para uma correta utilização desse paradigma, um dialeto híbrido das *RdPs* precisou ser empregado a fim de compreender todo o escopo da orientação a objetos. Por causa disso, uma série de requisitos – não apenas em projeto de interfaces, como também em programação orientada a objetos, Java, implementação de sistemas e modelagem baseada em *RdPs* – são necessários para representar corretamente as aplicações interativas ao se fazer uso da *ICO*, o que inevitavelmente induz uma série de curvas de aprendizagem nas diversas áreas em que os profissionais precisam obter domínio para tornarem-se aptos a trabalhar em projetos utilizando a linguagem.

Também na literatura, Mirlacher *et al.* (2012) apresentam uma abstração baseada em *RdPs* para apoiar o projeto, implementação e verificação de *front-ends* que possuem animações interativas. A abordagem possui o diferencial de transformar os fluxos interativos em dois níveis diferentes de interação, nos quais atividades exclusivas são conduzidas. Enquanto a camada superior concentra-se nos objetos interativos existentes, dando atenção a suas propriedades animadas e à composição dessas animações, o nível mais baixo de descrição abrange os aspectos temporais, também preocupando-se com a utilização eficiente de *tweening* (interpolação) e possíveis problemas de conexão com o *hardware* responsável pela renderização das animações.

Este modelo se torna mais complexo à medida que lida com propriedades de objetos que possuem características dependentes de outros elementos e quando passa a controlar toda a orquestração das animações em circunstâncias em que o desempenho dos equipamentos é menor que o esperado. Projetar sistemas que compreendem uma potencial degradação das interfaces é uma tarefa complexa para profissionais, já que precisam estar a par de conhecimentos em animações computacionais e na aplicação de análises numéricas a fim de distinguir de uma maneira rápida e eficiente quais e como as animações devem ser degradadas quando for necessário.

Considerando as peculiaridades evidenciadas nos dois últimos trabalhos, a *wiCPN* foi desenvolvida com o intuito de ser simples e visual – ao mesmo tempo em que fizesse uso de uma linguagem formal apta a atividades de verificação. O requisito necessário para utilizá-la baseia-se na compreensão das *RdPCs*, dado o fato que a *wiCPN* é uma extensão dessa linguagem e concentra-se em utilizar a capacidade descritiva das *RdPCs* de uma maneira eficiente para a modelagem de fluxos interativos Web. Desse modo, a *wiCPN* gera modelos que profissionais de diversas áreas são capazes de compreender, bastando observar como os fluxos de interação se comportam em cada interface. Essa característica permite que os envolvidos sejam capazes de contribuir durante as diversas etapas do processo de desenvolvimento de sistemas.

Com o intuito de sintetizar as discussões realizadas nesta seção, a Tabela 3.2 apresenta

todos os trabalhos relacionados à modelagem de interações que foram compreendidos no decorrer do texto. Uma avaliação baseada em critérios ilustra que todas as abordagens possuem características positivas e determinadas lacunas que caracterizam o porquê de serem utilizadas em âmbitos mais específicos.

Tabela 3.2: Classificação dos trabalhos relacionados com base em critérios preestabelecidos e seus níveis de incidência.

Trabalhos	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
de Souza <i>et al.</i> (2007)	●	○	○	○	●	●
Sangiorgi e Barbosa (2009)	●	○	○	○	○	●
Ma <i>et al.</i> (2010)	○	○	○	●	○	●
Ciardelli <i>et al.</i> (2011)	○	○	○	●	○	○
Mirlacher <i>et al.</i> (2012)	●	●	○	○	●	●
Vera <i>et al.</i> (2012)	●	○	●	○	○	●
Gómez e Cervantes (2013)	●	○	○	○	●	●
Rossi (2013)	●	●	○	○	●	●
Tena <i>et al.</i> (2013)	○	○	●	●	○	○
Martinie <i>et al.</i> (2014)	●	○	○	○	●	●
wiCPN	●	●	○	○	●	●

Os trabalhos foram avaliados com base em seis critérios: (a) a existência de uma ferramenta CASE específica com suporte para o método; (b) a capacidade da abordagem modelar a interatividade de Web *front-ends*; (c) a facilidade de compreensão dos modelos gerados; (d) a não-obrigatoriedade de se aprender previamente outros conteúdos para utilizar a técnica; (e) a abordagem ser baseada numa linguagem formal passível de verificação e (f) o método especificar requisitos de segurança, tais como a autenticação de usuários. Para cada um dos critérios, três níveis de incidência foram estipulados: um círculo vazio (○) para os trabalhos avaliados que não possuem determinado critério; um círculo pela metade (◐) para os que contêm cada critério parcialmente e um círculo cheio (●) para aqueles que compreendem o critério estabelecido.

Conforme pode ser observado, as abordagens de Ma *et al.* (2010), Ciardelli *et al.* (2011) e Tena *et al.* (2013) não possuem ferramentas CASE exclusivas para a utilização de seus métodos. Isso ocasiona inconsistências, tais como representações errôneas dos fluxos interativos que levam a problemas de compreensão dos modelos gerados. Além disso, a maioria dos trabalhos demonstra capacidade de representar, mesmo que parcialmente,

fluxos de interações Web. Todavia, detalhes de interatividade neste escopo são perdidos em alguns trabalhos – como em Sangiorgi e Barbosa (2009), Ciardelli *et al.* (2011) e Vera *et al.* (2012) –, pois nem todas as metodologias de formalização foram criadas exclusivamente para esta finalidade.

Mirlacher *et al.* (2012) e Martinie *et al.* (2014) são as abordagens que geram modelos com o maior nível de dificuldade de compreensão dentre as listadas. Esse critério se justifica pelo fato dos mesmos trabalhos envolverem a maior quantidade de conhecimento obrigatório em áreas distintas a ser previamente compreendido pelos profissionais que objetivam utilizá-las. Além disso, metade dos trabalhos não demonstrou qualquer fundamentação ou uso de métodos formais em suas abordagens. Em casos de especificação de sistemas complexos, como em Ma *et al.* (2010) e Ciardelli *et al.* (2011), o uso de formalizações passíveis de verificação mostra-se como uma prática relevante, graças à possibilidade de se perceber e corrigir erros nas etapas iniciais de projetos.

Outro fator considerável diz respeito a requisitos não funcionais, tais como confiabilidade e segurança de sistemas. No trabalho de Tena *et al.* (2013), o vocabulário gerado não se mostra resistente a circunstâncias temporais, dado o fato que os termos utilizados sofrem constantes substituições e mudanças de sentido, ferindo a confiança das informações presentes no arcabouço apresentado. Em Ciardelli *et al.* (2011), nenhuma etapa de autenticação de usuários é apresentada nos modelos, algo que se mostra contraditório devido à proposta apresentar um sistema veicular para a segurança humana. Neste âmbito, características simples como o posicionamento de retrovisores e a velocidade média de tráfego são exemplos de preferências que cada usuário possui e que podem ser controladas de maneira automatizada em sistemas para esta finalidade. Tais detalhes dariam margem para explorar fatores mais profundos e permitiriam experimentos com o intuito de aumentar ainda mais a segurança de usuários em circunstâncias de tráfego veicular.

3.4 Considerações Finais

O processo de formalização da plataforma educacional CX permitiu um estudo detalhado a respeito de métodos formais com base em notações gráficas e suas aplicações para a modelagem de fluxos interativos. Conforme pretendido, a linguagem wiCPN – elaborada para representar fluxos de interações Web – se mostrou adequada para a modelagem do Web *front-end* do CX e foi utilizada para este fim durante a etapa de especificação formal do sistema. O modelo gerado foi verificado por meio de um grafo de alcançabilidade, capaz de comprovar que a wiCPN compreendeu requisitos de segurança e propiciou níveis específicos de acesso a usuários com papéis diferentes. Posteriormente, a aplicabilidade da wiCPN foi validada utilizando-se questionários com alunos de graduação e entrevistas com especialistas, que reforçaram os ganhos de se empregar a extensão para atividades de modelagem de interações Web.

Também foi possível conhecer o escopo de atuação de trabalhos que realizam pesquisas neste âmbito, além de terem sido investigadas peculiaridades concernentes às áreas de modelagem, verificação e validação de *software*. Percebeu-se, no decorrer do processo, que o emprego de linguagens verificáveis se mostra como uma atividade interessante para uma série de finalidades e sua utilização para a modelagem de interações compreende uma das possíveis aplicações para se trabalhar com técnicas deste tipo. Por fim, a especificação formal do CX possibilitou explorar pormenores inerentes a este sistema, adquirindo mais informações a respeito de funcionalidades, características e comportamentos do produto e contribuindo para um conhecimento mais holístico acerca de suas partes e como elas interagem entre si. Com essas informações, foi possível definir pontos-chave para o desenvolvimento de métodos para coletar dados de usuários que entraram em contato com o sistema, algo que contribuiu diretamente com o processo de validação da plataforma educacional CX num ambiente acadêmico real.

Validação do Uso do Sistema Classroom eXperience

Com o intuito de investigar o uso da plataforma CX na *FACOM/UFU*, foram analisadas turmas de cursos de graduação em Sistemas de Informação e Ciência da Computação e do *Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCO)* no decorrer de quatro semestres letivos. Para assegurar a confiabilidade dos resultados, aplicaram-se métodos de amostragem populacional e testes estatísticos sobre os dados. Variáveis de assiduidade, desempenho e impressões de usuários foram analisadas e comparadas entre as turmas, desencadeando uma série de discussões relativas à utilização de tecnologias computacionais no cotidiano acadêmico.

De modo a detalhar essas atividades, o presente capítulo apresenta o processo de validação do uso do sistema CX. Ao início, características da população investigada são apresentadas (Seção 4.1), assim como a técnica de amostragem, intervalo de confiança, margem de erro e variáveis analisadas nas amostras. Em seguida, os testes aplicados aos dados e seus respectivos resultados são evidenciados (Seção 4.2), junto a discussões para esclarecer o entendimento das informações obtidas quanto ao desempenho, assiduidade e impressões de professores e alunos. Em continuidade, a Seção 4.3 apresenta os trabalhos relacionados e aponta detalhes que diferenciam esta pesquisa das demais encontradas na literatura. Por fim, são apresentadas as considerações finais sobre a investigação (Seção 4.4), com o intuito de finalizar a temática abordada neste capítulo.

4.1 Delineamento Amostral

Dá-se o nome de população ao conjunto de unidades que são de interesse de determinada pesquisa, na qual amostras são coletadas e, com base em análises, inferências são propostas (Field, 2013). Nesse contexto, amostras são agrupamentos de unidades que têm como finalidade representar a população da qual foram retiradas. Por isso, estabelecer um plano para definir a maneira que a amostragem deve ser realizada – atividade denominada delineamento amostral – é uma tarefa imprescindível em processos de validação estatística, tendo em vista que os resultados obtidos nas amostras precisam compreender toda a população-alvo envolvida na investigação (Lohr, 2009).

A população desta pesquisa é constituída por professores (que lecionam durante os semestres letivos) e alunos (que frequentam cursos de graduação e pós-graduação). Em função disso, subpopulações (ou estratos) são distinguidas entre as unidades, o que garante à população um caráter heterogêneo. Para assegurar que os elementos das amostras admitissem níveis similares durante as análises, optou-se por dividi-los em grupos. Desse modo, isolaram-se docentes de discentes e, entre os alunos, separaram-se os que frequentam a graduação daqueles que cursam a pós-graduação.

As turmas de alunos observadas durante a pesquisa tiveram todos os seus elementos analisados. Em função dessa divisão da população em aglomerados e julgamento integral dos dados coletados em cada grupo, empregou-se um método denominado *amostragem estratificada por conglomerados*. Dessa maneira, foi possível compreender o efeito do CX entre grupos de usuários com diferentes níveis de instrução, o que permitiu uma análise realista das informações obtidas durante os semestres letivos.

4.1.1 Intervalo de Confiança e Margem de Erro

Realizar o cálculo da quantidade exata de unidades que compõem a população-alvo desta pesquisa se mostra como uma atividade impraticável. Tal limitação é percebida ao se observar que a proporção de alunos que ingressam semestralmente nos cursos de computação não é a mesma dos que conseguem concluir-los. Além disso, há discentes que são transferidos de outras instituições e aqueles que acabam deixando os cursos antes de finalizá-los. Em virtude disso, utilizou-se um intervalo de confiança (*IC*) de 95% com o intuito de estimar a probabilidade dos resultados obtidos nas amostras serem capazes de compreender toda a população da pesquisa (Triola, 2011). Junto ao intervalo, também fez-se o uso de uma margem de erro (*ME*) de 5,5%, que foi calculada de acordo com a quantidade de elementos observados no decorrer da investigação.

O uso dessas estatísticas permitiu criar uma estimativa dos dados nas amostras, possibilitando que elas representassem a população das unidades avaliadas. Desse modo, ao se trabalhar com um *IC* de 95%, sabe-se que caso outra amostra seja retirada dessa mesma

população, há 95% de chance dela estar dentro da *ME* permitida e apenas 5% de estar fora. Ilustrando a aplicação de ambas as estatísticas, caso seja obtido um rendimento de, por exemplo, 70% na média de uma turma X sob o *IC* de 95% e *ME* de 5,5%, é possível garantir que o desempenho das demais amostras da população se encontrarão entre a variância de 64,5% e 75,5% em 95% das vezes e com apenas 2,5% de chance de estar acima de 75,5% ou abaixo de 64,5% de rendimento.

4.1.2 Variáveis Avaliadas nas Amostras

No decorrer desta pesquisa, três variáveis foram observadas nas unidades amostrais: *impressões*, *desempenho* e *assiduidade*. As impressões dos usuários foram coletadas por meio de questionários aplicados às turmas que utilizaram o CX. O desempenho analisou o rendimento médio obtido tanto em turmas que tiveram contato com o sistema quanto naquelas que não fizeram seu uso. A assiduidade verificou a presença dos alunos em sala de aula e os picos de acesso que a aplicação obteve durante os semestres letivos.

Os alunos foram avaliados nas três vertentes apresentadas, enquanto professores tiveram suas impressões coletadas por meio de um questionário específico. Nele, foram evidenciados detalhes relativos à etapa de pré-produção – na qual os docentes devem cadastrar previamente suas aulas no sistema – e sobre a tarefa de se capturar o conteúdo exposto durante as atividades acadêmicas.

4.2 Resultados e Discussões

Durante quatro semestres letivos, observaram-se 13 turmas que cursaram 3 disciplinas distintas, totalizando 316 alunos e 4 professores envolvidos na pesquisa. Dentre os discentes, 214 tiveram contato com o sistema e 102 fizeram parte de turmas de controle, nas quais a aplicação não foi utilizada. Dados foram coletados de maneira contínua entre as disciplinas, sendo que o fator sob investigação (o uso do CX) recebeu diferentes tratamentos entre elas. Desse modo, a utilização da plataforma foi especificada com base em seu emprego durante os semestres, classificando-se como *uso integral*, *uso parcial* e *ausência do CX* nas turmas que tiveram seus elementos observados.

Dos 214 alunos que tiveram contato com o sistema, 114 o utilizaram parcialmente (apenas durante o segundo bimestre do semestre avaliado) e 100 dispuseram integralmente do CX no decorrer do período letivo. Para que testes de comparação pudessem ser realizados, os 102 discentes que não tiveram contato com o sistema cursaram as mesmas disciplinas que os demais. Dessa maneira, os três tratamentos foram investigados e analisados entre si, de modo a compreender melhor o uso do sistema.

4.2.1 Desempenho

Notas de alunos foram utilizadas para averiguar se a utilização do CX trouxe de fato aumento de desempenho entre as turmas sob análise. Para isso, inicialmente as amostras coletadas foram submetidas ao teste de Shapiro-Wilk (*SW*) para verificar se os resíduos da variável observada seguiam uma distribuição normal. Dentre os testes existentes, escolheu-se este por ser o mais indicado para amostras em que a quantidade de observações é menor que cinquenta (Razali e Wah, 2011). Em seguida, aplicou-se o teste de Levene entre amostras de turmas diferentes que cursaram as mesmas disciplinas para averiguar se possuíam homocedasticidade – ou seja, se havia homogeneidade de variâncias entre elas (Triola, 2011). Por fim, o teste *t* de Student foi utilizado para se comprovar a existência de diferenças significativas entre as médias das turmas.

Devido à utilização da amostragem estratificada por conglomerados, turmas de graduação e pós-graduação foram avaliadas separadamente. Além disso, para organizar os resultados, optou-se por agrupar as análises das amostras que tiveram contato integral e ausência de uso do CX, separando-as das avaliações realizadas nas turmas que utilizaram o sistema de maneira parcial. Como resultado, na Tabela 4.1 é possível observar o desempenho de oito turmas (seis de graduação e duas de pós-graduação) que tiveram o CX presente ou ausente durante o decorrer dos semestres letivos.

Tabela 4.1: Desempenho de turmas de graduação e pós-graduação quanto ao uso integral do *Classroom eXperience* no semestre letivo.

	Disciplina ¹	Turma	<i>n</i>	CX	$\bar{x} \pm s$	<i>W(P)</i>	<i>F(P)</i>
Graduação	A	1	19	Ausente	$72,28 \pm 14,75$ <i>a</i>	0,948(0,369)	0,003(0,954)
		2	16	Presente	$78,74 \pm 13,58$ <i>a</i>	0,948(0,452)	
	B	3	35	Ausente	$77,82 \pm 7,92$ <i>b</i>	0,962(0,260)	2,625(0,110)
		4	36	Presente	$83,94 \pm 10,76$ <i>a</i>	0,947(0,085)	
Pós-graduação	C	5	34	Ausente	$62,61 \pm 10,12$ <i>b</i>	0,921(0,071)	0,008(0,928)
		6	32	Presente	$75,34 \pm 8,79$ <i>a</i>	0,979(0,782)	
	A	7	14	Ausente	$64,60 \pm 21,12$ <i>a</i>	0,922(0,234)	3,699(0,065)
		8	16	Presente	$71,34 \pm 10,53$ <i>a</i>	0,941(0,359)	

¹Médias de turmas seguidas por letras distintas em cada disciplina diferem-se entre si pelo teste *t* de Student para amostras independentes a 0,05 de significância; *n*: Tamanho da amostra; CX: *Classroom eXperience*; $\bar{x} \pm s$: Média e desvio padrão; *W*: Estatística do teste de Shapiro-Wilk; *F*: Estatística do teste de Levene; (*P*): Probabilidades maiores que 0,05 indicam resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas para os testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente.

Todas as amostras analisadas apresentaram normalidade de resíduos e homogeneidade de variâncias entre as disciplinas. Embora as médias das turmas que tiveram contato integral com o CX tenham sido aparentemente maiores, houve aumento de desempenho significativo apenas entre os alunos de graduação que cursaram as disciplinas B e C. As médias das turmas que cursaram a disciplina A, tanto na graduação quanto na pós-graduação, não apresentaram diferenças expressivas. Entretanto, na pós-graduação, houve uma redução considerável do desvio padrão (de 32,7% para 14,8%), o que permite compreender que os alunos passaram a estudar o conteúdo a partir de uma fonte em comum e isso garantiu um maior nivelamento entre as notas da turma.

Com o intuito de melhorar o entendimento dos dados apresentados na Tabela 4.1, construíram-se *Boxplots* das turmas observadas (Figura 4.1). No diagrama gerado, o eixo horizontal foi responsável pela representação das amostras e o vertical ilustrou a variável sob análise. As linhas que dividem as caixas ao meio são as medianas amostrais e as partes coloridas acima e abaixo das medianas são limitadas por quartis superiores e inferiores. Essas três marcações fazem a separação das amostras em quatro partes, representando, cada uma, 1/4 dos dados observados. Após os quartis, há linhas que seguem até barras horizontais (chamadas fios de bigode), que ilustram os valores 25% maiores e menores da amostra. Por isso, a caixa limitada pelos quartis representa 50% das observações, sendo as que se encontram mais próximas à mediana (Triola, 2011).

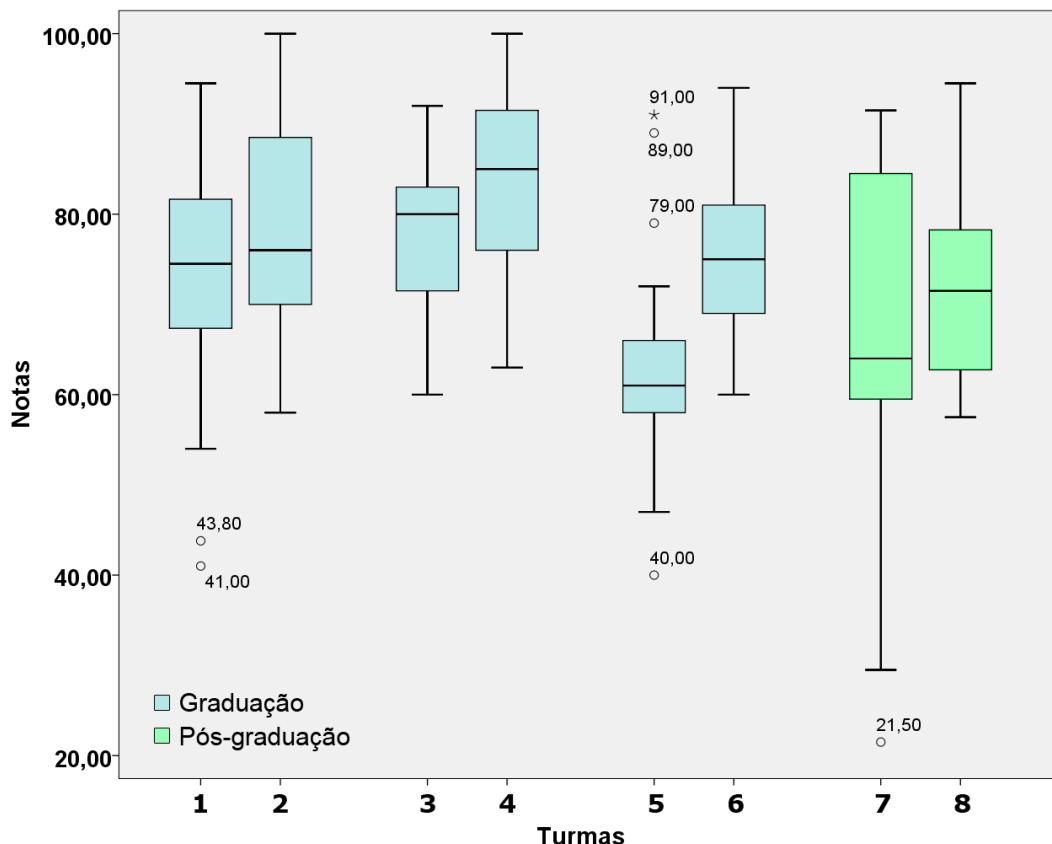


Figura 4.1: *Boxplots* das turmas analisadas na Tabela 4.1.

Apesar das turmas que utilizaram o CX terem obtido médias maiores que as de seus pares, as amostras 1 e 2 apresentaram uma diferença irrisória entre suas medianas. Além disso, abaixo dos quartis da primeira turma, há duas observações afastadas das demais, sendo classificadas como *outliers*. Esses valores também são visíveis em outras amostras do diagrama e representam a variabilidade inerente à população estudada. Na quinta turma, acima de seus *outliers*, há um valor estilizado de maneira diferente dos demais, sendo caracterizado como um extremo, ou seja, uma observação que é pelo menos três vezes maior que o intervalo entre os quartis inferior e superior desta turma. Os fios de bigode da sétima amostra comprovam o tamanho desproporcional do seu desvio padrão (visto na Tabela 4.1) e a considerável redução dessa medida na amostra 8. No entanto, a redução do desvio padrão e aumento da média na oitava amostra não foram expressivos o suficiente para que houvesse diferença entre as notas da pós-graduação.

Também avaliou-se o desempenho de alunos que utilizaram o CX apenas durante a segunda metade dos semestres letivos. O teste de *SW* foi aplicado a esses dados e todas as amostras apresentaram resíduos com distribuição normal. Por se tratarem de cinco turmas que tiveram os mesmos elementos observados duas vezes, realizou-se o cálculo da diferença entre as notas obtidas nos 1º e 2º bimestres e aplicou-se o teste *t* de Student às diferenças resultantes (Tabela 4.2).

Tabela 4.2: Desempenho de turmas de graduação e pós-graduação quanto ao uso parcial do *Classroom eXperience* durante os bimestres do semestre letivo.

Disciplina ¹	<i>n</i>	Bimestre	CX	$\bar{x} \pm s$	$\bar{d} \pm s_d$	<i>W(P)</i>
Graduação	A 21	1º	Ausente	$25,64 \pm 7,27$ <i>b</i>	$8,74 \pm 10,08$	0,941(0,223)
		2º	Presente	$34,38 \pm 7,79$ <i>a</i>		
	B 28	1º	Ausente	$35,93 \pm 6,68$ <i>b</i>	$5,00 \pm 7,57$	0,949(0,189)
		2º	Presente	$40,93 \pm 5,17$ <i>a</i>		
Pós-graduação	C 31	1º	Ausente	$37,03 \pm 11,14$ <i>b</i>	$5,48 \pm 9,77$	0,980(0,822)
		2º	Presente	$42,51 \pm 7,04$ <i>a</i>		
	A 17	1º	Ausente	$30,15 \pm 11,82$ <i>a</i>	$4,11 \pm 8,26$	0,919(0,141)
		2º	Presente	$34,26 \pm 9,27$ <i>a</i>		
	B 17	1º	Ausente	$45,00 \pm 3,16$ <i>b</i>	$2,65 \pm 2,55$	0,963(0,690)
		2º	Presente	$47,65 \pm 2,57$ <i>a</i>		

¹Médias bimestrais seguidas por letras distintas em cada disciplina/turma diferem-se entre si pelo teste *t* de Student uniamostral a 0,05 de significância; *n*: Tamanho da amostra; CX: Classroom eXperience; $\bar{x} \pm s$: Média e desvio padrão; $\bar{d} \pm s_d$: Diferença média e desvio padrão da diferença; *W*: Estatística do teste de Shapiro-Wilk; (*P*): Probabilidades maiores que 0,05 indicam resíduos com distribuição normal para o teste de Shapiro-Wilk.

