

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – TCC		
( X ) PRÉ-PROJETO	( ) PROJETO	ANO/SEMESTRE: 2021/2

## **SIMULANDO DESENVOLVIMENTO DE CIDADES UTILIZANDO SISTEMAS MULTIAGENTES**

Vitor Hugo Helmbrecht

Prof. Aurélio Faustino Hoppe – Orientador

### **1 INTRODUÇÃO**

Conforme as cidades vão se desenvolvendo, existe a possibilidade delas se tornarem desiguais e desequilibradas socialmente. Para resolver esse problema, surge o plano diretor, que busca garantir uma qualidade de vida para todos, assegurando que uma cidade cresça de maneira equilibrada (BLUME, 2018). Para Pacheco (2017) o termo planejamento urbano designa o ato de planejar, organizar ações e tarefas com a utilização de métodos adequados para atingir determinado objetivo, nesse caso, o desenvolvimento sustentável das cidades.

Ainda de acordo com Pacheco (2017), na prática, a noção de planejamento urbano muitas vezes desaparece em meio a aspectos mais palpáveis, como segurança e trânsito, tornando-se intangível para a maioria das pessoas. A concentração de serviços como escolas, hospitais, comércio, oportunidades de trabalho e opções de lazer apenas em bairros centrais faz com que um contingente significativo da população repita o mesmo padrão de deslocamento todos os dias em faixas e horários similares. Além de gerar congestionamentos, essa característica presente em muitas cidades, quando acompanhada de um serviço de transporte coletivo ineficiente, se torna um incentivo ao uso do carro. Para resolver esse e outros diversos tipos de problemas que surgem com o desenvolvimento desenfreado de cidades, o plano diretor da cidade deve prever diversos fatores, como (i) áreas com maior diversidade de uso, visando a mescla entre trabalho e moradia, (ii) mecanismos de regulação que promovam o equilíbrio entre serviços urbanos e a concentração tanto de pessoas quanto construções, (iii) áreas de expansão considerando a infraestrutura que será necessária para acompanhar o crescimento da cidade, (iv) um plano de infraestrutura direcionado a universalizar a oferta de serviços no perímetro urbano e assim por diante.

Prieto, Menezes e Calegari (2017) ressaltam que o plano diretor é um mecanismo extremamente difícil de ser planejado, citando vários motivos como o fato dele poder vir a ser muito localizado, muito vago ou extremamente ambicioso. De qualquer maneira, o primeiro problema citado por Prieto, Menezes e Calegari (2017) é o fato de que cidades são organismos vivos, dinâmicos, que se constituem, se transformam e se comportam de maneiras que não podem ser plenamente previstas ou controladas.

Como alternativa para entender o crescimento dessas cidades, atualmente são criados muitos modelos computacionais de predição, porém, eles esbarram na correlação dos dados de diferentes bases de dados ou na inexistência da informação. Diante deste contexto, uma alternativa muito utilizada na computação são os ambientes de simulação e técnicas de inteligência artificial que buscam prever o futuro. Um exemplo disso é a área de Sistemas Multiagentes (SMAs), que é um sistema que consiste em utilizar vários agentes com seus próprios objetivos e decidem o que fazer por si mesmos para chegarem nesses objetivos. Normalmente, os SMAs são utilizados para simulações e projeções do futuro em diferentes tipos de situação, desde o clima até o controle de cidades inteligentes inteiras.

Ressalta-se que simulações computacionais têm sido cada vez mais utilizadas como ferramenta para estudar fenômenos e apoiar a tomada de decisão. Simulações com agentes de software é um padrão recente de simulação, que faz uso de agentes simulados para estudar estes fenômenos. Neste padrão de simulação é possível focar nos indivíduos (agentes) e nos efeitos que o comportamento e as interações destes indivíduos podem causar no sistema em estudo. Simulações com agentes têm sido utilizadas com sucesso para simular e analisar multidões. No projeto do estádio Arena do Grêmio (Porto Alegre), a análise da capacidade de evacuação em casos de emergências foi realizada utilizando simulação com agentes (INCONTROL, 2021). Simulações com agentes também têm sido utilizadas para projetar infraestruturas viárias e na propagação de epidemias (ex.: gripe ou COVID19) (SUMO, 2021).

Diante desse contexto, esse trabalho propõe o desenvolvimento de um artefato computacional que simule o crescimento de Blumenau utilizando-se de SMAs, e com isso, facilitando o planejamento urbano ou a criação de políticas públicas ou de controle, visando entender com mais facilidade e rapidez qual é o rumo que a cidade pode ter ao longo do tempo.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho é fornecer um artefato computacional baseada nos conceitos de SMAs para a criação e simulação do desenvolvimento de Blumenau, bem como suas reações a eventos aleatórios no meio do processo de evolução.