Todas as turmas de graduação observadas apresentaram aumentos significativos em seus desempenhos, mesmo utilizando o sistema parcialmente durante o semestre. Na pós-graduação, enquanto os alunos que frequentaram a disciplina B obtiveram aumentos expressivos nas notas, a turma A não demonstrou diferença entre os bimestres. Com exceção da turma de graduação que cursou a disciplina A (na qual tanto a média quanto o desvio padrão elevaram-se), todas as demais amostras apresentaram aumento em suas médias e decréscimo nos desvios padrões. Esses resultados fortalecem a premissa de que o uso do sistema no decorrer do 2º bimestre gerou uma elevação e maior nivelamento das notas obtidas pelos alunos, conforme demonstrado pelos Boxplots da Figura 4.2.

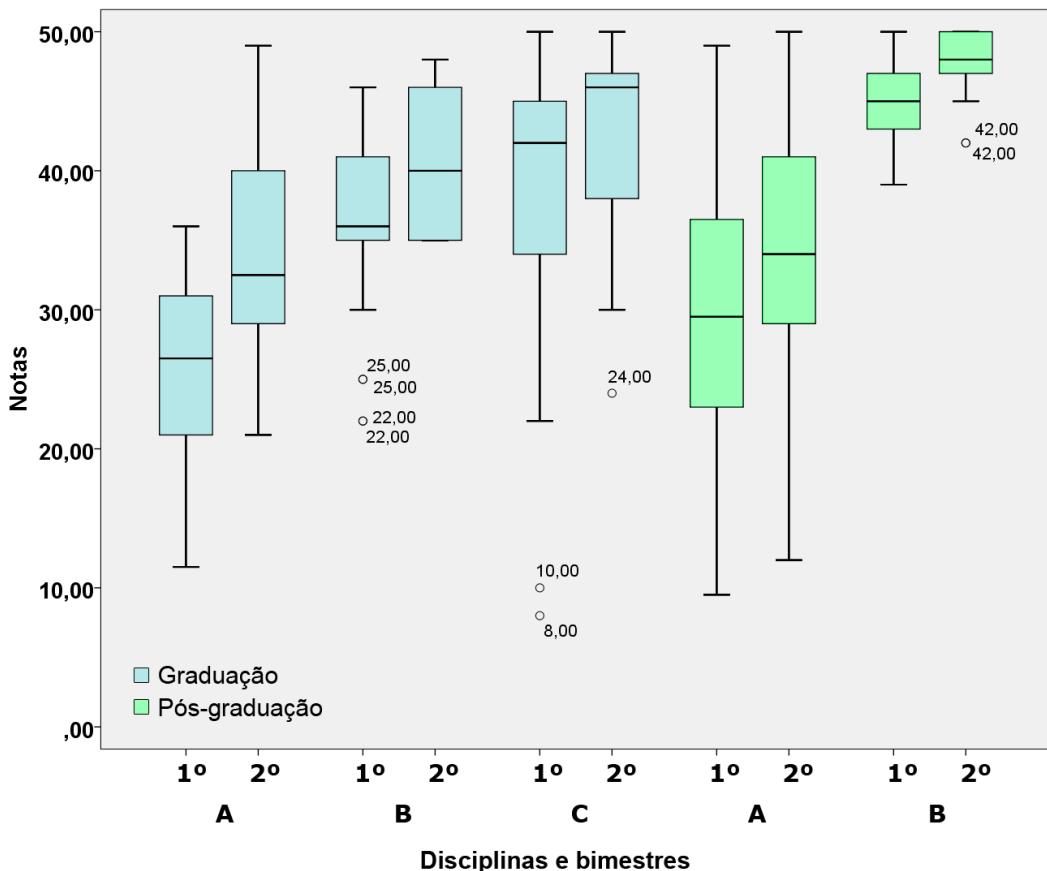


Figura 4.2: Boxplots das turmas analisadas na Tabela 4.2.

A maioria das amostras de 2º bimestre (nas quais o CX foi empregado) apresentou observações com o máximo de rendimento possível entre alunos (50 pontos), junto a aumentos em suas medianas e quartis inferiores. A turma de pós-graduação que cursou a disciplina A também obteve elevação nas médias e redução do desvio padrão, todavia, tais diferenças não se mostraram expressivas, pois a alta variabilidade das notas permaneceu no 2º bimestre, conforme ilustrado por seus fios de bigode.

Sintetizando, tanto entre amostras em que o uso do CX foi integral quanto naquelas que utilizaram parcialmente o sistema, turmas de graduação obtiveram maiores taxas de aumento de desempenho. Dentre as quatro turmas que tiveram contato com o CX durante

todo o semestre, três eram compostas por alunos de graduação e duas dessas apresentaram elevações significativas entre as notas, enquanto na pós-graduação não houve qualquer diferença. Entre as amostras que utilizaram parcialmente o CX, todas as turmas de graduação tiveram aumentos expressivos em suas médias, ao passo que na pós-graduação apenas metade apresentou diferença entre os bimestres.

4.2.2 Assiduidade

Dos 316 alunos observados no decorrer da pesquisa, 214 tiveram contato integral ou parcial com o CX. Destes, 198 registraram-se no sistema para visualizar as aulas capturadas, resultando em 92,5% de usuários cadastrados entre os alunos que utilizaram o CX durante os semestres letivos. Para melhor compreender a assiduidade desses discentes, optou-se por analisar a presença diária dos alunos e suas frequências de acesso ao sistema. Desse modo, foi possível investigar se o emprego da tecnologia educacional ocasionou algum declínio na presença dos alunos em sala de aula.

A Figura 4.3 apresenta um gráfico de linhas com o fluxo de assiduidade semanal das três turmas de graduação que cursaram a disciplina A. Cores distintas foram utilizadas para classificá-las de acordo com a utilização *integral*, *parcial* ou *ausente* do CX em seus cotidianos. Tomando por base que os semestres letivos possuíram em média vinte semanas de duração, foi possível compreender os diferentes níveis de presença que os discentes tiveram no decorrer dos períodos observados.

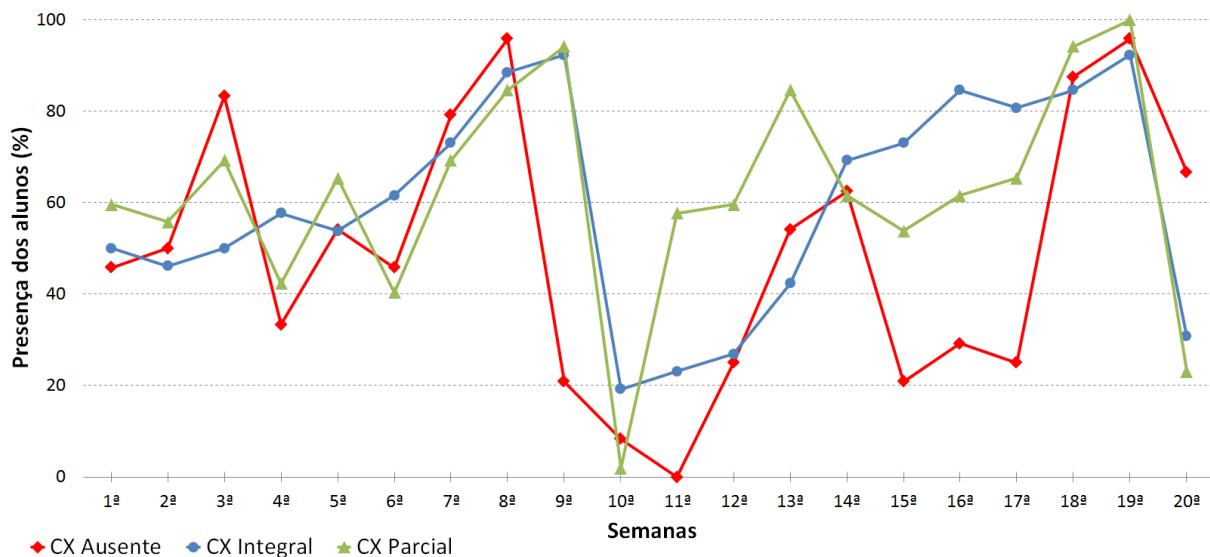


Figura 4.3: Frequência em turmas de graduação que cursaram a disciplina A.

A frequência relativa das presenças (de 0% a 100%) foi representada no eixo vertical, enquanto o horizontal ilustrou as vinte semanas que foram analisadas. Ao início dos três semestres letivos houve cerca de 50% de inassiduidade, algo já esperado devido ao comportamento dos discentes nas primeiras semanas. A partir da terceira semana, observou-se

que a turma que não teve contato com o sistema (*CX Ausente*) começou a apresentar variações constantes e abruptas na assiduidade, sendo possível observar picos e sopés no decorrer de todo o semestre. O primeiro ápice desta turma (na oitava semana) aconteceu em razão da avaliação bimestral, algo que se repetiu com a mesma intensidade quando as provas do segundo bimestre se aproximaram (na décima nona semana).

A presença da turma que utilizou o sistema durante todo o semestre (*CX Integral*) cresceu gradativamente até as semanas de provas de ambos os bimestres (nona e décima nona semanas, respectivamente). Logo após as avaliações, houve uma queda de presença perceptível em todas as turmas – um fenômeno justificável por este período normalmente compreender atividades como correções de provas e disponibilização de notas, algo que leva os alunos a faltarem mais. Após a alta taxa de faltas que sucedeu o período inicial de avaliações, a turma que não utilizou o *CX* apresentou um crescimento veloz em sua assiduidade, que novamente caiu e se ergueu em seguida. Os alunos que tiveram contato com o sistema por todo o semestre passaram por um processo mais gradativo de recuperação da frequência e mantiveram essa progressão até a avaliação final. A turma que teve contato parcial com o *CX* fez seu uso apenas no segundo bimestre, por isso percebe-se que os picos de assiduidade após a primeira prova registraram níveis maiores de presença e uma média mais estável, se comparada aos saltos observados no primeiro bimestre.

Também analisaram-se as presenças de turmas de pós-graduação no decorrer dos semestres letivos. Na Figura 4.4, a frequência relativa da assiduidade entre alunos de mestrado e doutorado que cursaram a disciplina A foi visivelmente maior que a de turmas de graduação, mantendo-se acima de 80% na maior parte das semanas observadas.

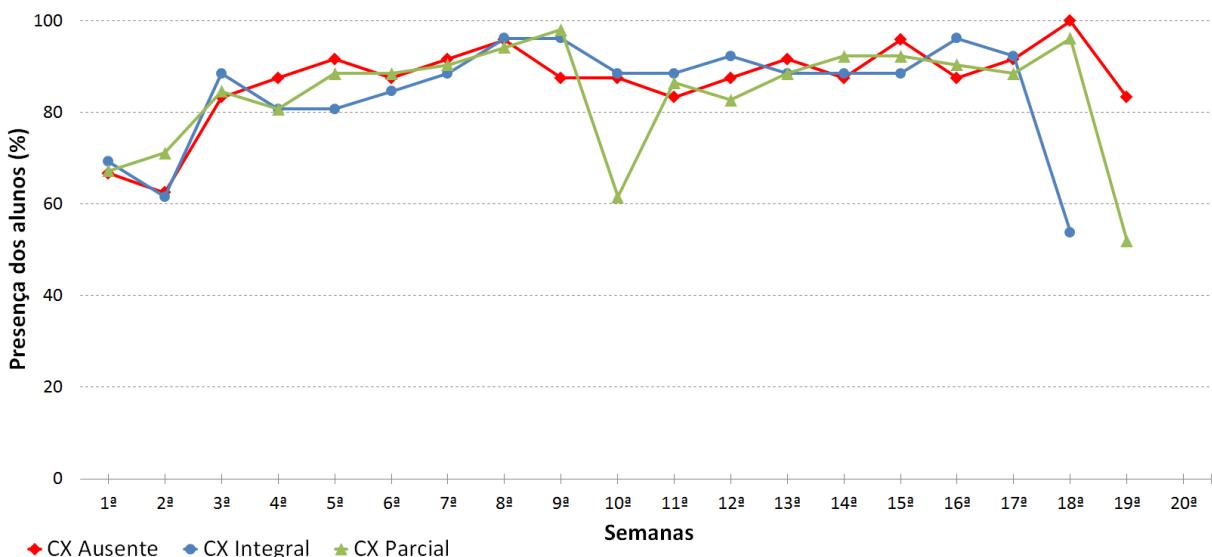


Figura 4.4: Frequência em turmas de pós-graduação que cursaram a disciplina A.

Percebeu-se que entre a oitava e nona semanas houve picos de acesso que se repetiram ao final do semestre, representando os dias em que houve avaliações. Além disso, as quedas de presença que sucederam épocas de provas foram menores que as de turmas de

graduação e em pouco tempo os níveis de assiduidade elevaram-se novamente, mantendo-se acima de 90% em alguns casos. As demais turmas de graduação e pós-graduação que frequentaram as disciplinas B e C também foram analisadas durante os semestres letivos e apresentaram frequências de presença similares às que cursaram A. Os gráficos de linhas que ilustram todas as turmas podem ser vistos no Apêndice C desta dissertação.

No decorrer de quatro semestres, 2103 acessos foram realizados ao sistema, sendo 1696 efetuados por alunos matriculados nas disciplinas e 407 feitos pelos professores. Dentre as treze turmas avaliadas, quatro utilizaram o sistema integralmente e cinco fizeram seu uso apenas durante o segundo bimestre, totalizando nove turmas que tiveram contato com o CX. A Figura 4.5 apresenta a quantidade de acessos que as turmas que frequentaram a disciplina A realizaram ao sistema durante seus períodos letivos.

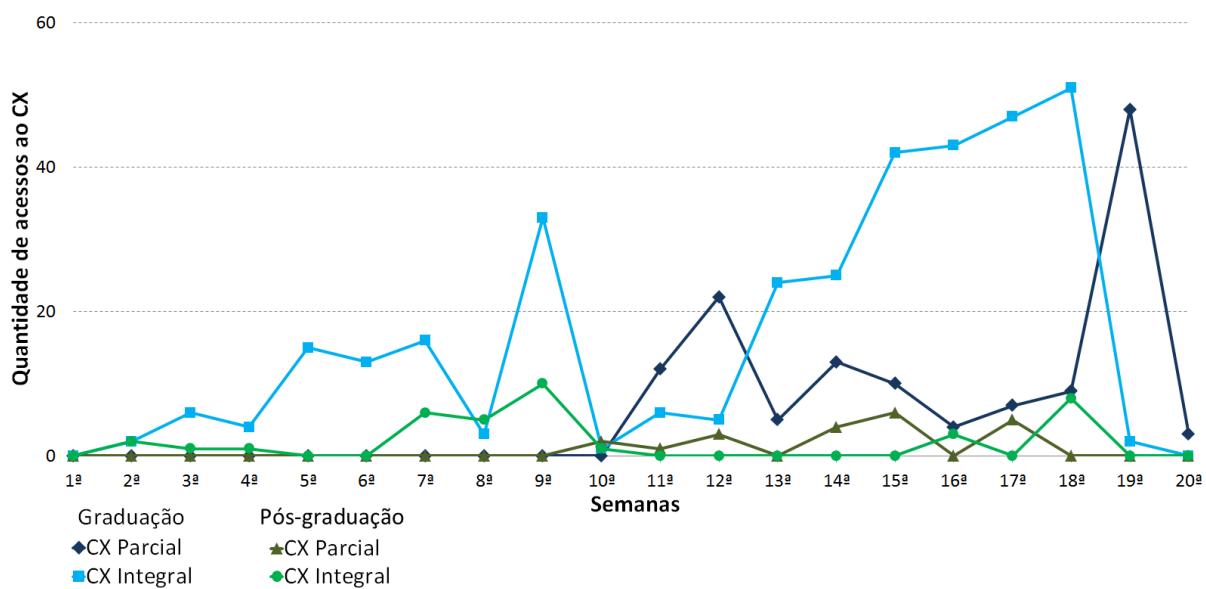


Figura 4.5: Quantidade de acessos ao sistema por turmas de graduação e pós-graduação que cursaram a disciplina A.

As turmas de graduação apresentaram taxas de acesso ao sistema maiores que as de pós-graduação em todos os semestres analisados. Entre alunos de mestrado e doutorado, percebeu-se que o CX não foi utilizado de maneira contínua, sendo acessado em poucas circunstâncias e por uma pequena quantidade de usuários. Isso se explica devido aos discentes de pós-graduação já possuírem seus próprios métodos de estudo, utilizando, por exemplo, *sites* confiáveis e bibliotecas físicas e digitais. A inserção de uma nova tecnologia neste escopo, portanto, acaba se configurando como apenas mais uma opção, diluindo sua importância e conveniência de uso do sistema.

Em contrapartida, na graduação observaram-se quantidades expressivas de acesso ao sistema no decorrer de todo o período observado. Nas primeiras semanas dos bimestres, os alunos se interessaram pela novidade e acessaram o CX para conhecer suas funcionalidades. Em seguida, os usuários permaneceram utilizando a ferramenta para estudarem os conteúdos capturados pelos professores durante as aulas e, nesses períodos, registrou-se

uma quantidade de acessos ininterrupta e bastante variável. Nas épocas de provas (nona, décima oitava e décima nona semanas), observaram-se picos de acesso ao sistema, pois os usuários realizaram a revisão da matéria utilizando o CX. Ao final dos bimestres, houve quedas gradativas no número de acessos, chegando a zero em todos os casos a partir da vigésima semana. Além das turmas que cursaram a disciplina A, também avaliaram-se as frequências de acessos ao CX das turmas que frequentaram B e C. No Apêndice C, é possível visualizar os gráficos de linhas de todas essas observações.

Ainda com relação à frequência de acessos realizados ao sistema, também observou-se quais foram os motivos que mais levaram os alunos a acessarem a interface Web do CX e a partir de quais locais originaram-se essas visitas. Nas Figuras 4.6 e 4.7, são ilustradas as informações dadas pelos alunos nos momentos em que acessaram o sistema e responderam a um mini formulário no qual, a cada visita, eram requeridas informações contextuais sobre como eles se encontravam naquela circunstância.

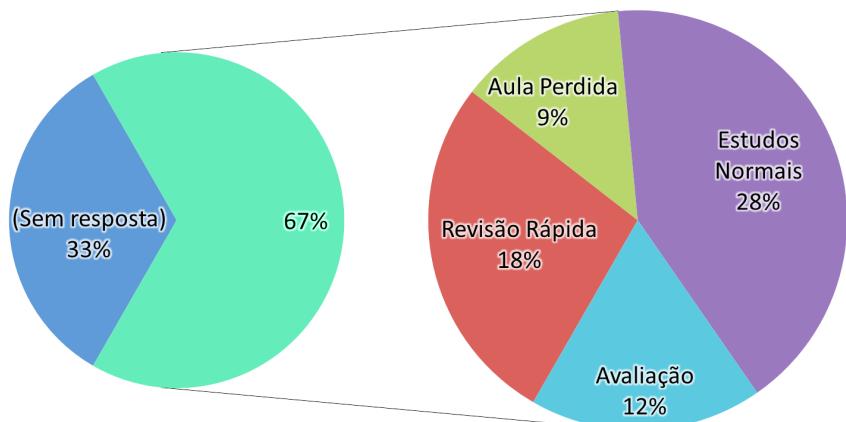


Figura 4.6: Motivos dos alunos terem acessado o sistema durante os semestres avaliados.

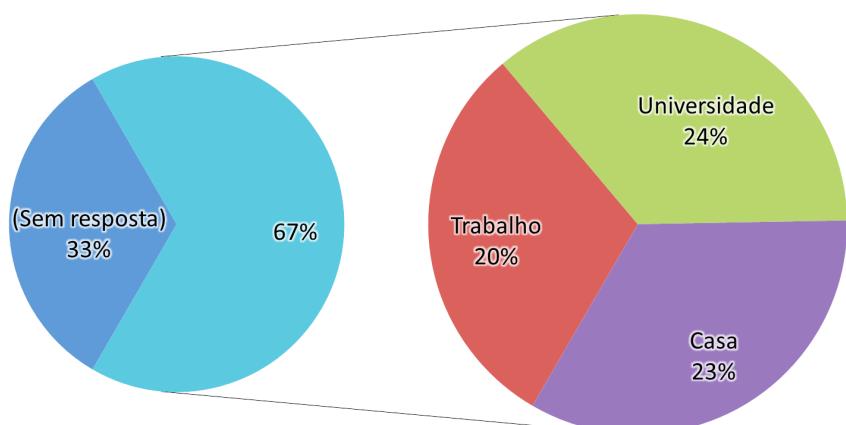


Figura 4.7: Locais de onde originaram-se os acessos ao sistema durante os semestres avaliados.

É possível observar nos círculos menores à esquerda que em 33% das visitas os usuários ignoraram o mini formulário de contexto de acesso. Tal fato se explica pelos alunos que acessaram o CX cotidianamente simplesmente terem fatigado-se de o preencherem a cada

visita e optarem por ignorá-lo. Entre as respostas válidas, a maioria dos alunos acessou o sistema para estudar normalmente enquanto estavam presentes na universidade, algo inesperado pois supunha-se que a taxa de acesso originada da instituição seria baixa, ao passo que mais visitas seriam realizadas a partir das casas dos alunos.

Percebeu-se, também, que os discentes utilizaram bastante o CX para revisões rápidas de conteúdo e estudos para avaliações, com o intuito de apurar seus conhecimentos sobre determinada matéria. Entretanto, em períodos próximos às provas, quando houve picos de acesso ao sistema, os usuários apresentaram tendência a não responder o mini formulário de contexto, o que parcialmente contradiz os dados ilustrados nos gráficos. Em razão disso, acredita-se que as informações obtidas por meio do mini formulário sofreram algum tipo de enviesamento, já que os demais parâmetros contextuais – aferidos automaticamente – mostraram-se de acordo com o modo que os acessos ao sistema aconteceram e diferiram-se apenas dos dados informados manualmente. Isso leva à necessidade de se automatizar a maneira que essas informações são coletadas, para que elas não se oponham às demais e nem sejam perdidas devido à displicência que os usuários têm de informar repetidamente esses parâmetros a cada acesso.

4.2.3 Impressões

Questionários foram utilizados para se identificar e analisar as impressões que professores e alunos tiveram sobre o CX. Com o intuito de refinar essas informações, aplicaram-se perguntas específicas para cada tipo de usuário. Para os docentes, evidenciaram-se detalhes sobre a etapa de pré-produção do sistema – em que é necessário cadastrar o material que será utilizado durante as aulas – e a respeito da tarefa de se capturar os conteúdos expostos durante atividades acadêmicas. Para os alunos, os questionários envolveram perguntas sobre o curso e período que frequentavam, além de impressões relativas à interface do CX e sobre a influência que ele causou em suas rotinas discentes.

Dos 4 professores envolvidos na pesquisa, 3 responderam ao questionário; ao passo que entre os 214 discentes que utilizaram o sistema, 117 deram suas impressões. Com o objetivo de minimizar respostas mal intencionadas de alunos, fez-se o uso de técnicas de legitimação de respostas utilizando tanto a negação de alternativas – de modo que as informações-chave do questionário tiveram suas ideias presentes em mais de uma pergunta, sendo apresentadas de maneira aparentemente oposta (Huang *et al.*, 2012) – quanto limites inferiores temporais – pois um período mínimo de tempo era necessário para se ler, compreender e responder as questões apresentadas (Meade e Craig, 2012). Dado o fato que os professores denotam maior comprometimento com as pesquisas e seriedade em suas respostas, não se utilizou técnicas para filtrar as réplicas desses usuários.

O questionário dos professores foi composto por uma lista de 30 afirmativas que apresentaram diversos pontos de vista sobre o sistema, sucedidas por uma questão aberta

na qual os docentes deveriam informar críticas e sugestões pessoais. Junto a cada afirmativa, posicionou-se uma *Escala Likert* de 5 pontos com as possíveis impressões que o discente poderia informar a respeito daquela asserção. Essas respostas ilustraram o nível de concordância que cada usuário teve com base nas afirmativas expostas, variando entre *Discordo*, *Discordo Parcialmente*, *Neutro*, *Concordo Parcialmente* e *Concordo*. As 30 afirmativas utilizadas nos questionários são listadas a seguir:

1. Eu gostaria de usar o CX com mais frequência.
2. Achei complicado realizar a captura das aulas.
3. No CX as mensagens de erro e ajuda são adequadas.
4. O CX travou muito comigo.
5. Percebi que os alunos se interessaram pela nova maneira que as aulas foram dadas.
6. Ter de fazer o *upload* dos slides antes das aulas é muito trabalhoso.
7. A maneira que as informações são apresentadas no CX é organizada.
8. Meus *slides* perdem muito a qualidade quando utilizo o CX.
9. Eu não tive problemas para criar e fazer a gravação de novas aulas.
10. Achei completamente inútil cadastrar avaliações no CX.
11. A maioria das pessoas pode aprender a usar o CX rapidamente.
12. Após a gravação das aulas, a sincronização do conteúdo demora bastante.
13. Eu me senti confiante enquanto utilizava o CX durante as aulas.
14. Não acesei novamente minhas aulas após a gravação.
15. Eu resolvi exercícios e escrevi sobre a lousa em sala de aula.
16. Achei difícil fazer anotações e navegar pelos *slides* durante as aulas.
17. Usar o CX me estimulou a aumentar o nível de debate nas aulas.
18. Durante as aulas, fiquei perdido(a) várias vezes enquanto usava o CX.
19. Percebi que os alunos participaram mais das aulas.
20. Precisei mudar completamente a minha didática para usar o CX.
21. Eu recomendaria o CX para outros professores.
22. Precisei de muito tempo para aprender a gravar as aulas.
23. Acessei o CX posteriormente para ver como os *slides* ficaram depois das anotações.
24. É chato ter de configurar a lousa e iniciar a gravação no início de cada aula nova.
25. Encorajei e chamei alunos para também usarem a lousa durante as aulas.
26. Achei complicado adicionar novas turmas e aulas no CX.

27. Eu gostei do modo que o conteúdo é apresentado depois de gravado.
28. Acredito que eu não me adaptaria a usar o CX frequentemente.
29. Dar aulas utilizando o CX é interessante e dinâmico.
30. Achei o CX frustrante de se usar.

Tais afirmativas foram analisadas pelos professores que utilizaram o sistema durante os semestres letivos. Com base nessa experiência, eles informaram seus níveis particulares de concordância para cada uma das asserções. O resultado do questionário pode ser observado na Figura 4.8, que ilustra todas as respostas apresentadas pelos professores. Com o intuito de melhorar o entendimento do gráfico, as impressões dos docentes foram agrupadas por tópico e alinhadas numa escala relativa, criada para representar os níveis de concordância obtidos nas afirmativas.

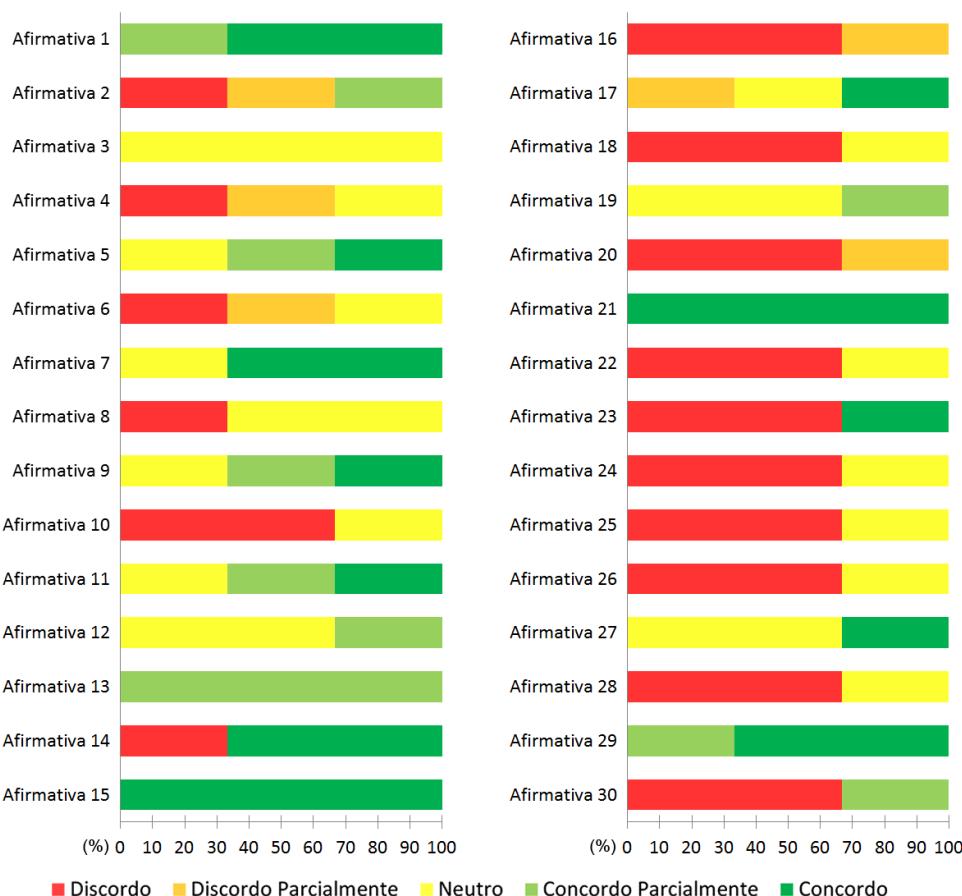


Figura 4.8: Nível de concordância dos professores com relação às afirmativas presentes nos questionários.

As afirmativas pares do questionário foram caracterizadas por ideias de descontentamento com o CX, tais como dificuldades ao se utilizar o sistema, necessidade de mudanças na interface e frustrações com suas funcionalidades. As ímpares apresentaram afirmações positivas, como a vontade de se usar o sistema com frequência e o estímulo que ele causou na sala de aula, melhorando a participação dos alunos. Em função disso, esperou-se que

as respostas tendessem mais para discordâncias nos tópicos pares e concordâncias nos ímpares, representando impressões similares em ambas as vertentes.

Conforme visto na Figura 4.8, todos os professores sentiram-se confiantes ao usar o CX durante as aulas e empregaram-no não somente para repassar suas matérias, mas também para resolver exercícios e fazer comentários sobre os conteúdos apresentados. Consideraram seu uso interessante e dinâmico e não acharam difícil inserir anotações e navegar pelos *slides* durante as aulas, informando, também, que não sentiram-se perdidos ao utilizá-lo, nem precisaram mudar suas didáticas para empregar o sistema. A maioria optou por não chamar alunos para utilizarem o CX durante as aulas e não teve interesse em acessar posteriormente a interface para ver como os *slides* ficaram após as anotações, mas todos concordaram que se adaptariam a usar o sistema com maior frequência e sentiram interesse em recomendá-lo para outros professores.

Com relação ao espaço reservado para críticas e sugestões, foram obtidas as seguintes respostas¹ dos professores que utilizaram o sistema:

- I. “*Sugestões: disponibilização das aulas gravadas em formato pdf (solicitado por alunos que queriam estudar offline). Tornar possível visualizar os alunos cadastrados nas disciplinas. Deixar mais claro os procedimentos a ser seguidos caso uma aula seja armazenada localmente. Em alguns momentos que isso ocorreu eu não consegui recuperar/capturar a aula dada. Comentários: Concordo que o CX ajuda muito nas aulas com slides e com certeza eu voltaria a utilizá-lo. Acredito que as aulas ficaram mais dinâmicas do que apenas com a projeção dos slides.*”
- II. “*Parabéns pela iniciativa. A ferramenta é muito útil e prática. Apenas sugiro que melhorem as interfaces de captura/gravação de modo a torná-las mais diretas. Certamente, ajudaria muito o fato de se acrescentar um segundo processador que permita usar um dos quadros para projeção e o outro para escrever (ao invés de dividir tela com as duas finalidades). Gostaria de poder continuar contando com o sistema.*”
- III. “*Gostei muito de usar o sistema. Uma sugestão é dar a opção ao aluno de fazer o download da aula sem precisar acessar ao sistema. Esse foi um pedido de todos os alunos. Como tema de pesquisa, sugiro investir em organizar as anotações produzidas de acordo com diferentes objetivos: recomendar melhorias no próprio curso, relembrar pontos mais importantes, reorganizar conteúdo do curso, etc, etc...*”

De modo geral, os comentários dos docentes foram favoráveis. Todos os professores gostaram de utilizar o sistema e o consideraram bastante útil. Algumas falhas foram relatadas e melhorias foram sugeridas, o que permite um melhor planejamento dos próximos passos que devem ser dados para enriquecer ainda mais o CX.

¹Textos reproduzidos de modo fiel às respostas dos professores envolvidos.

Para os alunos, aplicou-se um questionário composto por uma lista de 18 afirmativas sucedidas por duas questões nas quais eles deveriam informar os motivos que mais os levaram a utilizar o CX e suas críticas e sugestões sobre o sistema. As afirmativas utilizadas nesses questionários são listadas a seguir:

1. Eu recomendaria o CX e gostaria de utilizá-lo com mais frequência.
2. O uso do CX não aumentou meu interesse pelas aulas da disciplina.
3. As funcionalidades e informações do CX estão bem integradas e organizadas.
4. Achei difícil utilizar o CX.
5. O uso do CX pelo professor me estimulou a ir às aulas e estudar mais.
6. Para se fazer qualquer coisa no CX são necessários muitos passos.
7. É agradável visualizar as aulas que foram gravadas pelo CX.
8. Mesmo com as aulas sendo gravadas, ainda anoto tudo o que o professor diz.
9. No CX as mensagens de erro e ajuda são adequadas.
10. Achei o CX muito complicado e não o indicaria para meus colegas.
11. O CX me permitiu prestar mais atenção nas aulas e explicações do professor.
12. As informações e atividades estão desorganizadas no CX.
13. Eu me senti confiante usando o CX.
14. Nem sinto mais vontade de assistir às aulas presencialmente, pois elas são gravadas.
15. A maioria das pessoas pode aprender a usar o CX rapidamente.
16. Eu acho que há inconsistências no CX.
17. Eu gostei do modo que as aulas são gravadas e o conteúdo é apresentado.
18. Achei o CX frustrante de se usar.

Após o período de aplicação dos questionários, um limite inferior temporal de dois minutos e trinta segundos foi empregado para analisar as 117 respostas obtidas e percebeu-se que em 11 delas o tempo gasto para respondê-las havia sido abaixo dessa limitação. Este limite foi determinado preliminarmente, por meio da aplicação do mesmo questionário (sem a questão de críticas e sugestões) para um grupo reduzido de estudantes. O limite inferior foi obtido ao se calcular a média de tempo gasto pelos indivíduos e arredondá-la para baixo, resultando num período mínimo para usuários responderem corretamente as questões. Devido a maior possibilidade das respostas abaixo deste tempo terem sido informadas de maneira mal intencionada, optou-se por removê-las da análise final da pesquisa. Na Figura 4.9, é possível observar a proporção de alunos matriculados em cada curso que compuseram as respostas válidas dos questionários aplicados.

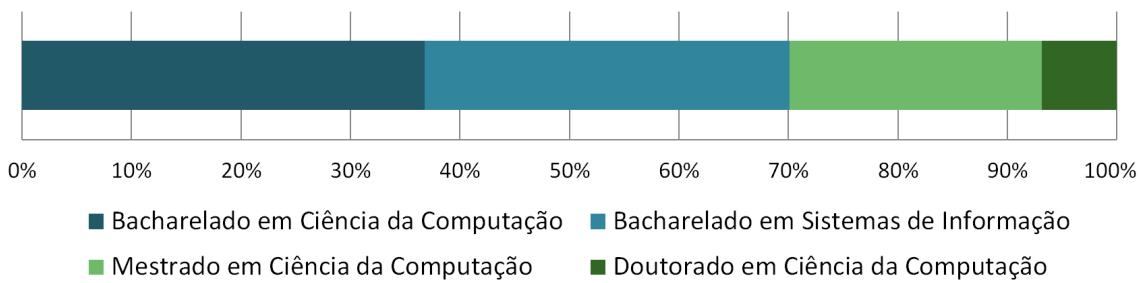


Figura 4.9: Proporção dos cursos frequentados pelos discentes que responderam ao questionário.

Posteriormente, utilizou-se a métrica de negação de alternativas sobre os tópicos que tratavam da mesma ideia de maneira aparentemente oposta. As afirmativas utilizadas para este fim foram, respectivamente, 1 e 10 (que versaram sobre a frequência de uso do sistema e sua recomendação para colegas), 2 e 11 (sobre o nível de interesse nas aulas que os professores utilizaram o CX), 3 e 12 (relativas à organização das informações presentes nas telas da interface), 4 e 13 (acerca da facilidade e confiança de se usar o sistema) e 5 e 14 (sobre os alunos sentirem-se estimulados a frequentarem as aulas).

Em cada par de itens, esperava-se que os alunos respondessem com opiniões distintas, dado que em cada um deles havia tanto ideias de descontentamento quanto afirmações positivas a respeito do mesmo tema. Para verificar as afirmações opostas, realizou-se a inversão do segundo item de cada par e calcularam-se os resultados obtidos de maneira conjunta, com o intuito de evidenciar ou anular as respostas dadas no primeiro item. Os resultados obtidos após a aplicação dessas técnicas de legitimação podem ser observados na Figura 4.10, que apresenta os níveis de concordância dos alunos com relação às afirmativas respondidas e os motivos que mais os levaram a acessar o sistema.

A maioria dos alunos não apresentou dificuldades em utilizar o CX e informou que recomendaria seu uso para os colegas, demonstrando também interesse em utilizá-lo com mais frequência. As funcionalidades do sistema e mensagens de erro/ajuda presentes na interface foram consideradas organizadas e bem integradas por grande parte dos discentes, que sentiram-se confiantes ao fazer seu uso. Esse contingente também informou que prestou mais atenção nas explicações dos professores que utilizaram o sistema durante as aulas, declarando que a gravação dos conteúdos não os desestimulou a assistirem presencialmente as disciplinas e até incentivou-os a estudar mais determinados conteúdos. Grande parte dos alunos informou que a maioria das pessoas pode aprender a usar o sistema rapidamente, declarando, também, que gostaram do modo que as aulas foram gravadas e não consideraram o CX frustrante de se utilizar.

Sobre os motivos que mais levaram os discentes a acessarem o sistema, 46,2% das respostas informou que seu uso foi mais empregado durante estudos para as avaliações. Essa informação confirma os dados anteriormente obtidos na Figura 4.5, em que picos de acesso ao sistema foram observados em épocas próximas às provas bimestrais, mas

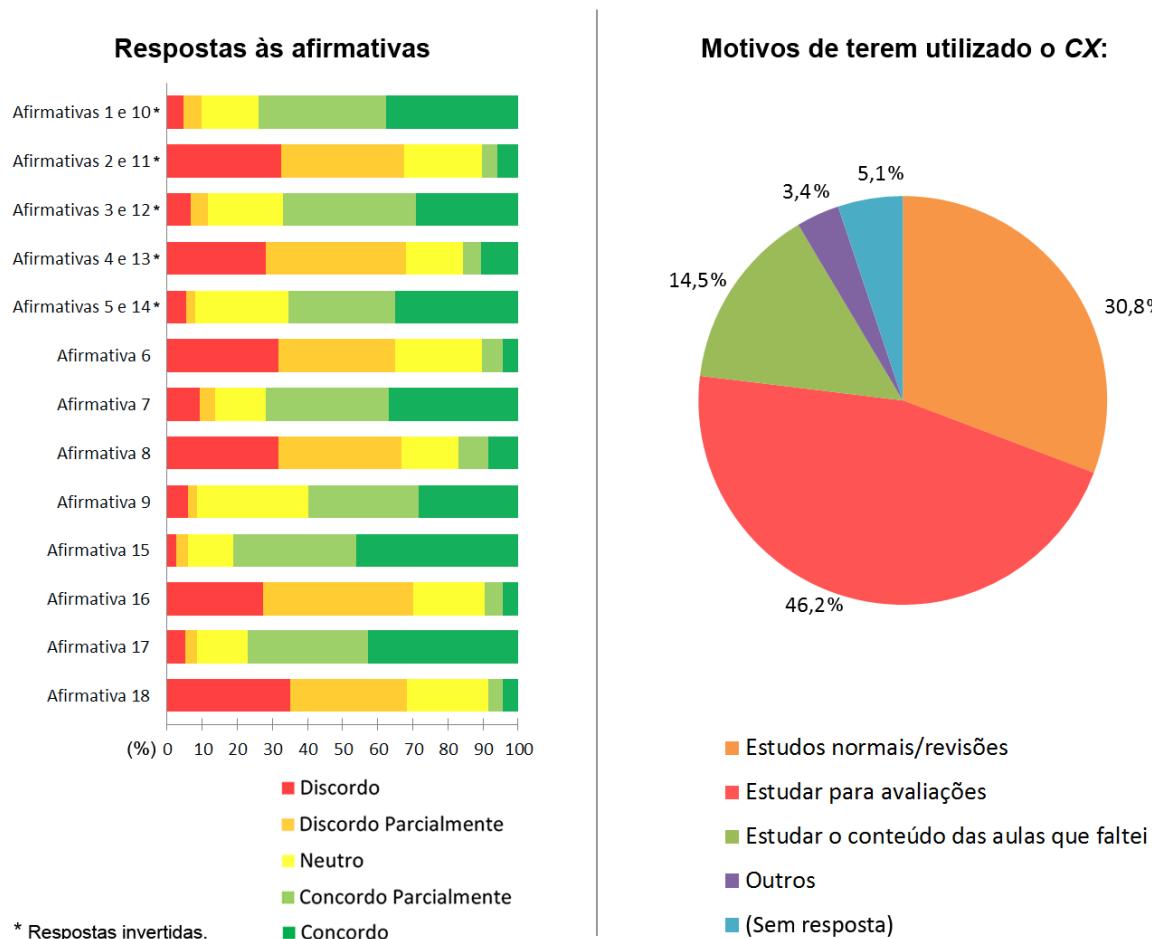


Figura 4.10: Nível de concordância dos alunos com relação às afirmativas dos questionários e motivos que os levaram a acessar o CX.

parcialmente diverge da Figura 4.6, na qual o maior motivo observado foi referente a estudos normais, seguido por revisões de conteúdo. Devido aos questionários terem sido legitimados e possuir-se maior certeza das respostas obtidas por este meio, acredita-se que suas informações representem melhor a veracidade dos motivos de acesso.

Embora os *logs* de contexto de acesso possuam os dados de todas as visitas que o sistema recebeu no decorrer dos semestres observados (e essa quantidade pode ter sido composta por mais acessos ordinários), os resultados obtidos utilizando-se meios que foram legitimados se mostram mais fiéis às demais vertentes que foram analisadas. Portanto, acredita-se que o maior motivo de uso do CX foi com relação a estudos que alunos realizaram para se preparar para as provas das disciplinas.

A respeito das críticas e sugestões dos discentes, as seguintes respostas² foram obtidas dos alunos que tiveram contato com o sistema no decorrer dos semestres:

I. “Podia ter uma maneira de baixar os slides.”

II. “Poderia deixar de ser somente online. Permitir estudos offline. Imprimir aulas.”

²Textos reproduzidos de modo fiel às respostas dos alunos envolvidos.

- III. “Achei legal porque prestei mais atenção na aula e não precisei ficar copiando.”
- IV. “O sistema não funcionou aos finais de semana e uma vez nem em aula. Acho que está um pouco instável, mas gostei do que ele faz.”
- V. “É muito no sentido de revisar o que o professor deu na aula. Pois podemos voltar quantas vezes forem necessárias e revisar algo que ele tenha dito/escrito na sala.”
- VI. “Colocar o lápis da cor que o usuário escolher e não deixar padrão (Azul). Colocar uma mensagem que diga ao professor e alunos quanto tempo ainda falta para armazenar as informações no banco de dados, pois muitas vezes não sabemos se está dando certo ou não e esse processo é demorado.”
- VII. “Gravar as falas do professor. A caneta deve ter usabilidade melhor (tempo de resposta da mesma ao escrever no quadro ainda apresenta certo delay). Professores deveriam ser treinados ou ter a disposição um material que lhe permite saber todas as funcionalidades da ferramenta e como usá-las. O mesmo material poderia ser liberado aos alunos.”
- VIII. “Os professores ainda não estão aptos a usar a ferramenta de forma eficiente. A interface poderia ser melhorada. No demais, muito bom. Parabéns!”
- IX. “Sugestão: Os arquivos são salvos como imagem. Portanto, seria interessante converter para pdf, para que possamos baixar os arquivos. Crítica: Indisponibilidade do serviço, principalmente aos finais de semana, por conta da infraestrutura da UFU.”
- X. “Eu gostei de usar o sistema pra estudar. Mas acho que não usei tudo o que o sistema tem, pois só estudei uma matéria.”
- XI. “O sistema fica mto indisponível nos finais de semana.”
- XII. “Não dá pra acessar no fds.”
- XIII. “Usei poucas vezes, mas a ideia é legal. Houve algumas instabilidades durante o uso, mas quero ver o sistema novamente no futuro. Gostei.”

As críticas mais frequentes observadas entre alunos dizem respeito à possibilidade de se baixar o conteúdo gravado em sala e a indisponibilidade que o CX apresentou durante alguns períodos. A respeito do *download* de arquivos capturados, uma funcionalidade para este fim se encontra em desenvolvimento pela equipe. Com relação à indisponibilidade que o sistema apresentou, tal problema ocorre devido a própria rede da universidade na qual a pesquisa foi realizada apresentar eventuais instabilidades que estão além do alcance dos pesquisadores envolvidos na investigação. Outra carência a ser suprida diz respeito à refinação das mensagens de estado do CX, atentando-se para circunstâncias em que as aulas gravadas são sincronizadas com o servidor. Além disso, um período maior inicial para treinamento dos professores provavelmente necessite de mais atenção, junto ao desenvolvimento de material didático sobre como se utilizar o sistema.

4.3 Trabalhos Relacionados

As aplicações de C&A são um tema de pesquisa recorrente no âmbito da *UbiComp* aplicada à educação, pois possibilitam a criação de *Ambientes Educacionais Ubíquos (AEUs)* e automatizam os processos de ensino e aprendizagem gerando benefícios para usuários dentro e fora das salas de aula (Aihua, 2010; Cook e Das, 2012; Graf *et al.*, 2012). Na literatura, é possível encontrar trabalhos que investigam linhas de raciocínio paralelas, explorando comportamentos de usuários em contato com os AEUs (Settle *et al.*, 2011; Smyth e Volker, 2013) e fatores como o rendimento e a frequência de alunos (Dickson *et al.*, 2012; Euzent *et al.*, 2011; Wieling e Hofman, 2010) e as impressões de professores (Danielson *et al.*, 2014; Prodanov, 2012).

Dentre os trabalhos observados, a maioria se mostrou voltada para a avaliação de estudantes de graduação (Dickson *et al.*, 2012; Smyth e Volker, 2013; Wieling e Hofman, 2010). Isso se justifica pelas investigações nessa área precisarem considerar as diferentes particularidades dos indivíduos – como seus níveis de escolaridade e estilos de aprendizagem –, atentando-se para fatores que demonstram as nuances que os métodos educacionais possuem em lugares diferentes. Na presente pesquisa, analisaram-se tanto discentes de graduação quanto de pós-graduação e, como resultado, perceberam-se melhores desempenhos entre graduandos do que pós-graduandos. Tal fato se mostra como um indicativo de que determinada faixa de discentes apresenta mais receptividade à inserção de novas tecnologias educacionais e o nível de escolaridade dos usuários tende a ser um fator de peso para refinar as investigações desta área.

Na literatura, o questionário foi a técnica de avaliação mais utilizada entre os trabalhos relacionados (Danielson *et al.*, 2014; Dickson *et al.*, 2012; Settle *et al.*, 2011; Smyth e Volker, 2013). Nessas investigações, os usuários que tiveram contato com os AEUs normalmente informaram suas impressões sobre as tecnologias e deram críticas e sugestões de novas funcionalidades para engrandecer os sistemas. Todavia, nos trabalhos em que a análise de dados baseou-se apenas nesse tipo de resposta, foi possível perceber que não houve métodos de validação regulares, o que acabou inibindo a correta verificação das informações e, eventualmente, gerou conclusões pretensiosas e refutáveis.

Em Settle *et al.* (2011), por exemplo, fez-se o uso de questionários para avaliar as impressões de alunos, mas não se aplicou técnicas para legitimar essas respostas. Ao se analisar o respaldo dos usuários, percebeu-se que a maioria demonstrou satisfação em acessar o sistema e que haviam compreendido melhor o conteúdo – o que naturalmente ocasionaria em rendimentos melhores. Em seguida, com o intuito de relacionar os resultados, empregaram-se técnicas estatísticas para analisar se os usuários que interagiram com o AEU realmente obtiveram notas melhores que os demais, mas ao final da etapa descobriu-se que não houve diferença significativa entre as turmas observadas. O trabalho então concluiu-se de maneira confusa, explicando que não foi possível afirmar que a

tecnologia resultou em benefícios pois os dados se mostraram contraditórios. Todavia, percebe-se que a investigação falhou no método de pesquisa empregado, já que apenas parte das informações foi corretamente validada.

No trabalho de Euzent *et al.* (2011) também examinou-se o rendimento de diferentes turmas que assistiram à mesma disciplina, atentando-se para o emprego do mesmo professor e método de avaliação. Numa das turmas utilizou-se uma nova abordagem de captura de aulas no semestre letivo, enquanto na outra as aulas foram lecionadas de modo clássico. O intuito do trabalho foi compreender se a gravação dessas aulas causava algum tipo de dano à maneira que o conteúdo era repassado aos alunos e se a aprendizagem seria prejudicada de algum modo. Ao final da pesquisa, mesmo com os dados sendo corretamente legitimados, não se observou diferença expressiva entre as notas finais das turmas, mas percebeu-se que a faixa de rendimento do segundo bimestre foi maior na turma que utilizou o sistema, o que permitiu a conclusão de não ter havido danos ou prejuízos para os alunos, mas tampouco ganhos significativos.

Neste trabalho, objetivou-se validar não apenas os resultados obtidos durante a análise do desempenho dos alunos, mas também as respostas informadas nos questionários aplicados. Deste modo, compreendeu-se que o maior ganho aconteceu entre alunos de graduação, pois crescimentos significativos nas notas apareceram entre quase todas as turmas que utilizaram o sistema integralmente e entre todas as que fizeram seu uso parcial. Essa informação foi ao encontro das respostas obtidas nos questionários, em que alunos informaram que o uso do CX foi capaz de aumentar seus interesses pelas aulas e estimulou-os a estudar mais os conteúdos. Tais resultados demonstram que, além do respaldo favorável relativo ao uso da tecnologia educacional entre graduandos, as técnicas empregadas nesta pesquisa se mostraram planejadas de maneira correta.

Sobre a assiduidade dos discentes, no trabalho de Preston *et al.* (2010) concluiu-se que as tecnologias educacionais não causam quedas na presença de alunos, mas que a própria frequência em sala de aula tem decaído como um todo nos últimos anos. Conforme Gysbers *et al.* (2011), aplicações educacionais têm sido injustamente acusadas de provocarem a inassiduidade de alunos, tendo na verdade procurado modificar a maneira que as aulas são ministradas para atrair discentes que estão desmotivados. Nesta pesquisa, as frequências de turmas que não tiveram contato com o sistema não apresentaram diferenças expressivas daquelas que usaram o CX parcial ou integralmente. Observou-se que houve fluxos de assiduidade específicos em cada turma, mas nada que fugisse da frequência esperada em semestres letivos habituais. De certo modo, maiores variações aconteceram nas presenças de alunos de graduação que não usaram o sistema, algo também observado nas demais turmas, mas em menor intensidade (Figura 4.3). Entretanto, esse fato não aconteceu entre alunos de pós-graduação, que mantiveram altas taxas de assiduidade durante todos os semestres observados (Figura 4.4).

Com relação à intensidade que os usuários acessam aplicações educacionais, em Dick-

son *et al.* (2012) analisaram-se as frequências de acesso de alunos em cursos de graduação e pós-graduação, com o intuito de se compreender quando e como as aulas gravadas haviam sido utilizadas no cotidiano. Ao se validar e comparar os dados obtidos, percebeu-se que os discentes de pós-graduação utilizaram a tecnologia bem mais que os de graduação. Com isso, concluiu-se que a maturidade e o comprometimento dos estudantes tendeu a progredir à maneira que eles se aprofundaram na área acadêmica.

No presente trabalho, também analisou-se a quantidade de acessos realizados ao sistema por turmas de graduação e pós-graduação, todavia, o resultado se mostrou oposto ao de Dickson *et al.* (2012). Enquanto as turmas de graduação apresentaram taxas de acesso contínuas no decorrer das semanas, mantendo-se geralmente progressivas até as épocas de prova, na pós-graduação o nível de acessos se mostrou bastante reduzido (Figura 4.5). Além disso, turmas de graduação que utilizaram o sistema de modo integral durante os semestres o acessaram bem mais no segundo bimestre, período em que acredita-se que os discentes indicaram o CX para colegas, contribuindo para o crescimento do número de acessos. Entretanto, é importante frisar que a quantidade de alunos avaliados na graduação e na pós-graduação foi diferente, sendo expressivamente maior entre os graduandos. Esse fator certamente pesou na quantidade de acessos realizados por cada tipo de discente, o que abre margem para que uma análise mais profunda sobre alunos de pós-graduação seja realizada para que questões desse âmbito sejam melhor esclarecidas.

4.4 Considerações Finais

Esta pesquisa objetivou analisar os benefícios e obstáculos que o emprego de uma nova tecnologia ubíqua é capaz de propiciar a ambientes reais de *U-Learning*. Compreendeu-se que a plataforma educacional CX obteve uma utilização mais eficiente entre alunos de graduação, pois pós-graduandos já possuem seus próprios métodos de estudo e tendem a ser mais esforçados – o que faz com que seus níveis de desempenho e assiduidade sejam naturalmente elevados com ou sem a utilização de tecnologias.

Além disso, a partir das impressões de usuários coletadas por meio de questionários, percebeu-se que o uso do sistema foi bem aceito de maneira geral. Entre professores, houve interesse unânime pela novidade e, mesmo com algumas falhas durante o semestre, o desempenho do CX foi elogiado por estes profissionais. Os alunos também gostaram da ideia e fizeram seu uso para estudar os conteúdos capturados pelos docentes. Alguns pontos de melhoria foram levantados, como instabilidades durante finais de semana e a possibilidade de se baixar os *slides* das aulas. No entanto, ambos os tipos de usuários demonstraram interesse em utilizar frequentemente o CX e informaram que recomendariam a aplicação para seus colegas.

Conclusões

O Documento de Especificação de Requisitos de Software, desenvolvido no início do processo de formalização da plataforma CX, foi usado para que os desenvolvedores e usuários pudessem compreender a descrição geral do sistema e entender detalhadamente suas aplicações, características e funcionalidades. A linguagem wiCPN – criada para representar formalmente fluxos de interações Web – se mostrou adequada para a modelagem do Web *front-end* do CX e foi utilizada para este fim durante a etapa de especificação formal do sistema. O modelo representativo concebido foi verificado utilizando-se o método de espaço de estados, que gerou um grafo de alcançabilidade capaz de comprovar que a wiCPN compreendeu requisitos de segurança e propiciou níveis específicos de acesso a usuários com papéis diferentes. Mesmo em páginas acessíveis por ambos os usuários, a modelagem foi capaz de inibir que certas funcionalidades fossem alcançáveis por aqueles que não possuíssem tal permissão, como a criação de novas aulas por alunos que frequentam uma disciplina (tendo em vista que esta atividade é exclusiva para professores).

A etapa de validação da wiCPN se baseou em entrevistas com profissionais e na aplicação de questionários para alunos, obtendo resultados positivos em ambas as vertentes. Entre especialistas, houve diversos comentários favoráveis e a nova proposta foi elogiada quanto à organização dos elementos nos modelos e a riqueza de detalhes sobre as telas dos sistemas. Além disso, as entrevistas evidenciaram os ganhos da abordagem para a construção de casos de teste e os benefícios de se utilizar extensões baseadas em *RdPs* em comparação a outras linguagens, como a *UML*. Sobre os questionários aplicados aos discentes, respostas mais parciais foram observadas entre alunos que tiveram contato com a wiCPN, em comparação aos que observaram modelos gerados com diagramas de atividades da *UML*. A maior parte das respostas dos que utilizaram a nova abordagem manteve

níveis bastante uniformes, enquanto no outro grupo as opiniões apresentaram maior divergência. Tal resultado garantiu que entre usuários em contato com a *wiCPN* houve maior homogeneidade de opiniões e reforçou que a extensão foi bem compreendida pelos alunos que a avaliaram.

Após uma discussão sobre as abordagens existentes na literatura correlata, uma tabela listou os trabalhos abordados e apresentou uma classificação de cada abordagem com base em critérios preestabelecidos e seus níveis de incidência. Observou-se que algumas metodologias não possuem ferramentas adequadas para sua utilização, enquanto outras não fazem uso de métodos capazes de verificação formal. Essas peculiaridades resultam em inconsistências e eventuais complicações que podem surgir em etapas posteriores do processo de desenvolvimento de *software*. Apesar de terem sido criadas para a modelagem de fluxos de interação, a maioria das abordagens se mostrou incapaz de representar corretamente a interatividade de ambientes Web. Tal característica se deu pelo fato de existirem utilizações específicas para cada método dentro do próprio escopo da modelagem de interações. Além disso, as representações geradas pelos trabalhos exibiram diferentes níveis de complexidade com base no entendimento de seus modelos. Esse fator se mostra ligado à quantidade de conhecimento prévio necessário para se utilizar cada técnica, de modo que o grau de complexidade existente nos pré-requisitos das metodologias cresce proporcionalmente ao quanto rebuscadas são as representações geradas.

Com relação à aplicabilidade do sistema CX, seu emprego parcial e integral trouxe aumentos de desempenho para a maioria das turmas de graduação observadas durante a pesquisa. Percebeu-se tanto uma elevação nas notas dos alunos quanto diminuição do desvio padrão resultante, o que demonstra que o uso da tecnologia permitiu que discentes estudassem os conteúdos de maneira mais consistente e o nível de homogeneidade crescesse. Na pós-graduação, apenas uma das turmas obteve elevações expressivas em seu desempenho, entretanto, noutra delas a queda do desvio padrão das notas foi maior que até mesmo entre discentes de graduação, resultando numa redução de 32,7% para 14,8% na variação do desempenho dessa turma e garantindo o maior nivelamento observado entre os pós-graduandos.

A assiduidade dos alunos de graduação não sofreu mudanças expressivas entre turmas que tiveram ou não contato com o sistema no decorrer dos semestres analisados. Todavia, variações constantes e abruptas na frequência dos graduandos foram mais visíveis nas turmas que não utilizaram o CX do que naquelas em que o sistema foi empregado. Na pós-graduação, o uso do sistema não apresentou qualquer reflexo de modificação na presença das turmas, que mantiveram-se com níveis de assiduidade acima de 80% na maior parte das semanas observadas. Além disso, as quedas de assiduidade que sucederam épocas de provas (nos períodos em que houve correções de avaliações e disponibilização das notas) foram observadas em todas as turmas investigadas, mas mostraram-se menores entre os discentes da pós-graduação.

O nível de acessos ao sistema foi maior entre turmas de graduação que na pós-graduação, visto que mestrandos e doutorandos não utilizaram o CX de maneira contínua, acessando-o eventualmente no decorrer dos semestres. Entre graduandos, quantidades expressivas de visitas foram percebidas, havendo picos de acesso em períodos próximos às provas bimestrais, o que permite a compreensão de que os alunos estudaram para as avaliações utilizando o sistema. Após as épocas avaliativas, perceberam-se quedas na quantidade de acessos ao CX de modo similar ao que foi observado na assiduidade dos alunos de graduação. Entretanto, de maneira análoga à frequência dos graduandos que usaram integralmente o sistema, as taxas de acesso ao CX também recuperaram-se após as avaliações do primeiro bimestre e alcançaram novos picos no decorrer do segundo. Isso leva à conclusão de que os alunos recomendaram o sistema para seus colegas, que também passaram a utilizá-lo para estudar os conteúdos das disciplinas.

Ainda referente ao nível de acesso, em 33% das vezes que usuários visitaram o CX, optaram por ignorar o mini formulário de contexto que, dentre outros dados, requeria informações sobre a origem e motivos de acesso. Acredita-se que os alunos que acessaram o sistema cotidianamente simplesmente fatigaram-se de ter de preencher o mini formulário a cada visita e optaram por ignorá-lo, enviesando os dados obtidos por este meio. Por causa disso, automatizar o aferimento de contexto de acesso mostra-se como uma funcionalidade que precisa ser urgentemente implementada para que o índice de respostas não seja contraditório e nem perdido para pesquisas futuras.

Por meio dos questionários aplicados, os docentes que utilizaram o sistema informaram que sentiram-se confiantes ao fazer seu uso durante as aulas e o utilizaram não apenas para repassar as matérias, mas também para fazer comentários sobre os conteúdos e resolver exercícios. Consideraram seu emprego interessante e não acharam complicado inserir anotações ou navegar pelos *slides* durante as aulas, mas, mesmo com o apelo interativo do CX, optaram por não chamar os alunos para também fazerem seu uso, algo que poderia ter engrandecido ainda mais esta experiência. Todos os professores concordaram que se adaptariam a utilizar o sistema com maior frequência, além de sentirem-se interessados em recomendá-lo para os colegas de profissão. Sobre as críticas e sugestões dadas, elogiaram de maneira unânime a iniciativa desta pesquisa e disseram que seria prudente disponibilizar os *slides* das aulas para que os alunos fizessem seu *download*. Sugeriram, também, investir em outras melhorias, tais como a possibilidade de se criar múltiplas telas independentes para uso docente e a organização das anotações produzidas no decorrer das aulas, de modo a ser possível relembrar pontos importantes das matérias e reestruturar o conteúdo dos cursos.

Entre os alunos, cerca de 70% dos discentes que responderam ao questionário frequentavam cursos de graduação, o que fez com que as respostas obtidas mantivessem uma proporção semelhante à quantidade de graduandos e pós-graduandos avaliados no decorrer da pesquisa. Após a aplicação das técnicas de legitimação de respostas (que

removeu 11 das 117 respostas inicialmente obtidas), compreendeu-se que a maioria dos discentes não teve dificuldades em fazer uso do CX, demonstrando interesse em utilizá-lo com maior frequência. Os alunos consideraram as mensagens de erro e ajuda bem organizadas e integradas à interface do sistema, o que fez com que sentissem-se confiantes enquanto faziam seu uso. Grande parte dos discentes disse que prestou mais atenção nas explicações dos professores que empregaram o sistema durante as aulas, declarando que a gravação dos conteúdos não os desestimulou a frequentar presencialmente as disciplinas e até encorajou-os a estudar mais os conteúdos.

Sobre os motivos que os levaram a visitarem o CX, a maioria dos alunos informou que seu uso foi mais empregado durante estudos para avaliações e para estudar normalmente ou fazer revisões de conteúdo. As críticas e sugestões atentaram-se para três pontos em especial: a necessidade de se baixar os conteúdos repassados pelos professores em sala de aula, a indisponibilidade que o sistema apresentou durante alguns períodos e o aprimoramento das mensagens de estado do CX ao sincronizar as aulas com o servidor. Essas respostas foram ao encontro do que já tinha sido obtido nas demais vertentes (com exceção do mini formulário de contexto de acesso), demonstrando que os alunos empregaram o sistema naturalmente no decorrer dos semestres e evidenciando que ainda há melhorias que precisam ser feitas na aplicação.

5.1 Contribuições

A realização desta pesquisa propiciou as seguintes contribuições:

- Elaboração da linguagem *wiCPN*, fundamentada em *RdPC* e apropriada para a representação dos fluxos interativos de interfaces Web;
- Especificação formal dos fluxos de interação do Web *front-end* do CX, verificação do modelo gerado utilizando-se a extensão criada e validação da linguagem *wiCPN* por meio de questionários com usuários e entrevistas com especialistas;
- Validação da aplicabilidade da plataforma CX no âmbito da *FACOM/UFU*, de modo a compreender variáveis de desempenho, assiduidade e impressões de alunos e professores que tiveram contato com o sistema e quantificar a eficiência da aplicação num ambiente real;
- Criação de um *SRS* que compreendeu as funcionalidades, comportamentos e propriedades do sistema CX;
- Desenvolvimento de módulos capazes de registrar *logs* de acesso e elaboração de questionários empregados para a coleta de opiniões de professores e alunos que utilizaram o CX no cotidiano acadêmico.

5.2 Publicações

Até o fechamento desta dissertação, o desenvolvimento da pesquisa aqui documentada propiciou as seguintes publicações:

I. Publicadas

- Araújo, R.D.; Brant-Ribeiro, T.; Cattelan, R.G.; de Amo, S.A; Ferreira, H.N.M. (2013). **Personalization of Interactive Digital Media in Ubiquitous Educational Environments.** Em *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 3955–3960, Manchester, UK.

II. Aceitas

- Brant-Ribeiro, T.; Araújo, R.D.; Mendonça, I.E.; Soares, M.S.; Cattelan, R.G. (2014). **A User-Centered Approach for Modeling Web Interactions Using Colored Petri Nets.** *Information and Software Technology*, Elsevier.

III. Submetidas

- Araújo, R.D.; Brant-Ribeiro, T.; Freitas, R.S.; Dorça, F.A.; Cattelan, R.G. (2014). **Autoria Automática de Objetos de Aprendizagem a partir de Captura Multimídia e Associação a Estilos de Aprendizagem.** *Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, Dourados, MS.
- Mendonça, I.E.; Araújo, R.D.; Mendes, M.M.; Brant-Ribeiro, T.; Dorça, F.A.; Cattelan, R.G. (2014). **Explorando Funcionalidades Sociais e Colaborativas em Ambientes Educacionais Ubíquos.** *Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, Dourados, MS.

5.3 Limitações e Trabalhos Futuros

Durante a realização desta pesquisa, um fator limitante observado referiu-se ao processo de validação da linguagem wiCPN de maneira rigorosa e adequada. Pelo fato de terem sido utilizadas *Escalas Likert* de 7 pontos nas afirmativas e as respostas dos discentes não apresentarem altos níveis de variabilidade, não foi possível realizar testes de normalidade, homocedasticidade e, por conseguinte, testes de diferença entre as médias. De todo modo, calculou-se a média e o desvio padrão de cada par de afirmativas – diferindo-as entre as duas amostras analisadas – e determinou-se o coeficiente de variação (CV) com o intuito de comparar os resultados obtidos em cada uma das turmas. Pelo fato do CV ser obtido pela razão entre os desvios padrões e as médias, ele se mostrou robusto o suficiente para realizar a comparação das diferentes frequências observadas.

Outra limitação observada referiu-se ao mini formulário de contexto de acesso que atualmente sucede o *login* no sistema e obteve alta taxa de preenchimento incorreto, o que causou enviesamento dos dados. Por ser composto de três informações que fazem parte de um grupo de sete dimensões mais robusto, capaz de aferir o contexto do usuário ao acessar o CX, sua automatização mostra-se imprescindível para que os dados coletados desse modo façam jus ao real motivo de cada acesso ao sistema.

Pelo fato de grande parte dos usuários avaliados nesta pesquisa ter sido composta por discentes de graduação, uma atividade interessante a ser continuada seria prosseguir com as análises aqui desenvolvidas para que quantidades maiores de alunos fossem observadas e conclusões mais enfáticas pudessem ser feitas. Com mais informações, seria possível realizar análises profundas sobre cada perfil de usuário e enriquecer o sistema de modo a permitir que ele se adequasse às necessidades dos alunos, reconhecendo, por exemplo, seus estilos pessoais de aprendizagem e disciplinas que cursam em comum com outros discentes durante os semestres.

Os professores, por serem parte fundamental do processo de ensino e aprendizagem, também deveriam ser melhor analisados com relação ao emprego do CX. Nesta pesquisa, o uso de questionários permitiu a obtenção de impressões genuínas desses usuários, mas o acompanhamento de seus níveis de acesso e maneira que utilizam o sistema durante as aulas seria uma peça-chave para compreender a adaptabilidade dos mesmos às novas tecnologias. Há, também, disciplinas que são caracterizadas por um cunho mais teórico ou prático e isso poderia influenciar no quanto adequado o uso de sistemas para este fim seria em cada circunstância.

Os desafios desta área de pesquisa atualmente se voltam para a investigação da progressão de AEU_s já implantados e a maneira que as aplicações utilizadas aprimoram-se com base nas necessidades e peculiaridades dos usuários com o passar do tempo. Investigações com tais finalidades seriam capazes de perceber não apenas os benefícios que as inovações proporcionariam ao âmbito educacional, mas também poderiam averiguar até que ponto seu uso se manteria oportuno. Por meio da observação do processo evolutivo de aplicações ubíquas em contextos educacionais (à medida que novas funcionalidades são adicionadas e mais usuários passam a utilizá-las no cotidiano), seria possível compreender o amadurecimento das impressões que os indivíduos têm à medida que interagem com os sistemas e prenunciar as futuras perspectivas que a área de pesquisa em *U-Learning* estaria propensa a seguir.

Referências

- ACM SIGCHI (1992). *ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction*. Association for Computing Machinery, New York, NY.
- Aihua, Z. (2010). Study of Ubiquitous Learning Environment Based on Ubiquitous Computing. Em *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Ubi-Media Computing*, páginas 136–138, Jinhua, CN. IEEE.
- Al-Mutawa, M. e Mishra, S. (2010). System Support for Anywhere Anytime Personal Computing Environment. Em *Proceedings of the 2nd International Workshop on Middleware for Pervasive Mobile and Embedded Computing*, páginas 7:1–7:5, Bangalore, IN. ACM.
- Araújo, R. D., Brant-Ribeiro, T., Cattelan, R. G., Amo, S. A., e Ferreira, H. N. (2013). Personalization of Interactive Digital Media in Ubiquitous Educational Environments. Em *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, páginas 3955–3960, Manchester, UK. IEEE.
- Bowen, J. e Hinze, A. (2012). Using Ontologies to Reason About the Usability of Interactive Medical Devices in Multiple Situations of Use. Em *Proceedings of the 4th ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems*, páginas 247–256, Copenhagen, DE. ACM.
- Cardoso, J. e Valette, R. (1997). *Redes de Petri*. Série Didática. Editora UFSC, Florianópolis, SC.
- Ceri, S., Brambilla, M., e Fraternali, P. (2009). Conceptual Modeling: Foundations and Applications. Em *Lecture Notes in Computer Science*, páginas 273–292. Springer-Verlag, Berlin, DE.
- Choosang, S. e Gordon, S. (2014). A Coloured Petri Net Methodology and Library for Security Analysis of Network Protocols. *Journal of Computers*, 9(2):243–256.
- Ciardelli, L., Bixio, L., e Regazzoni, C. (2011). Interaction Modeling in Automotive Applications: a Cognitive Approach. Em *Proceedings of the First IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support*, páginas 248–251.
- Cook, D. J. e Das, S. K. (2012). Review: Pervasive Computing at Scale: Transforming the State of the Art. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(1):22–35.

- Danielson, J., Preast, V., Bender, H., e Hassall, L. (2014). Is the Effectiveness of Lecture Capture Related to Teaching Approach or Content Type? *Computers & Education*, 72(0):121 – 131.
- de Souza, M. F. C., Gomes, D. G., Barroso, G. C., de Souza, C. T., de Castro Filho, J. A., Pequeno, M. C., e Andrade, R. (2007). LOCPN: Redes de Petri Coloridas na Produção de Objetos de Aprendizagem. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 15(3):39–52.
- Dickson, P. E., Warshaw, D. I., Goebel, A. C., Roache, C. C., e Adrión, W. R. (2012). Student Reactions to Classroom Lecture Capture. Em *Proceedings of the 17th ACM annual conference on Innovation and technology in computer science education*, páginas 144–149, Haifa, IL. ACM.
- Dix, A. (2010). Human-Computer Interaction: a Stable Discipline, a Nascent Science, and the Growth of the Long Tail. *Interacting with Computers*, 22(1):13–27.
- Euzent, P. J., Martin, T. L., Moskal, P., e Moskal, P. (2011). Teaching Principles to the Masses: Assessing Student Performance in Lecture Capture vs. Face-to-Face Course Delivery. URL: <http://ssrn.com/abstract=1868945>. Acessado em 25/06/2014.
- Fan, G., Yu, H., Chen, L., e Liu, D. (2013). Petri Net Based Techniques for Constructing Reliable Service Composition. *Journal of Systems and Software*, 86(4):1089–1106.
- Felice, L., Leonardi, M. C., Mauco, M. V., Montejano, G., Riesco, D., e Debnath, N. (2010). Integrating Formal Methods with Domain Analysis. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 10(1-2S2):149–161.
- Ferreira, H. N. M., Araújo, R. D., de Amo, S., e Cattelan, R. G. (2012). Classroom Experience: A Platform for Multimedia Capture and Access in Instrumented Educational Environments. Em *Proceedings of the 2012 Brazilian Symposium on Collaborative Systems*, páginas 59–64. IEEE Computer Society.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. Sage Publications Ltd., Thousand Oaks, CA, 4^a edição.
- Gal-Chis, C. (2013). Web Application Methodologies With RE Tools Support. *International Journal of Computers & Technology*, 11(3):2314–2320.
- Gehlot, V. e Nigro, C. (2010). An Introduction to Systems Modeling and Simulation with Colored Petri Nets. Em *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, páginas 104–118.
- Gómez, M. e Cervantes, J. (2013). User Interface Transition Diagrams for Customer-developer Communication Improvement in Software Development Projects. *Journal of Systems and Software*, 86(9):2394–2410.
- Gouveia, R. e Karapanos, E. (2013). Footprint Tracker: Supporting Diary Studies with Lifelogging. Em *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, páginas 2921–2930, New York, USA. ACM.
- Graf, S. et al. (2012). Ubiquitous Learning. Em *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, páginas 3361–3363. Springer USA.

- Gumienny, R., Gericke, L., Quasthoff, M., Willems, C., e Meinel, C. (2011). Tele-Board: Enabling Efficient Collaboration in Digital Design Spaces. Em *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*, páginas 47–54.
- Gysbers, V., Johnston, J., Hancock, D., e Denyer, G. (2011). Why do Students Still Bother Coming to Lectures, When Everything is Available Online? *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 19(2):20–36.
- Harel, D. (1987). Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems. *Science of Computer Programming*, 8(3):231–274.
- Hierons, R. M., Bogdanov, K., Bowen, J. P., Cleaveland, R., Derrick, J., Dick, J., Gheorghe, M., Harman, M., Kapoor, K., Krause, P., Lütten, G., Simons, A. J. H., Vilkomir, S., Woodward, M. R., e Zedan, H. (2009). Using Formal Specifications to Support Testing. *ACM Computing Surveys*, 41(2):9:1–9:76.
- Huang, J. L., Curran, P. G., Keeney, J., Poposki, E. M., e DeShon, R. P. (2012). Detecting and Deterring Insufficient Effort Responding to Surveys. *Journal of Business and Psychology*, 27:1–16.
- IEEE (1998). IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications. *IEEE Std 830-1998*, 1:1–40.
- Internet World Stats (2012). World Internet Usage Statistics News and World Population Stats. URL: <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>. Acessado em 18/06/2014.
- Iordache, M. e Antsaklis, P. (2009). Petri Nets and Programming: a Survey. Em *American Control Conference*, páginas 4994–4999.
- ITU (2012). International Telecommunication Union: Percentage of Individuals using the Internet. URL: http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2013/Individuals_Internet_2000-2012.xls. Acessado em 18/06/2014.
- Jensen, K. (1994). An Introduction to the Theoretical Aspects of Coloured Petri Nets. Em *A Decade of Concurrency, Reflections and Perspectives, REX School/Symposium*, páginas 230–272, London, UK. Springer-Verlag.
- Jensen, K. (2010). *Coloured Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. Volume 1*. Springer Publishing Company, New York, USA.
- Karray, F., Alemzadeh, M., Saleh, J. A., e Arab, M. N. (2008). Human-Computer Interaction: Overview on State of the Art. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 1(1):137–159.
- Kay, M., Choe, E. K., Shepherd, J., Greenstein, B., Watson, N., Consolvo, S., e Kientz, J. A. (2012). Lullaby: A Capture & Access System for Understanding the Sleep Environment. Em *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*, páginas 226–234, New York, USA. ACM.

- Kientz, J. A. (2012). Embedded Capture and Access: Encouraging Recording and Reviewing of Data in the Caregiving Domain. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(2):209–221.
- Kim, D., Cimren, E., Havey, R., e Zaidi, A. K. (2012). Improving Cluster Tools Performance Using Colored Petri Nets in Semiconductor Manufacturing. Em *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, páginas 205:1–205:12, Berlin, DE.
- Koo, S. (2010). Human-Machine Interaction in Ubiquitous Application Design. Em *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics*, páginas 3725–3729.
- Lakatos, E. M. e Marconi, M. d. A. (2010). *Fundamentos de Metodologia Científica*. Atlas, Rio de Janeiro, RJ.
- Lazar, J., Feng, J., e Hochheiser, H. (2010). *Research Methods in Human-Computer Interaction*. Wiley Publisher, Indianapolis, IN.
- Lisboa, L. B., Garcia, V. C., Lucrédio, D., de Almeida, E. S., de Lemos Meira, S. R., e de Mattos Fortes, R. P. (2010). A Systematic Review of Domain Analysis Tools. *Information and Software Technology*, 52(1):1–13.
- Lohr, S. (2009). *Sampling: Design and Analysis*. Cengage Learning, Stamford, CT.
- Lopes, J. a. L., Souza, R. S., Geyer, C. R., Costa, C. A., Barbosa, J. V., Gusmão, M. Z., e Yamin, A. C. (2012). A Model for Context Awareness in UbiComp. Em *Proceedings of the 18th Brazilian symposium on Multimedia and the web*, páginas 161–168, São Paulo, SP. ACM.
- Ma, L., Yao, J., Xu, M., Yuan, T., e Shao, M. (2010). Net-in-Net: Interaction Modeling for Smart Community Cyber-Physical System. Em *Proceedings of the 7th International Conference on Ubiquitous Intelligence Computing and 7th International Conference on Autonomic Trusted Computing (UIC/ATC)*, páginas 250–255.
- MacKenzie, I. S. (2013). *Human-Computer Interaction: An Empirical Research Perspective*. Elsevier Science, Toronto, ON.
- Martinie, C., Navarre, D., e Palanque, P. (2014). A Multi-Formalism Approach for Model-Based Dynamic Distribution of User Interfaces of Critical Interactive Systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, 72(1):77–99.
- Meade, A. W. e Craig, S. B. (2012). Identifying Careless Responses in Survey Data. *Psychol Methods*, 17:437–455.
- Mirlacher, T., Palanque, P., e Bernhaupt, R. (2012). Engineering Animations in User Interfaces. Em *Proceedings of the 4th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, páginas 111–120, New York, NY. ACM.
- Muller, P.-A., Fondement, F., Baudry, B., e Combemale, B. (2012). Modeling Modeling Modeling. *Journal of Software and Systems Modeling*, 11(3):347–359.
- Nguyen, H. Q. e Apon, A. (2012). Parallel File System Measurement and Modeling Using Colored Petri Nets. Em *Proceedings of the 3rd ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering*, páginas 229–240, Boston, MA. ACM.

- Peterson, J. L. (1977). Petri Nets. *ACM Computing Surveys*, 9(3):223–252.
- Petri, C. A. (1962). *Communication with Automata*. PhD thesis, Universität Hamburg.
- Pressman, R. (2010). *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill Higher Education, New York, NY, 7^a edição.
- Preston, G., Phillips, R., Gosper, M., McNeill, M., Woo, K., e Green, D. (2010). Web-Based Lecture Technologies: Highlighting the Changing Nature of Teaching and Learning. *Australasian Journal of Educational Technology*, 26(6):717–728.
- Prodanov, V. I. (2012). In-Class Lecture Recording: What Lecture Capture has to Offer to the Instructor. Em *Proceedings of the American Society for Engineering Education-Pacific South West Section Conference*, San Luis Obispo, CA.
- Ramos, E. e Oliveira, J. (2010). Especificação e Verificação Formal de um modelo de STI-PBL por Redes de Petri Coloridas. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 17(03):53–66.
- Razali, N. e Wah, Y. B. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1):21–33.
- Reisig, W. (2013). *Understanding Petri Nets: Modeling Techniques, Analysis Methods, Case Studies*. Springer, Berlin, DE.
- Renals, S. (2010). Recognition and Understanding of Meetings. Em *Proceedings of the 2010 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics*, páginas 1–9, Los Angeles, CA. Association for Computational Linguistics.
- Rogers, Y. (2009). The Changing Face of Human-Computer Interaction in the Age of Ubiquitous Computing. Em *Proceedings of the 5th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society on HCI and Usability for e-Inclusion*, páginas 1–19, Linz, AUS. Springer-Verlag.
- Rogers, Y., Sharp, H., e Preece, J. (2011). *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. Wiley Publishing, Chichester, UK, 3^a edição.
- Rossi, G. (2013). Web Modeling Languages Strike Back. *Internet Computing, IEEE*, 17(4):4–6.
- Sangiorgi, U. B. e Barbosa, S. D. (2009). MoLIC Designer: Towards Computational Support to HCI Design with MoLIC. Em *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, páginas 303–308, Pittsburgh, PA. ACM.
- Schmidt, A., Pfleging, B., Holz, C., e Holmquist, L. E. (2014). From Photography to Ubiquitous Capture Systems. *Pervasive Computing, IEEE*, 13(1):10–13.
- Settle, A., Dettori, L., e Davidson, M. J. (2011). Does Lecture Capture Make a Difference for Students in Traditional Classrooms. Em *Proceedings of the 16th annual joint conference on Innovation and technology in computer science education*, páginas 78–82, Darmstadt, DE. ACM.

- Silva, M. (2013). Half a Century After Carl Adam Petri's Ph.D. Thesis: a Perspective on the Field. *Annual Reviews in Control*, 37(2):191 – 219.
- Smyth, E. e Volker, J. (2013). *Enhancing Instruction with Visual Media: Utilizing Video and Lecture Capture*. IGI Global, Harrisburg, PA.
- Sommerville, I. (2010). *Software Engineering*. Addison-Wesley Publishing Company, Boston, MA, 9^a edição.
- Tena, S., Díez, D., Díaz, P., e Aedo, I. (2013). Standardizing the Narrative of Use Cases: a Controlled Vocabulary of Web User Tasks. *Information and Software Technology*, 55(9):1580 – 1589.
- Traue, T. e Kobayashi, G. (2011). A Discussion About Human-Computer Interaction Requirements for Ubiquitous Systems. Em *Proceedings of the 4th International Conference on Ubi-Media Computing*, páginas 134–139.
- Triola, M. F. (2011). *Introdução à Estatística*. LTC, São Paulo, SP, 10^a edição.
- Truong, K. N. e Hayes, G. R. (2009). Ubiquitous Computing for Capture and Access. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 2(2):95–171.
- Vega-Oliveros, D. A., Martins, D. S., e Pimentel, M. d. G. C. (2011). Media-Oriented Operators for Authoring Interactive Multimedia Documents Generated from Capture Sessions. Em *Proceedings of the 2011 ACM Symposium on Applied Computing*, páginas 1267–1272, TaiChung, TW. ACM.
- Vera, P., Giulianelli, D., Rodriguez, R., e Pons, C. (2012). User Interface and Navigation Modeling Methodology for Mobile Hypermedia Systems. Em *Proceedings of the 7th Colombian Computing Congress*, páginas 1–6.
- Wang, S.-L. e Wu, C.-Y. (2011). Application of Context-Aware and Personalized Recommendation to Implement an Adaptive Ubiquitous Learning System. *Expert Systems with Applications*, 38(9):10831–10838.
- Wazlawick, R. S. (2009). *Metodologia de Pesquisa para Ciência da Computação*. Elsevier, Rio de Janeiro, RJ.
- Weidlich, M., Mendling, J., e Gal, A. (2013). Net-based Analysis of Event Processing Networks: the Fast Flower Delivery Case. Em *Proceedings of the 34th international conference on Application and Theory of Petri Nets and Concurrency*, páginas 270–290, Milan, IT. Springer-Verlag.
- Weijters, B. e Baumgartner, H. (2012). Misresponse to Reversed and Negated Items in Surveys: a Review. *Journal of Marketing Research*, 49(5):737–747.
- Weiser, M. (1991). The Computer for the 21st Century. *Scientific American*, 265(3):66–75.
- Weiser, M. (1994). The World is Not a Desktop. *Interactions*, 1(1):7–8.
- Wieling, M. B. e Hofman, W. H. A. (2010). The Impact of Online Video Lecture Recordings and Automated Feedback on Student Performance. *Computers & Education*, 54(4):992–998.

- Wilde, A., Bruegger, P., e Hirsbrunner, B. (2010). An Overview of Human-Computer Interaction Patterns in Pervasive Systems. Em *Proceedings of the International Conference on User Science and Engineering*, páginas 145–150.
- Woodcock, J., Larsen, P. G., Bicarregui, J., e Fitzgerald, J. (2009). Formal Methods: Practice and Experience. *ACM Computing Surveys*, 41(4):19:1–19:36.
- Yu, Z. e Nakamura, Y. (2010). Smart Meeting Systems: A Survey of State-of-the-art and Open Issues. *ACM Computing Surveys*, 42(2):8:1–8:20.
- Zhao, X., Wan, X., e Okamoto, T. (2010). Adaptive Content Delivery in Ubiquitous Learning Environment. Em *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technologies in Education (WMUTE)*, páginas 19–26.

Documento de Especificação de Requisitos de Software do Classroom eXperience

Especificação dos Requisitos do Software

< Classroom eXperience >

Versão 2.0

**Preparado por < Taffarel Brant Ribeiro, Igor Emmanuel Mendonça,
Rafael Dias Araújo e Renan Gonçalves Cattelan >**

< Universidade Federal de Uberlândia >

< 07/05/2013 >

Sumário

Histórico de revisões	2
1. Introdução	3
1.1 Propósito deste documento	3
1.2 Escopo deste documento	3
1.3 Definições, acrônimos e abreviações	3
1.4 Referências	3
1.5 Visão geral deste documento	4
2. Descrição geral do produto	5
2.1 Visão geral.....	5
2.2 Funcionalidades do produto	6
2.3 Tipos e características dos usuários do produto	7
2.4 Restrições do produto	7
2.5 Requisitos adiados	8
3. Requisitos do sistema	9
3.1 Requisitos funcionais.....	9
3.2 Requisitos não funcionais	11

Histórico de revisões

Nome do revisor	Data	Motivo das Alterações	Versão ant.
Taffarel Brant	07/05/13	Atomização dos requisitos funcionais (Seção 3.1).	1.0

1. Introdução

1.1 Propósito deste documento

Este documento tem por objetivo especificar os requisitos do sistema *Classroom eXperience* [1]; desenvolvido pelo grupo de pesquisa *UbiMedia* da Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia.

O público-alvo deste documento é classificado pelos usuários que fazem uso do sistema e pelo grupo de pesquisa *UbiMedia*, que é o responsável pelo desenvolvimento e manutenção do CX.

1.2 Escopo deste documento

Nome do produto: Classroom eXperience

Missão do produto: Realizar a captura e acesso de atividades educacionais em ambientes instrumentados, fazendo uso de informações de contexto e preferências pessoais para personalizar a entrega do conteúdo aos usuários e dispondo de mecanismos de comunicação capazes de realizar a sincronização de dados entre os serviços de armazenamento.

Benefícios do produto:

- Melhorar a experiência entre professores e alunos em sala de aula;
- Auxiliar os professores durante o processo de ensino;
- Facilitar o processo de aprendizagem dos alunos.

1.3 Definições, acrônimos e abreviações

A correta interpretação deste documento exige o conhecimento de alguns acrônimos e abreviações que são descritos a seguir:

Acrônimo ou abreviação	Definição
C&A	Captura & Acesso
CX	Classroom eXperience
FACOM	Faculdade de Computação
UFU	Universidade Federal de Uberlândia

1.4 Referências

Os artigos e demais documentos relacionados ao *Classroom eXperience* e/ou abordados nas seções a seguir são listados a seguir:

- [1] Ferreira, H. N. M., Araújo, R. D., de Amo, S. A. e Cattelan, R. G., **Classroom eXperience: A platform for multimedia capture and access in instrumented educational environments.** Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos, p. 59-64, 2012.
- [2] Pimentel, M., Baldochi Jr, L. A. e Cattelan, R. G. **Prototyping applications to document human experiences.** IEEE Pervasive Computing, 6:93–100, 2007.
- [3] Araújo, R. D., Ferreira, H. N. M., Rosa, P. F. e Cattelan, R. G. **A redundancy information protocol for P2P networks in ubiquitous computing environments: Design and implementation.** In Proc. of ICN '12, p. 215–220, 2012.
- [4] de Amo, S. e Ribeiro, M. R. **CPref-SQL: a query language supporting conditional preferences.** SAC '09 Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing, p. 1573 - 1577, 2009.

1.5 Visão geral deste documento

Esta introdução fornece as informações necessárias para que seja possível fazer uma correta leitura e uso deste documento, explicitando seus propósitos, escopo, acrônimos, abreviações e referências utilizadas no decorrer do texto.

As demais seções deste documento apresentam a especificação do CX e se estruturam da seguinte maneira:

- Seção 2: refere-se à descrição geral do sistema. Nela é apresentada uma visão de todo o sistema, abordando suas interfaces de usuário, hardware e comunicação, assim como seus modos de operação, requisitos de adaptação e funcionalidades. Também são abordados os tipos e características dos usuários que fazem uso do sistema, suas restrições e determinados requisitos que, neste momento, foram adiados.
- Seção 3: referente aos requisitos específicos do sistema. Nela são especificados tanto os requisitos funcionais do sistema, descrevendo as funções e comportamentos que o sistema pode vir a ter, quanto os não funcionais, que abordam fatores de disponibilidade, desempenho, confiabilidade, segurança, ambiente, banco de dados, heterogeneidade, interoperabilidade e usabilidade.

2. Descrição geral do produto

Nesta seção é apresentada uma visão geral do *Classroom eXperience*, abordando suas interfaces, modos de operação, requisitos de adaptação e funcionalidades. Posteriormente, também são tratados detalhes relativos aos tipos e características dos usuários-alvo, restrições e, ao final da seção, requisitos específicos do sistema que neste momento foram adiados.

2.1 Visão geral

O CX é uma plataforma de software para a captura, o armazenamento, o acesso e a extensão de informação multimídia em ambientes educacionais instrumentados com lousa eletrônica, microfones, câmeras e projetores. Desenvolvido pelo grupo de pesquisa *UbiMedia* da FACOM, na UFU, o CX propõe que fluxos de mídia provenientes de cada dispositivo sejam capturados por componentes de software especializados e posteriormente integrados e sincronizados, gerando documentos hipermídia em variados formatos de apresentação.

Construído sobre a plataforma do iClass [2], o CX adiciona um módulo contextual para personalização de conteúdo, permitindo que a apresentação do conteúdo capturado seja personalizada de acordo com as preferências e o contexto de acesso dos alunos.

O CX atualmente dispõe das seguintes interfaces de usuário:

Nome da Interface	Descrição
Tela de login	Interface <i>online</i> na qual o usuário realiza o <i>login</i> para acessar o sistema.
Tela de cadastro de novo usuário	Interface <i>online</i> para o usuário se cadastrar no sistema.
Tela de contexto de usuário	Interface <i>online</i> para o usuário informar seu contexto de acesso
Tela principal	Interface <i>online</i> na qual o usuário tem acesso às opções para alterar seus dados pessoais, matricular-se em nova turma e, caso seja professor, adicionar nova turma.
Tela de alteração dos dados pessoais	Interface <i>online</i> para o usuário alterar seus dados pessoais.
Tela de cadastro das restrições de acesso	Interface <i>online</i> para o usuário cadastrar, alterar e excluir suas restrições de acesso.
Tela de cadastro de preferências	Interface <i>online</i> para o usuário cadastrar, alterar e excluir suas preferências.
Tela para matricular-se em nova turma	Interface <i>online</i> para o usuário matricular-se em nova turma.
Tela de adição de nova turma	Interface <i>online</i> para o usuário, caso seja professor, adicionar nova turma.
Tela de visualização de todas as aulas de uma turma	Interface <i>online</i> na qual o usuário tem acesso a todas as aulas de uma turma específica.

Tela de visualização de aula capturada	Interface <i>online</i> para o usuário visualizar o conteúdo de uma aula capturada pelo professor.
--	--

O CX atualmente dispõe das seguintes interfaces de hardware:

Nome da Interface	Descrição
Componente de captura de áudio	Interface responsável pela captura de áudio.
Componente de captura de vídeo	Interface responsável pela captura de vídeo.
Componente de captura de anotações da lousa digital	Interface responsável pela captura de anotações da lousa digital.

O CX atualmente dispõe da seguinte interface de comunicação:

Nome da Interface	Descrição
Camada de comunicação CAL [3]	Mecanismo de comunicação para armazenamento, transferência e replicação de conteúdo multimídia capturado em ambientes educacionais ubíquos.

O CX atualmente dispõe dos seguintes modos de operação:

Perfil de operação	Detalhes da operação
Aluno	O usuário tem acesso às opções para alterar seus dados pessoais e matricular-se em novas turmas.
Professor	O usuário tem acesso às opções para alterar seus dados pessoais, matricular-se em novas turmas e adicionar novas turmas.

Complementando, o CX demanda atualmente o seguinte requisito de adaptação ao ambiente:

Requisito	Detalhes do requisito
Internet	O ambiente operacional dos usuários precisa estar conectado à Internet.

2.2 Funcionalidades do produto

Como funcionalidades, o CX atualmente possui:

Função	Descrição	Fase Atual
Manutenção e controle de contextos	Módulo do sistema responsável pelo armazenamento e aplicação dos contextos que são informados pelos usuários e/ou inferidos automaticamente pelo CX.	Implementado

Manutenção e controle de restrições de acesso	Módulo do sistema responsável pelo armazenamento e aplicação das restrições de acesso que são informadas pelos usuários e/ou inferidas automaticamente pelo CX.	Implementado
Manutenção e controle de preferências	Módulo do sistema responsável pelo armazenamento e aplicação das preferências que são informadas pelos usuários do CX.	Implementado
Pré-produção, captura ao vivo, pós-produção e acesso às aulas	Módulo do sistema responsável pelas fases de pré-produção da C&A, na qual os professores fazem o cadastro das aulas que serão lecionadas; captura ao vivo, quando os professores ministram o conteúdo das aulas; pós-produção, em que os fluxos de mídia são sincronizados automaticamente e o acesso, quando o sistema busca o conteúdo capturado e o apresenta de maneira exclusiva para cada usuário.	Implementado

2.3 Tipos e características dos usuários do produto

O CX atualmente atende os seguintes tipos de usuários:

Usuário	Definição	Características
Professor	Usuário que realiza a captura do conteúdo de suas aulas e posteriormente disponibiliza este material para os alunos matriculados em suas disciplinas.	Usuário com titulação de especialista, mestre ou doutor, que possui experiência na área de docência e pode ou não ter conhecimento de navegadores web.
Aluno	Usuário que acessa o sistema com o intuito de visualizar o conteúdo das aulas lecionadas pelos professores.	Usuário que pode ou não ter pós-graduação, experiência na área de docência ou conhecimento de navegadores web.

2.4 Restrições do produto

O CX atualmente possui as seguintes restrições:

Restrição	Detalhes da restrição
Assincronia	As aulas capturadas só começam a ter seus fluxos de mídia sincronizados assim que a fase de captura ao vivo é finalizada.
Conversão de arquivos	Os arquivos utilizados no cadastro das aulas podem sofrer, caso estejam em formato .pdf, perda na qualidade da resolução e, caso estejam em formato .ppt ou .pptx, perda dos efeitos de transições entre slides, já que as páginas/slides são convertidas em imagens .jpeg.

Sincronização offline	Caso haja problemas de conexão com a internet ou o serviço de armazenamento esteja indisponível no momento da sincronização, o conteúdo capturado ficará armazenado localmente e uma nova tentativa de sincronização acontecerá assim que uma nova aula for capturada.
-----------------------	--

2.5 Requisitos adiados

O CX atualmente possui os seguintes requisitos adiados:

Requisito	Detalhes do requisito
Módulo social	Módulo integrado à tela de visualização de aulas no qual os usuários têm a possibilidade de socializarem-se e trocarem informações relativas aos conteúdos abordados.
Automatização das preferências	Módulo para inferência automática das preferências dos usuários.
Exportação de arquivo .pdf	Possibilidade de exportar os slides das aulas capturadas em formato .pdf.

3. Requisitos do sistema

Nesta seção, são abordados os requisitos específicos do CX. Primeiramente, versa-se a respeito de seus requisitos funcionais, que descrevem as funções e comportamentos que o sistema pode vir a ter em determinadas circunstâncias. Posteriormente, trata-se dos requisitos não funcionais do CX, que abordam fatores de disponibilidade, desempenho, confiabilidade, segurança, ambiente, banco de dados, heterogeneidade, interoperabilidade e usabilidade.

3.1 Requisitos funcionais

O CX atualmente possui os seguintes requisitos funcionais:

Nº	Requisito	Detalhamento do requisito
1	Gerenciar cadastros	O CX deve permitir que novos usuários cadastrem-se no sistema.
2	Obrigatoriedade de campos	Na tela de cadastro de novo usuário, campos relativos aos dados pessoais e ao tipo dos usuários devem ser obrigatoriamente preenchidos para que o cadastro seja realizado com sucesso.
3	Primeiro <i>login</i>	Assim que o cadastro de um novo usuário for realizado, o CX deve fazer seu primeiro <i>login</i> automaticamente no sistema e direcioná-lo para a tela de contexto de acesso.
4	Alterar cadastros	O CX deve permitir que os usuários alterem seus dados pessoais.
5	Campos não editáveis	Na tela de alteração dos dados pessoais, o campo “Tipo de Usuário” deve estar visível, porém desabilitado para edição.
6	Armazenar contextos	O CX deve ser capaz de armazenar os contextos de acesso quando estes forem informados pelos usuários e/ou inferidos automaticamente pelo sistema.
7	Informar contextos	Na tela de contexto de acesso, o usuário pode escolher se deseja informar seus dados de contexto ou simplesmente ignorar esta etapa.
8	Gerenciar contextos	Caso o usuário ignore a etapa de informar o contexto de acesso, os dados que seriam informados manualmente não serão armazenados, mas os inferidos automaticamente sim.
9	Armazenar restrições	O CX deve ser capaz de armazenar as restrições de acesso do usuário.
10	Gerenciar restrições	As restrições de acesso podem ser definidas manualmente por cada usuário ou automaticamente pelo próprio sistema, podendo ser fixadas como restrições padronizadas para todos os usuários.
11	Personalizar conteúdo	O CX deve ser capaz de personalizar o conteúdo das aulas capturadas de acordo com as restrições do usuário, baseando-se no contexto em que o usuário se encontra no momento em que acessa o sistema.
12	Armazenar preferências	O CX deve ser capaz de armazenar as preferências de acesso do usuário.

13	Gerenciar preferências	O CX deve ser capaz de gerenciar as preferências de acesso do usuário de acordo com os resultados obtidos por meio do uso do CPrefSQL [4].
14	Cadastrar turmas	O CX deve permitir que os professores façam o cadastro de novas turmas, mas esta opção deve ser inacessível para os alunos.
15	Exigência para cadastrar turma	O cadastro de uma nova turma exige a existência de uma disciplina.
16	Cadastrar disciplinas	O CX deve permitir que os professores façam o cadastro de novas disciplinas, mas esta opção deve ser inacessível para os alunos.
17	Exigência para cadastrar disciplina	O cadastro de uma nova disciplina exige a existência de um curso.
18	Cadastrar cursos	O CX deve permitir que os professores façam o cadastro de novos cursos, mas esta opção deve ser inacessível para os alunos.
19	Exigência para cadastrar curso	O cadastro de um novo curso exige a existência de uma área.
20	Cadastrar áreas	O CX deve permitir que os professores façam o cadastro de novas áreas, mas esta opção deve ser inacessível para os alunos.
21	Informar acessibilidade das turmas	Os professores, durante o processo de cadastro de novas turmas, podem optar se as turmas serão públicas ou privadas.
22	Gerenciar acessibilidade das turmas	Caso os professores optem por tornar as turmas privadas, um código de confirmação será requerido para que somente os alunos daquela disciplina possam se matricular nela.
23	Armazenar datas de avaliações	O CX deve permitir que os professores armazenem informações relativas às datas de aplicação das avaliações em suas turmas.
24	Matricular-se em turmas	O CX deve permitir que alunos e professores matriculem-se em novas turmas.
25	Gerenciar aulas	O CX deve permitir que os professores criem, alterem e excluam aulas de suas turmas, mas estas opções devem ser inacessíveis para os alunos.
26	Visibilidade das opções das aulas	As opções de edição e exclusão de cada aula só devem ser visíveis para os respectivos professores criadores daquelas aulas.
27	Capturar aulas	O CX deve permitir que os professores realizem a captura do conteúdo apresentado durante suas aulas.
28	Gerenciar a captura das aulas	O CX deve permitir que os professores escolham se vão realizar a captura apenas de seus slides ou se também vão permitir ser gravados por uma câmera e microfone.
29	Visualizar aulas	O CX deve permitir que os usuários visualizem as aulas capturadas.
30	Exigência para a visualização das aulas	Os usuários que estejam matriculados em turmas só serão capazes de visualizar as aulas depois que as mesmas forem ministradas/capturadas por seus respectivos professores, mesmo que as aulas já tenham sido criadas com antecedência.

31	Alterar idioma	O CX deve permitir que os usuários façam a alteração do idioma entre português e inglês.
32	Exibir atualizações	O CX deve ser capaz de exibir para os usuários as últimas atualizações referentes às aulas adicionadas nas turmas em que estão matriculados.

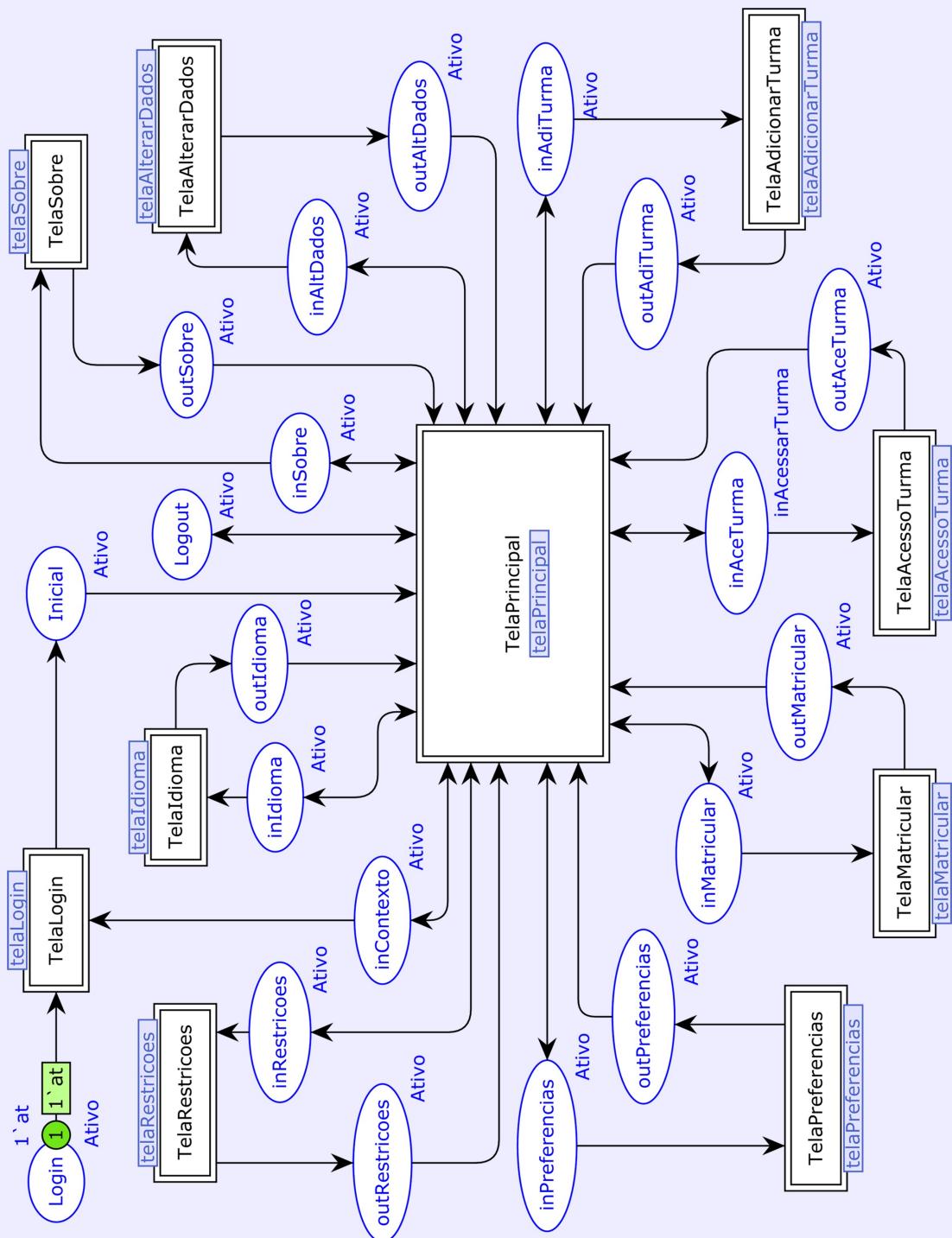
3.2 Requisitos não funcionais

O CX atualmente possui os seguintes requisitos não funcionais:

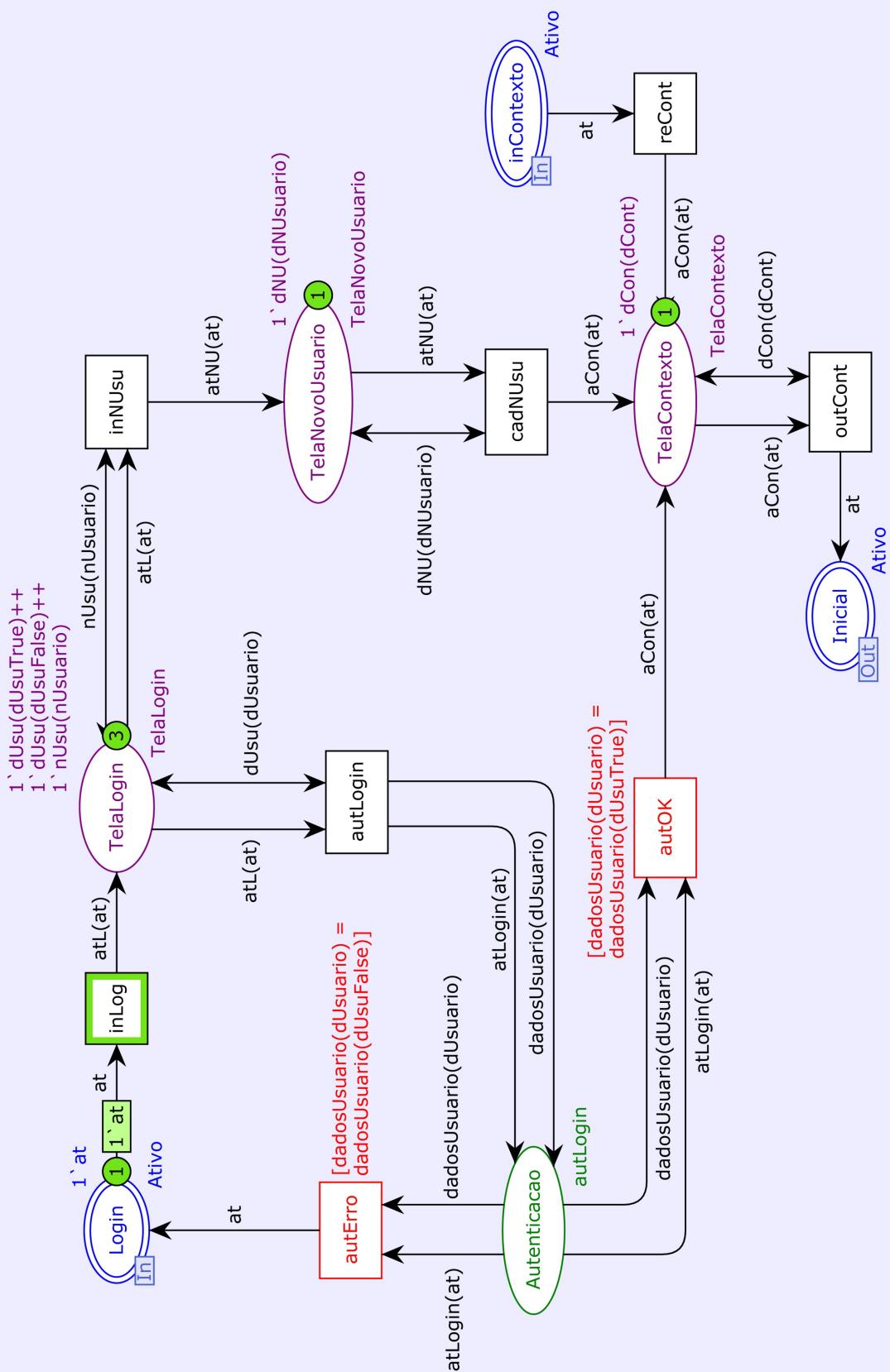
Nº	Requisito	Detalhamento do requisito
1	Disponibilidade	O CX deve ser capaz de permanecer em funcionamento 24 horas por dia e sete dias por semana, possuindo uma taxa de disponibilidade de, no mínimo, 95% do tempo.
2	Desempenho	Ao final da fase de captura ao vivo das aulas, o CX deve ser capaz de encontrar o serviço de sincronização de mídias em até 10 segundos. Essa métrica temporal deve ser atendida em, pelo menos, 95% dos casos.
3	Confiabilidade	O CX deve ser capaz de recuperar seus dados em circunstâncias de falhas. É necessário que haja rotinas periódicas de backup para fazer cópias de segurança do conteúdo das aulas e dados dos usuários do sistema.
4	Segurança	O CX deve ser acessado apenas por usuários cadastrados no sistema e determinadas funcionalidades que são específicas para usuários professores devem ser inacessíveis para usuários alunos.
5	Ambiente	O CX deve possuir dois ambientes: um para que a equipe de desenvolvimento implemente e faça testes com as novas funcionalidades e outro específico para que os usuários accessem o sistema.
6	Banco de dados	O CX deve possuir um banco de dados PostgreSQL com a extensão CPrefSQL [4] exclusivo para cada um de seus ambientes, possuindo seus dados separados.
7	Heterogeneidade	O CX deve se adequar aos diversos tipos de equipamentos que os usuários dispõem para utilizar do sistema.
8	Interoperabilidade	As interfaces de hardware do CX devem se comunicar transparentemente com as interfaces de usuário do sistema.
9	Usabilidade	O CX deve possuir uma interface agradável, amigável e intuitiva de modo que os usuários consigam utilizar o sistema de maneira prática e eficiente.

Modelagem de Interações do Classroom eXperience

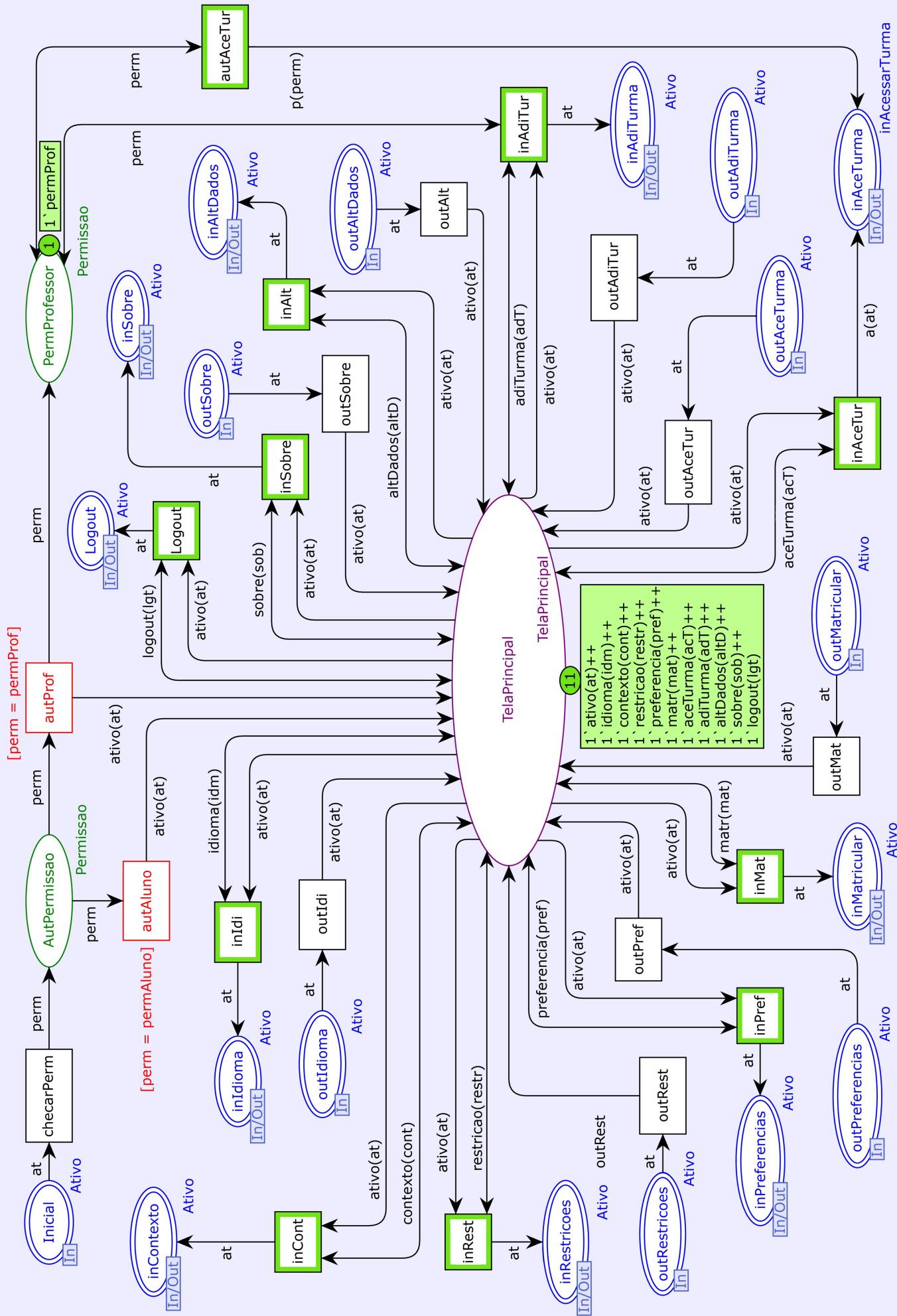
Modelagem Geral



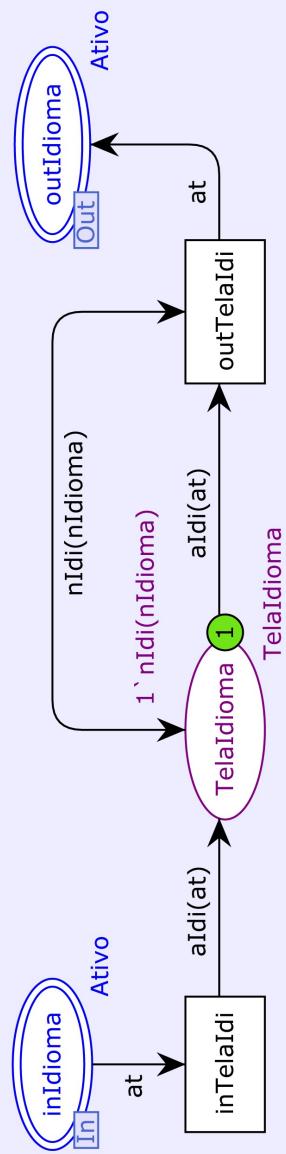
TelaLogin



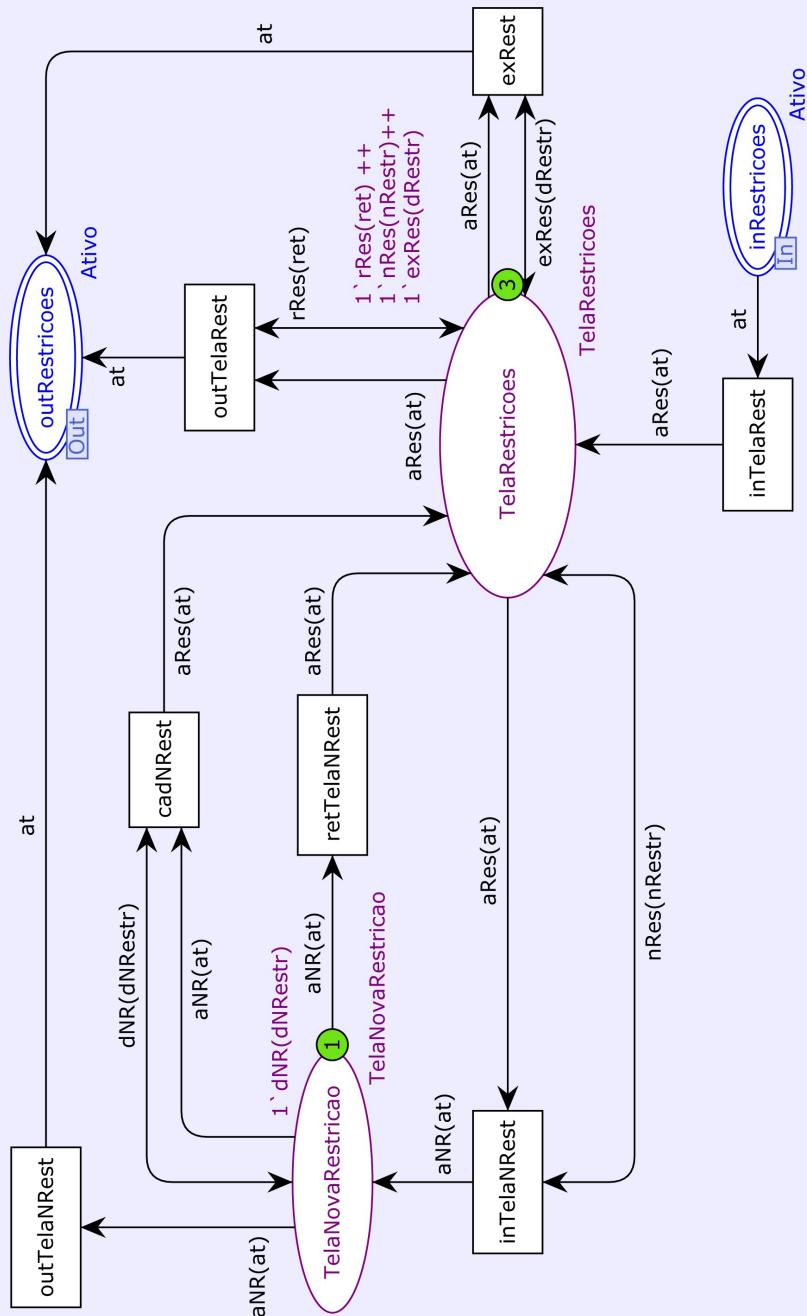
TelaPrincipal



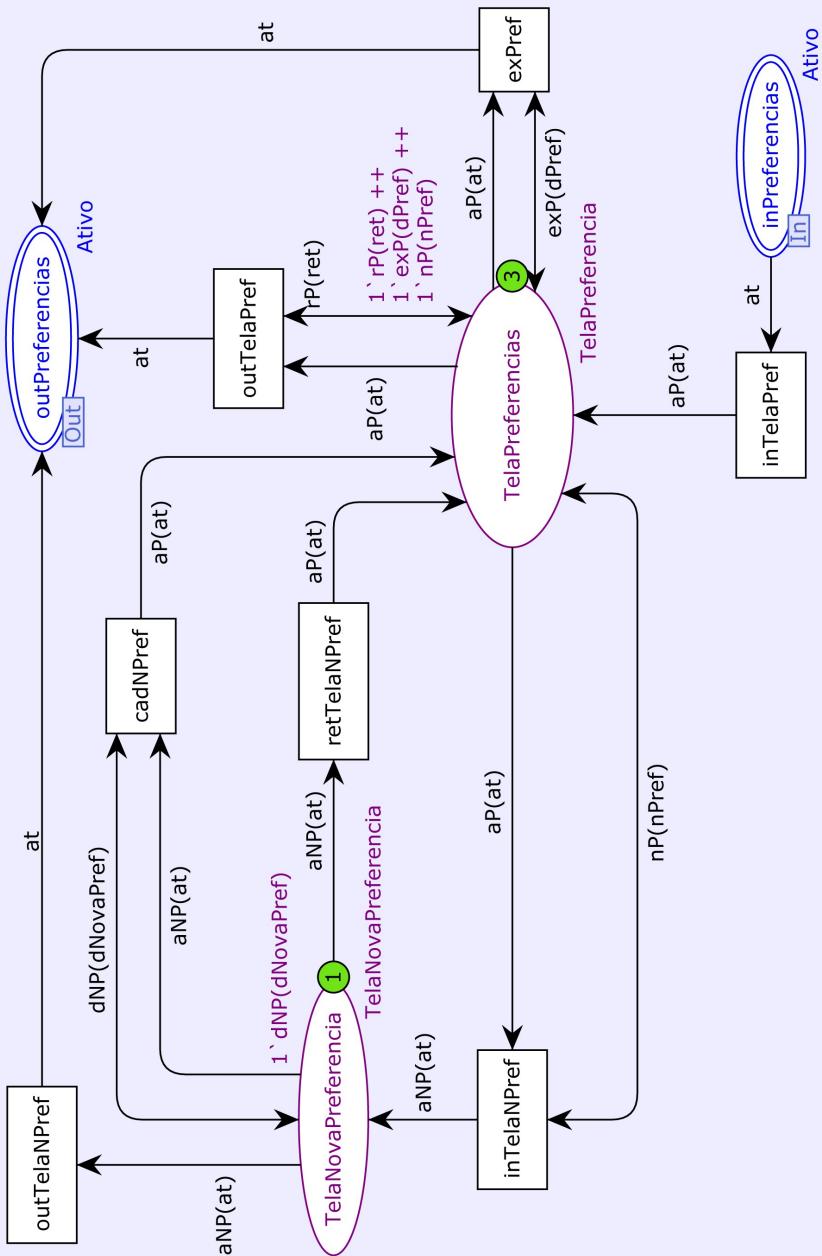
TelaIdioma



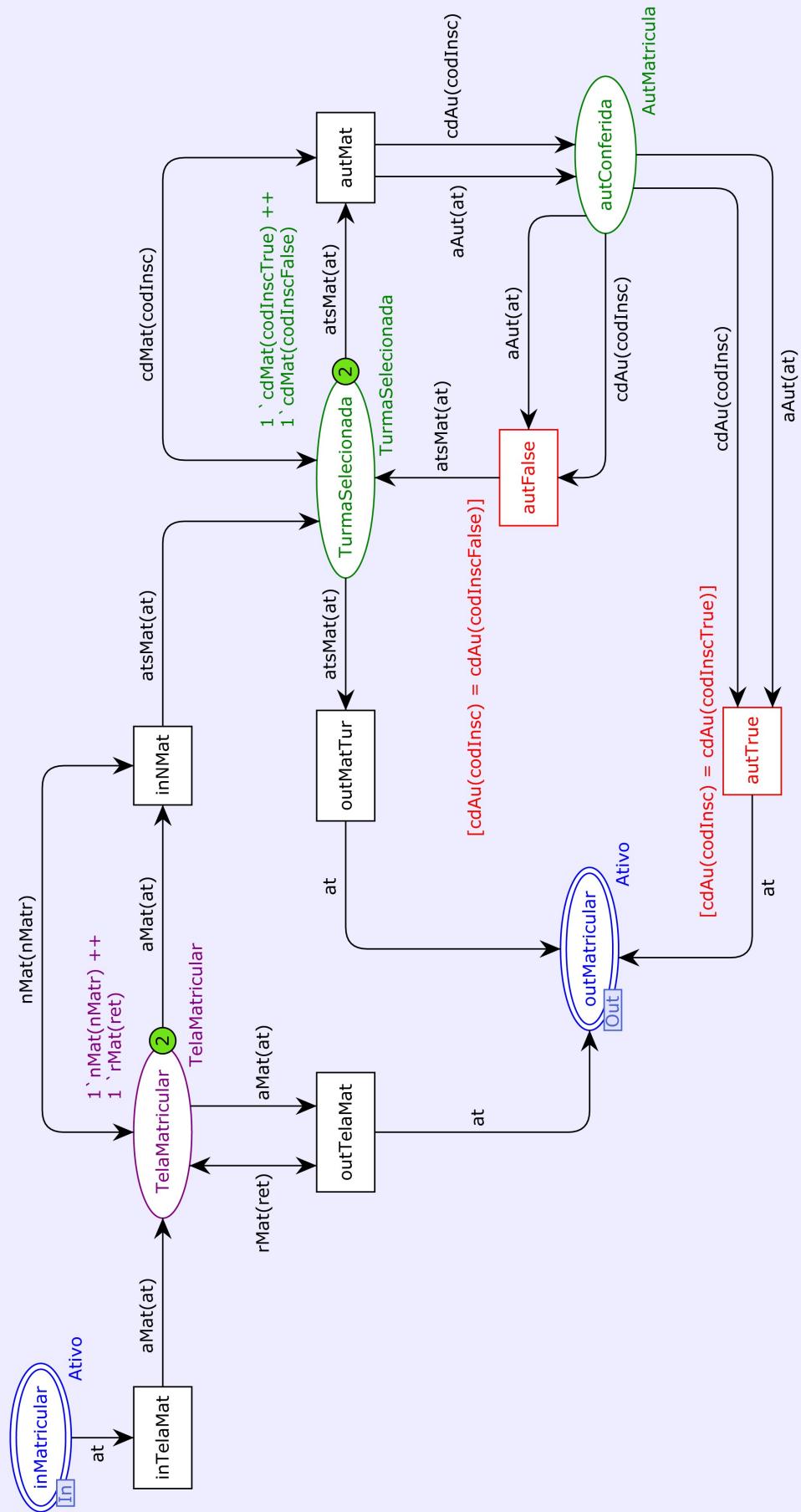
TelaRestricoes



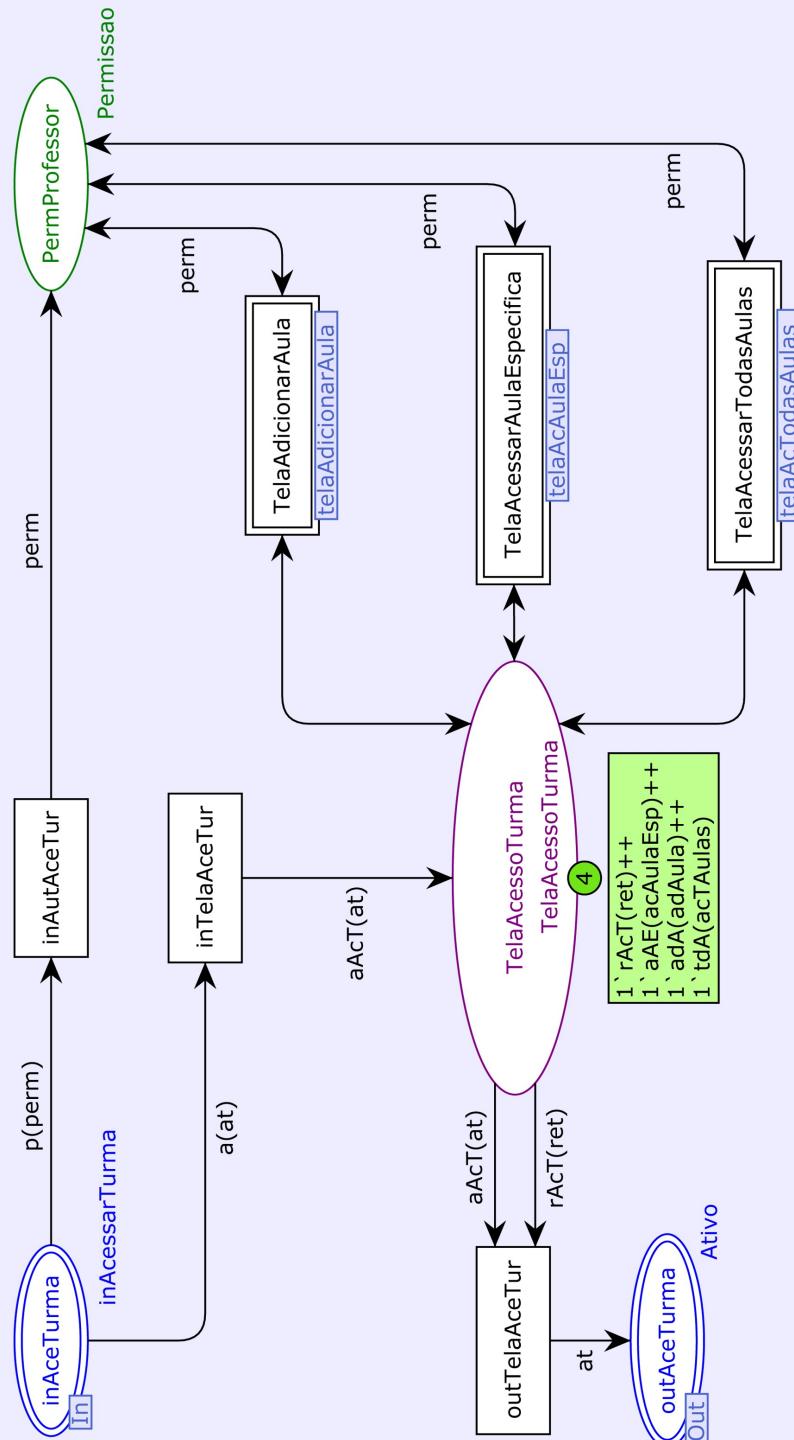
TelaPreferencias



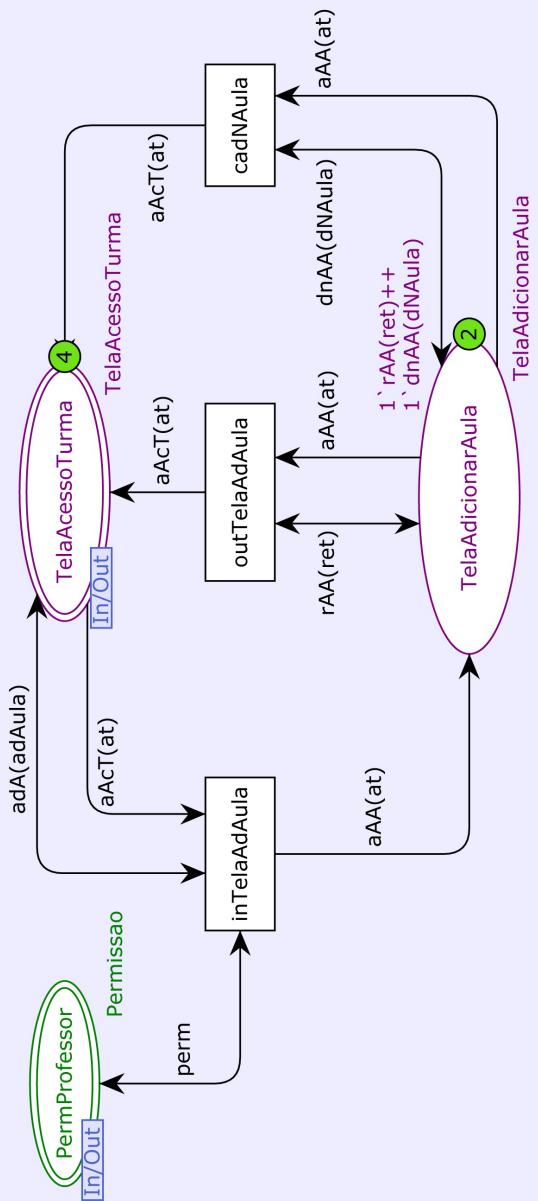
TelaMatricular



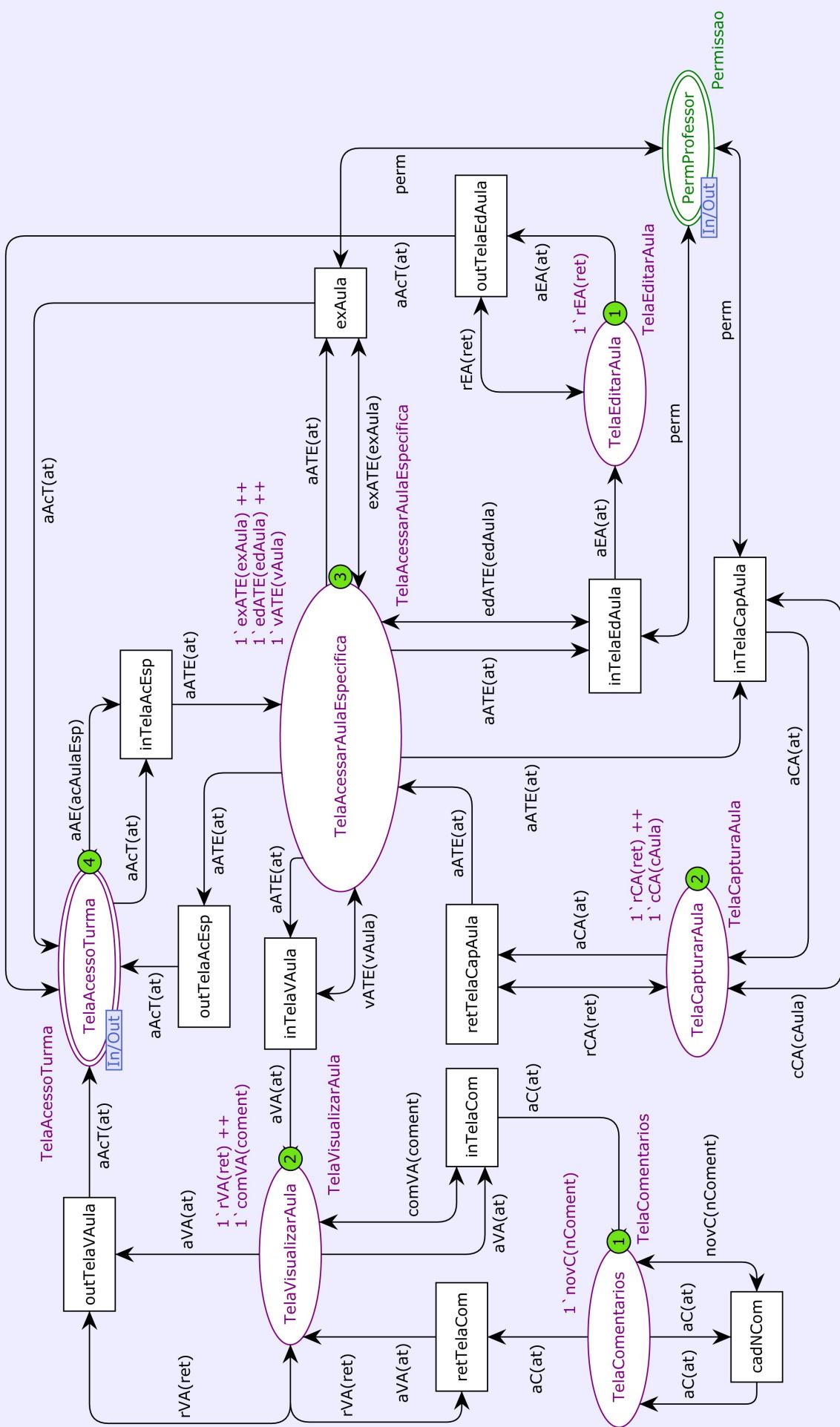
TelaAcessoTurma



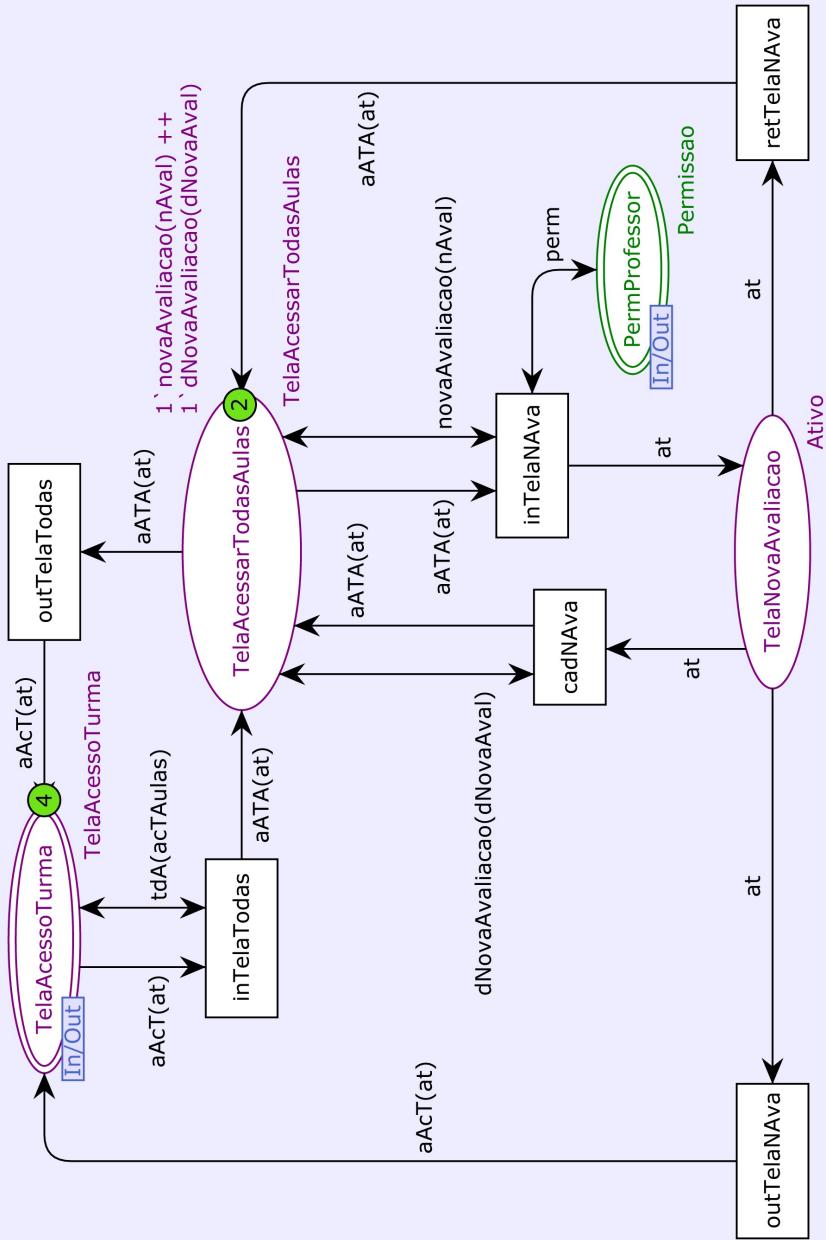
TelaAdicionarAula



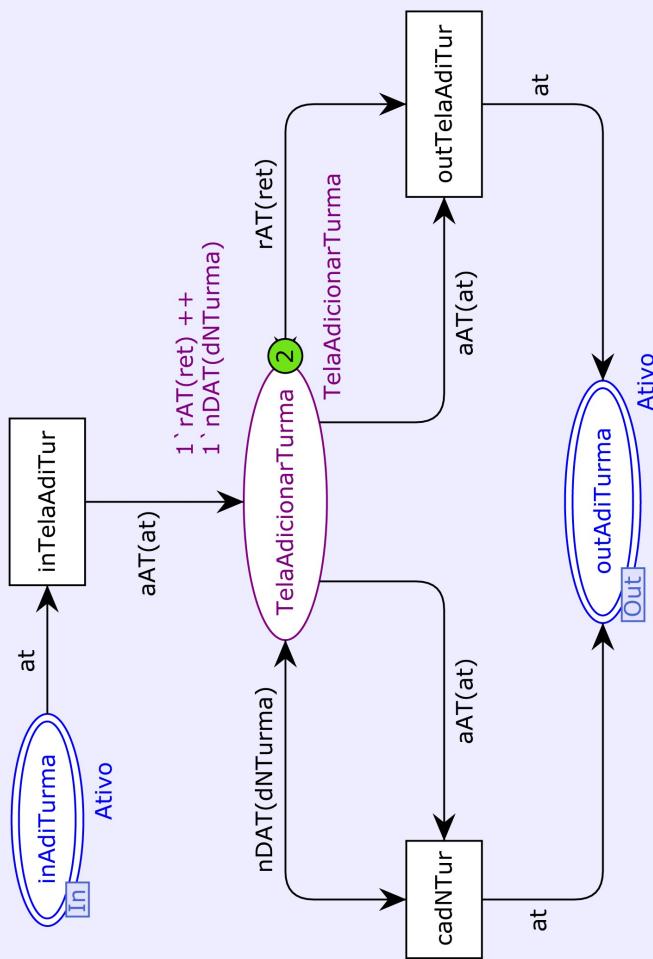
TelaAcessarAulaEspecific



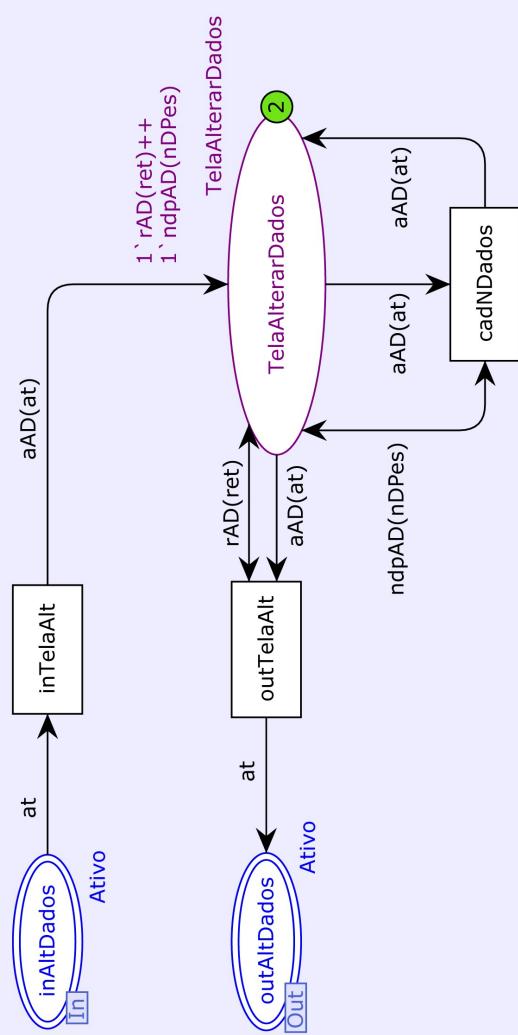
TelaAcessarTodasAulas



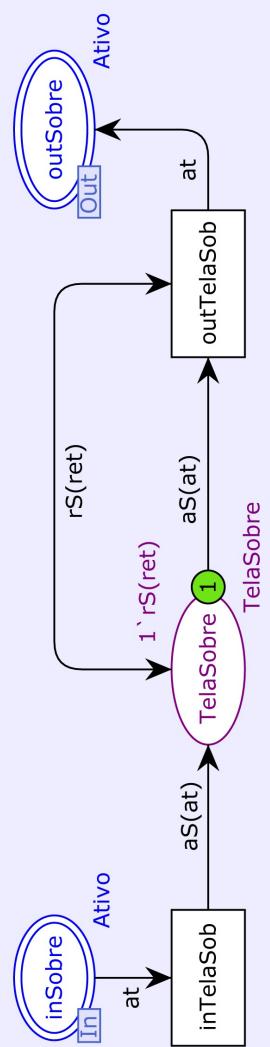
TelaAdicionarTurma



TelaAlterarDados



TelaSobre



▼ Classroom eXperience.cpn

Step: 0

Time: 0

► Options

► History

▼ Declarations

▼ Colset declarations

```
  ▼ colset Ativo = with at;
  ▼ colset Retornar = with ret;
  ▼ colset Contexto = with cont;
  ▼ colset dadosContexto = with dCont;
  ▼ colset Permissao = with permAluno | permProf;
  ▼ colset Sobre = with sobre;
  ▼ colset Idioma = with idm;
  ▼ colset novoIdioma = with nIdioma;
  ▼ colset dadosUsuario = with dUsuTrue | dUsuFalse;
  ▼ colset autLogin = union atLogin:Ativo + dadosUsuario:dadosUsuario;
  ▼ colset novoUsuario = with nUsuario;
  ▼ colset dadosNovoUsuario = with dNUsuario;
  ▼ colset Restricao = with restr;
  ▼ colset dadosRestricao = with dRestr;
  ▼ colset novaRestricao = with nRestr;
  ▼ colset dadosNovaRestricao = with dNRestr;
  ▼ colset Preferencia = with pref;
  ▼ colset dadosPreferencia = with dPref;
  ▼ colset novaPreferencia = with nPref;
  ▼ colset dadosNovaPreferencia = with dNovaPref;
  ▼ colset alterarDadosPessoais = with altDPes;
  ▼ colset novosDadosPessoais = with nDPes;
  ▼ colset Matricular = with matr;
  ▼ colset novaMatricula = with nMatr;
  ▼ colset codigoInscricao = with codInscTrue | codInscFalse;
  ▼ colset autInsc = product codigoInscricao*Ativo;
  ▼ colset adicionarTurma = with adTurma;
  ▼ colset dadosNovaTurma = with dNTurma;
  ▼ colset acessarTurma = with acTurma;
  ▼ colset inAcessarTurma = union a:Ativo + p:Permissao;
  ▼ colset acessarTodasAulas = with acTaulas;
  ▼ colset novaAvaliacao = with nAval;
  ▼ colset dadosNovaAvaliacao = with dNovaAval;
  ▼ colset acessarAulaEspecifica = with acAulaEsp;
  ▼ colset visualizarAula = with vAula;
  ▼ colset Comentarios = with coment;
  ▼ colset novoComentario = with nComent;
  ▼ colset adicionarAula = with adAula;
  ▼ colset dadosNovaAula = with dNAula;
  ▼ colset capturarAula = with cAula;
  ▼ colset editarAula = with edAula;
  ▼ colset excluirAula = with exAula;
  ▼ colset Logout = with lgt;
  ▼ Var declarations
    ▼ var perm: Permissao;
    ▼ var dUsuario: dadosUsuario;
    ▼ var codInsc: codigoInscricao;
  ▼ Colset Places declarations
    ▼ colset TelaLogin = union atL:Ativo + dUsu:dadosUsuario + nUsu: novoUsuario;
    ▼ colset TelaNovoUsuario = union atNU:Ativo + dNU:dadosNovoUsuario;
    ▼ colset TelaContexto = union aCon:Ativo + dCon:dadosContexto;
    ▼ colset TelaIdioma = union aIdi:Ativo + nIdi:novoIdioma;
    ▼ colset TelaSobre = union aS:Ativo + rS:Retornar;
    ▼ colset TelaNovaPreferencia = union aNP:Ativo + dNP:dadosNovaPreferencia;
    ▼ colset TelaPreferencia = union aP:Ativo + rP:Retornar + nP: novaPreferencia +
        exP: dadosPreferencia;
    ▼ colset TelaNovaRestricao = union aNR:Ativo + dNR:dadosNovaRestricao;
    ▼ colset TelaRestricoes = union aRes:Ativo + rRes:Retornar + nRes: novaRestricao +
        exRes: dadosRestricao;
    ▼ colset TelaAlterarDados = union aAD:Ativo + rAD:Retornar + ndpAD:novosDadosPessoais;
    ▼ colset TelaMatricular = union aMat:Ativo + rMat:Retornar + nMat:novaMatricula;
    ▼ colset TurmaSelecionada = union atsMat:Ativo + cdMat:codigoInscricao;
    ▼ colset AutMatricula = union aAut:Ativo + cdAu:codigoInscricao;
```

```
▼ colset TelaAdicionarTurma = union aAT:Ativo + rAT:Retornar + nDAT:dadosNovaTurma;
▼ colset TelaAcessoTurma = union aAcT:Ativo + rAcT:Retornar + aAE:acessarAulaEspecificia +
    adA:adicionarAula + tdA:acessarTodasAulas;
▼ colset TelaAcessarAulaEspecificia = union aATE:Ativo + vATE:visualizarAula + exATE:excluirAula +
    edATE:editarAula + capATE:capturarAula;
▼ colset TelaVisualizarAula = union aVA:Ativo + rVA:Retornar + comVA: Comentarios;
▼ colset TelaComentarios = union aC:Ativo + novC:novoComentario;
▼ colset TelaCapturaAula = union aCA:Ativo + rCA:Retornar + cCA:capturarAula;
▼ colset TelaEditarAula = union aEA:Ativo + rEA:Retornar;
▼ colset TelaAdicionarAula = union aAA:Ativo + rAA:Retornar + dnAA:dadosNovaAula;
▼ colset TelaAcessarTodasAulas = union aATA:Ativo + novaAvaliacao: novaAvaliacao +
    dNovaAvaliacao: dadosNovaAvaliacao;
▼ colset TelaPrincipal = union ativo:Ativo + idioma:Idioma + contexto:Contexto +
    restricao:Restricao + preferencia:Preferencia + matricula:Matricular +
    acessarTurma: acessarTurma + adicionarTurma:adicionarTurma + sobr:Sobre +
    alterarDadosPessoais:alterarDadosPessoais + logout:Logout;
▼ Monitors
▼ Modelagem Geral
  telaSobre
  telaIdioma
  telaLogin
  telaRestricoes
  telaPreferencias
  telaAlterarDados
  telaMatricular
  telaAdicionarTurma
  telaPrincipal
▼ telaAcessoTurma
  telaAdicionarAula
  telaAcAulaEsp
  telaAcTodasAulas
```

Gráficos de Assiduidade de Turmas e Frequências de Acesso ao Classroom eXperience

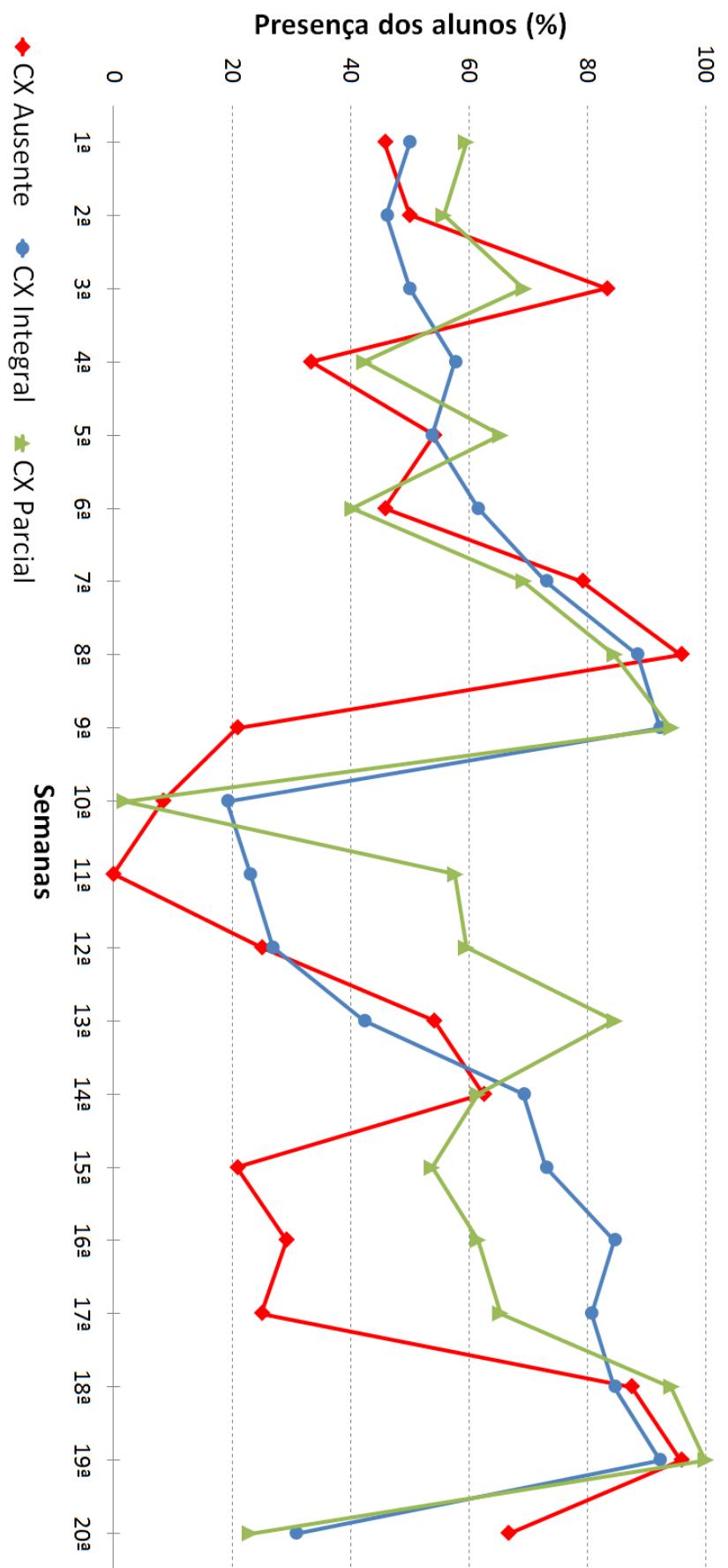


Figura C.1: Frequência em turmas de graduação que cursaram a disciplina A.

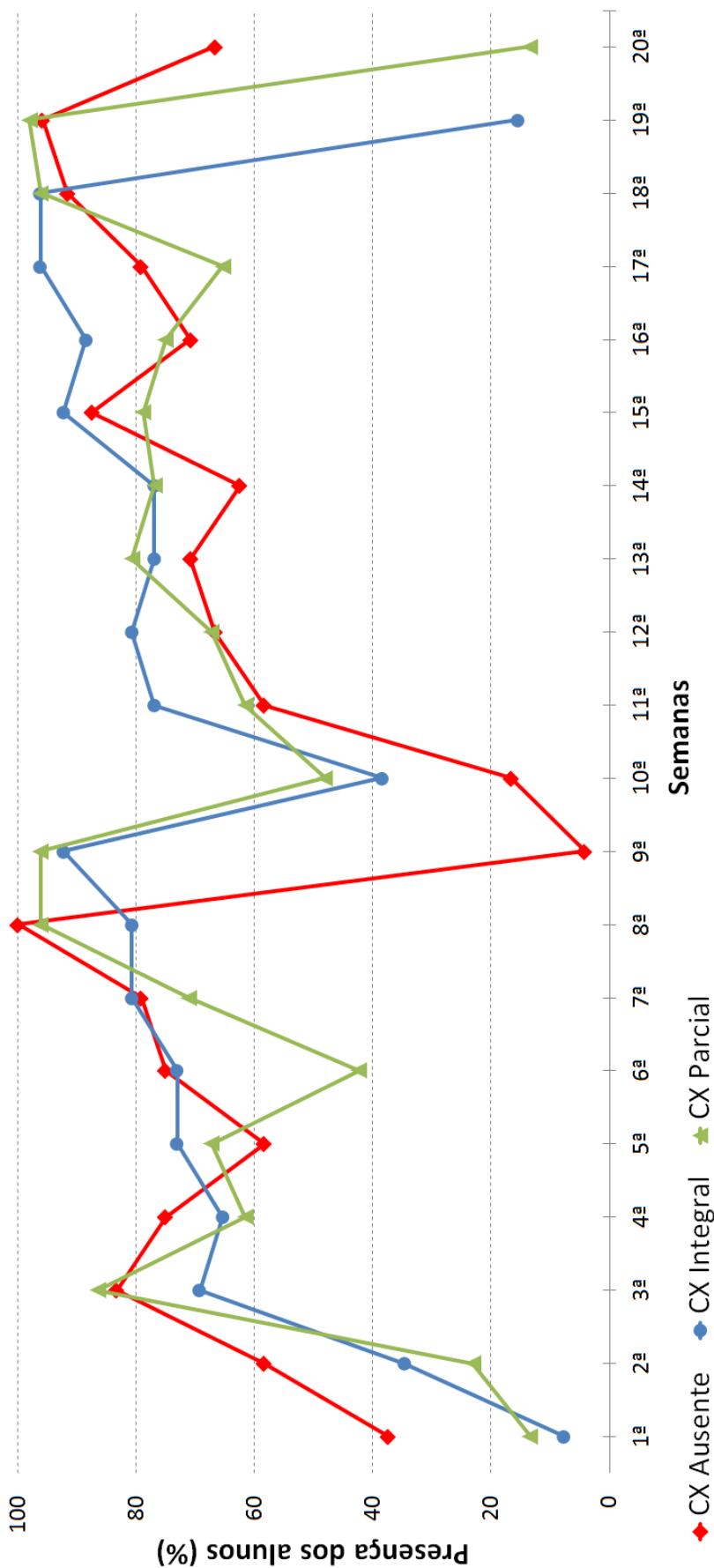


Figura C.2: Frequência em turmas de graduação que cursaram a disciplina B.

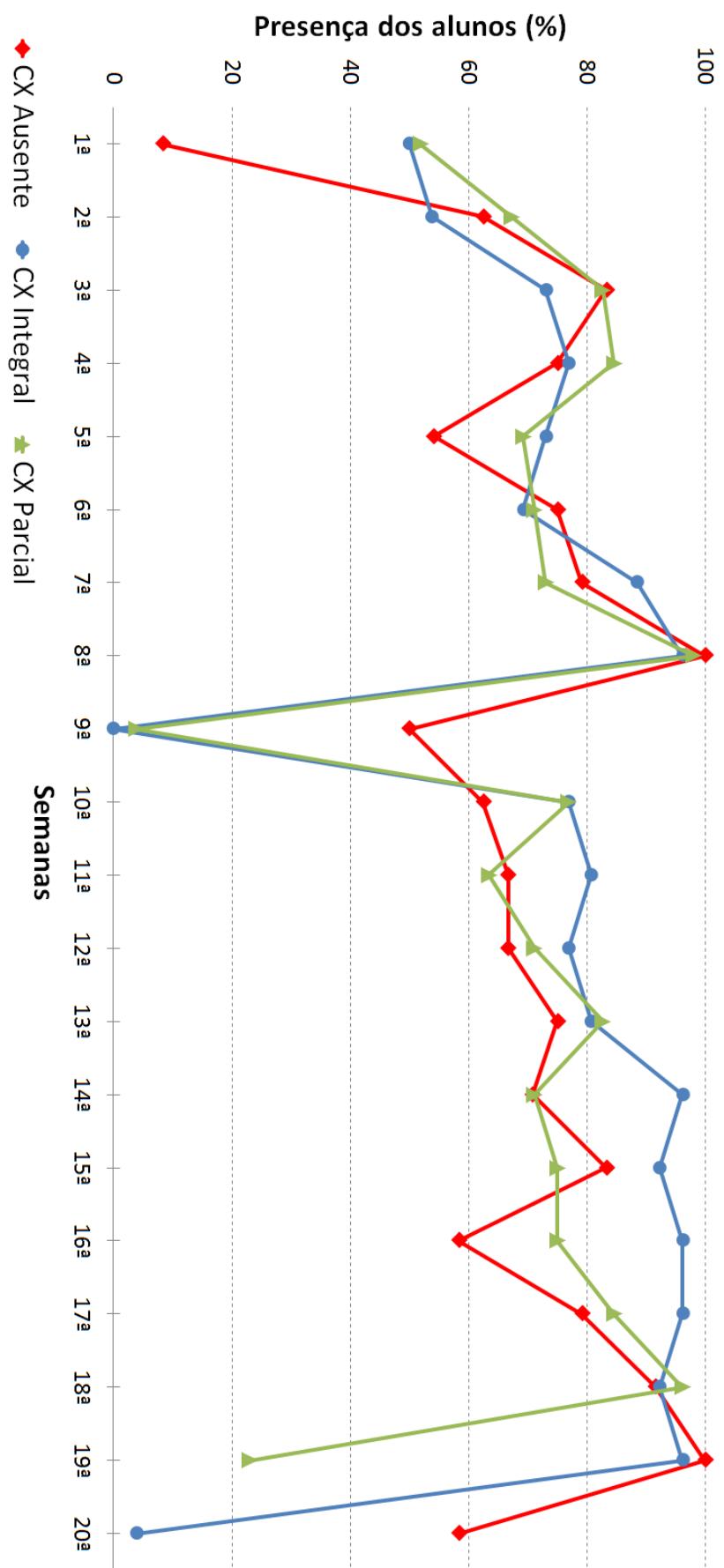


Figura C.3: Frequência em turmas de graduação que cursaram a disciplina C.

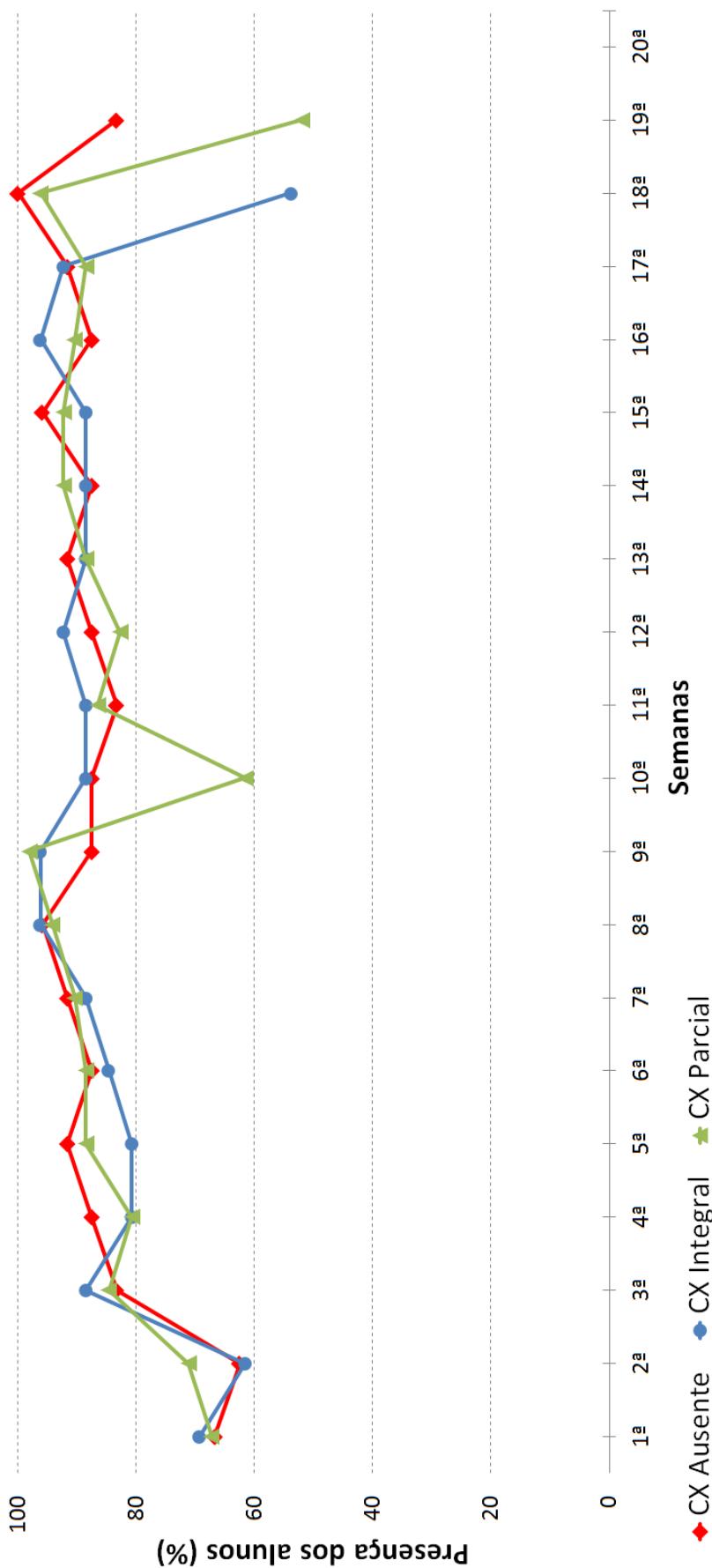


Figura C.4: Frequência em turmas de pós-graduação que cursaram a disciplina A.

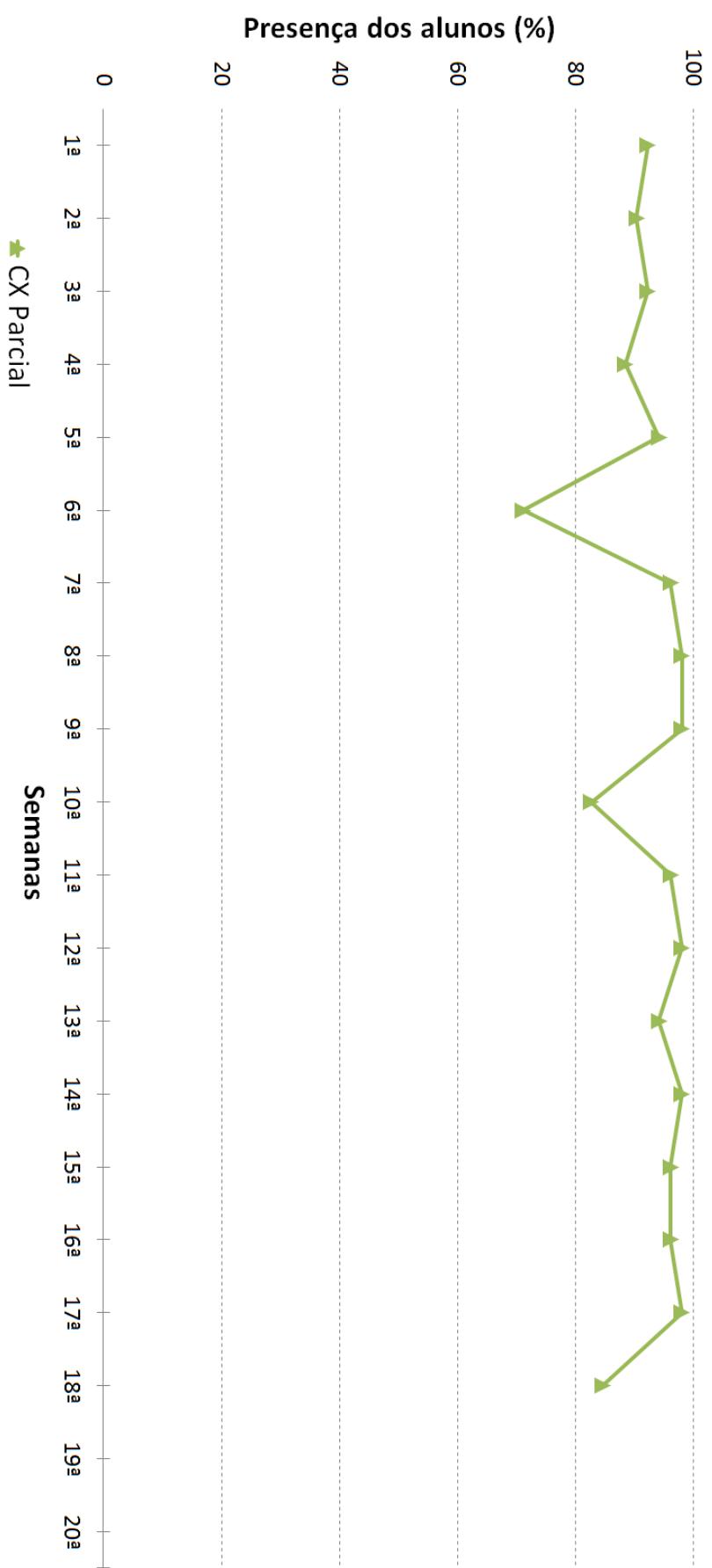


Figura C.5: Frequência na turma de pós-graduação que cursou a disciplina B.

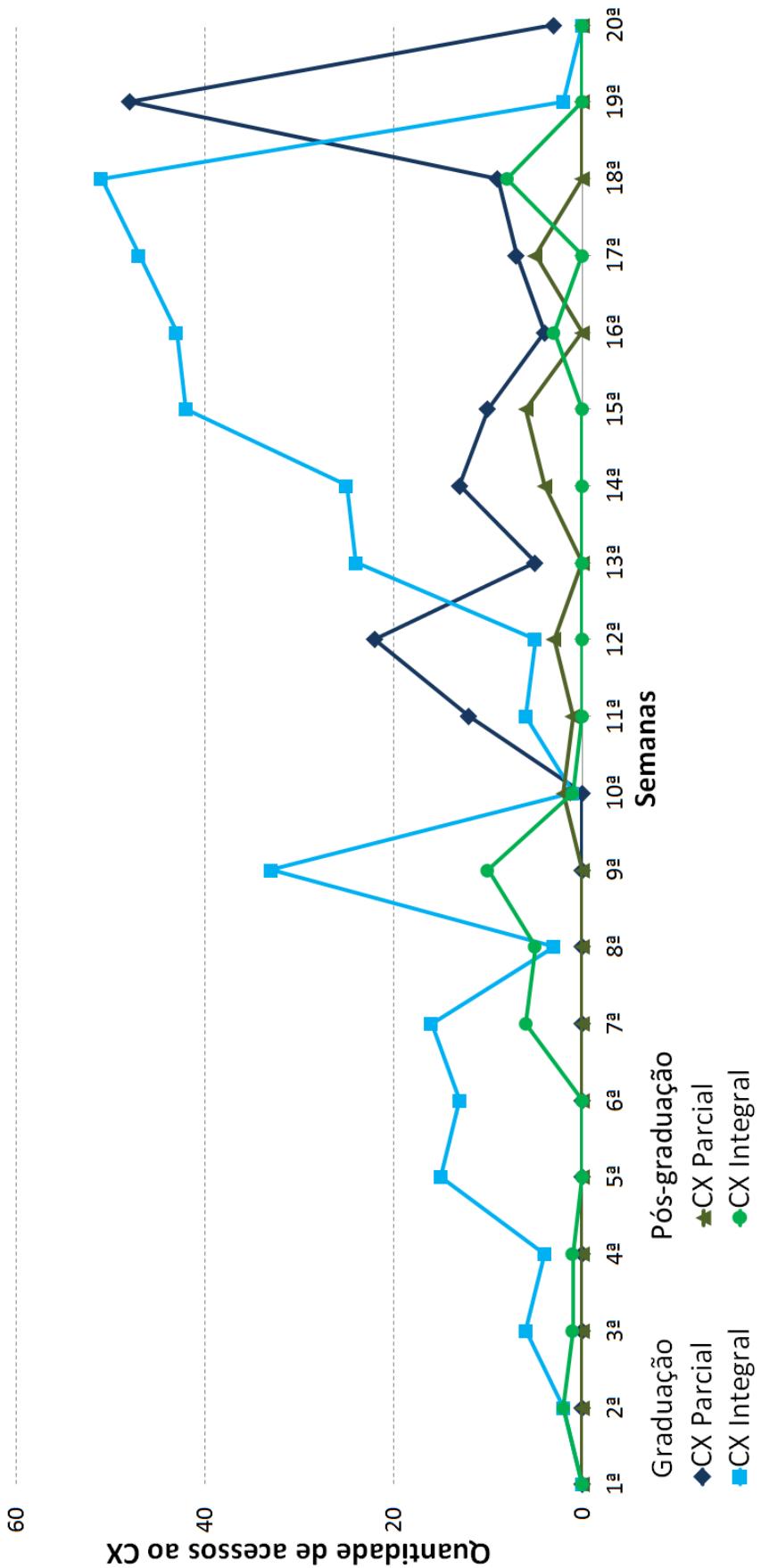


Figura C.6: Quantidade de acessos ao sistema por turmas de graduação e pós-graduação que cursaram a disciplina A.

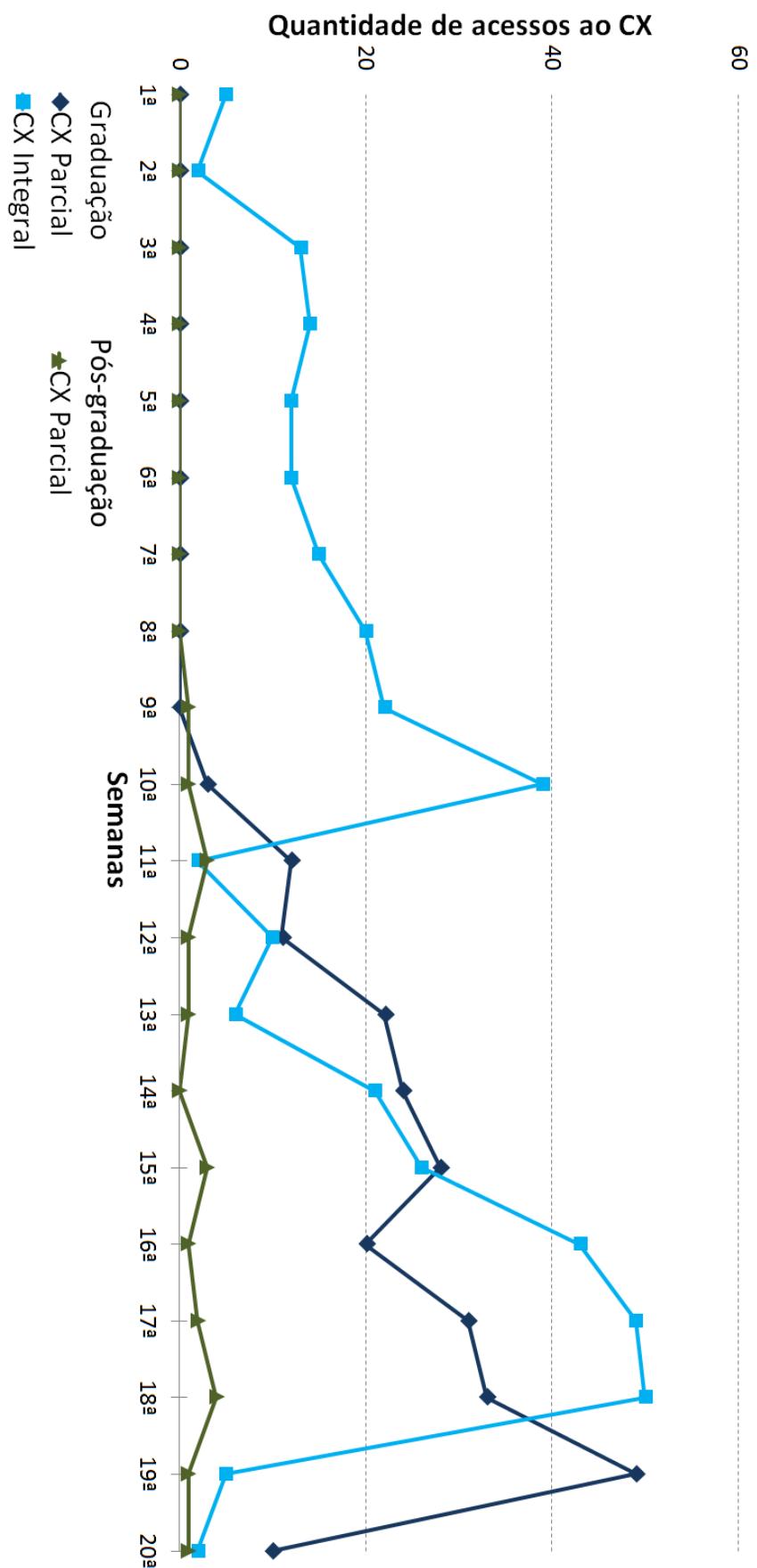


Figura C.7: Quantidade de acessos ao sistema por turmas de graduação e pós-graduação que cursaram a disciplina B.

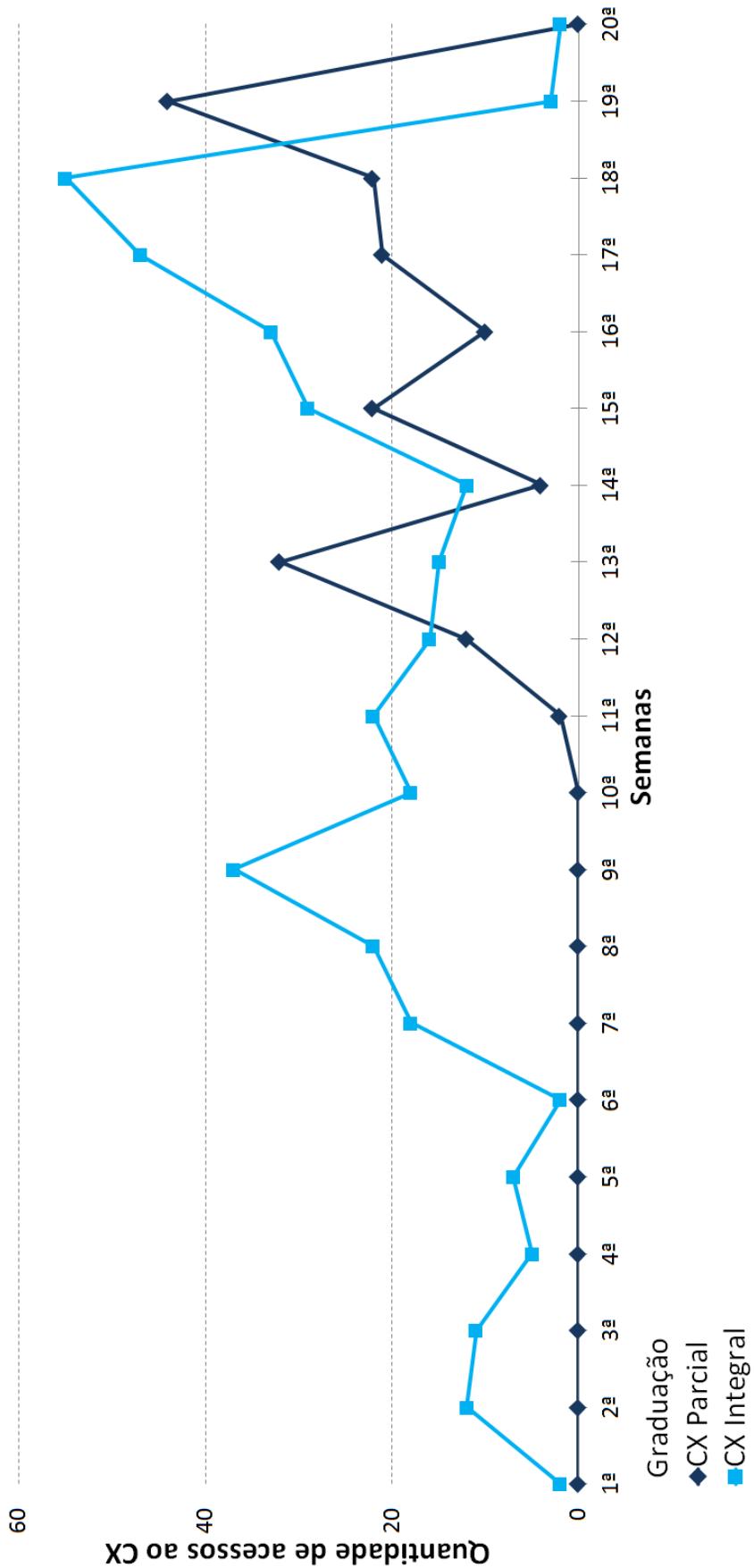


Figura C.8: Quantidade de acessos ao sistema por turmas de graduação que cursaram a disciplina C.