Os objetivos específicos são:

- a) modelar o ambiente SMA a partir de cenários reais (mapas) e de informações socioeconômicas da cidade de Blumenau;
- b) modelar cada um dos elementos como um agente, definindo seu conhecimento, funções, comportamento e modos de interação;
- c) avaliar os comportamentos dos agentes no nível macro a partir de interações no nível micro;
- d) disponibilizar dados quantitativos que possam servir de indicadores de crescimento ou controle da cidade.

## 2 TRABALHOS CORRELATOS

Nesta seção são apresentados trabalhos com características semelhantes aos principais objetivos do estudo proposto. A seção 2.1 apresenta uma aplicação dos SMAs para simulação de geoprocessamento (GRIGOLETTI, 2007). Na seção 2.2 é descrito um software que utiliza SMAs para simular e prever o desenvolvimento urbano de cidades (BASTOS; COSTA, 2007). Por fim, a seção 2.3 apresenta uma modelagem de SMAs para o controle de cidades inteligentes (LOM; PiBYL, 2017).

### 2.1 UMA ARQUITETURA BASEADA EM SISTEMAS MULTIAGENTES PARA SIMULAÇÕES EM GEOPROCESSAMENTO

Grigoletti (2007) desenvolveu uma arquitetura utilizando as áreas de Sistemas Multiagentes (SMAs) e o Geoprocessamento para analisar e explorar a criação de modelos, realizando simulações de sistemas complexos e dinâmicos, focando na representação espacial e nas entidades que modificam o ambiente. Além disso, o autor também agregou modelos geográficos gerados com SMAs e Bancos de Dados Geográficos (BDGs).

Segundo Grigoletti (2007), as entidades podem se movimentar e explorar livremente todo o ambiente, sob a justificativa de que a simulação ocorre a partir de situações mais próximas da realidade. Outro ponto que o autor ressalta é que a organização e as percepções das entidades são baseadas em camadas, sendo então totalmente compatíveis com a organização dos dados em um BDG. Grigoletti (2007) desenvolveu a parte de comunicação entre as entidades baseada no ZOPE MultiAgent System (ZMAS), uma ferramenta que fornece uma plataforma de comunicação para SMAs e que segue o padrão Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) de comunicação entre entidades, que serve como uma padronização de tecnologias de comunicação entre agentes.

Na implementação, Grigoletti (2007) utilizou a linguagem Python, pois ela possui facilidade sintática e permite a criação de modelos de simulação sem a necessidade de conhecimento profundos de programação. Além disso, Grigoletti (2007) também utilizou o Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL e uma extensão chamada PostGIS, que segue a especificação Simple Features Specification (SFS) do Open Geospatial Consortium (OGC), que define um formato para o armazenamento, leitura, análise e atualização de “feições simples” (dados geográficos) em um SGBD.

Para a realização de testes e simulações, Grigoletti (2007) se utilizou de 4 estudos de caso, cada um sob uma óptica diferente. O autor ressaltou que os estudos de caso eram simples e que o objetivo principal das simulações era demonstrar que as funcionalidades desenvolvidas são úteis na modelagem de diferentes cenários.

De acordo com Grigoletti (2007), o primeiro estudo de caso teve como objetivo simular o crescimento de uma cidade e o posicionamento dos moradores dela baseado em sua renda. Ao final das simulações, o resultado saiu de acordo com o esperado, com as pessoas de menor renda se direcionando às periferias das cidades, as pessoas de maior renda se posicionando ao centro da cidade, bem como as pessoas de renda média se situando entre áreas. No segundo estudo, Grigoletti (2007) focou na alocação de policiais em regiões urbanas, tendo como finalidade verificar o comportamento da criminalidade naquelas regiões e, conforme a simulação foi ocorrendo, mais policiais e criminosos foram aparecendo no mapa, bem como os policiais focavam nos locais que mais existiam bandidos para realizar a prisão deles. Ao final da simulação, pôde-se observar que os policiais conseguiram se distribuir melhor ao redor da cidade, prendendo assim vários criminosos, enquanto os criminosos soltos estavam cada vez mais habitando as periferias da cidade. Já no terceiro estudo de caso, o autor teve como base um parque de diversões, tendo como objetivo entender como seria a movimentação dos visitantes dentro do parque, bem como auxiliar na otimização de seus processos de planejamento e manutenção. O parque de diversões foi preenchido com diferentes atrações, bem como, conforme a simulação evoluiu, mais pessoas que gostavam de determinadas atrações entravam ou mesmo saíam do parque. Ao final da simulação, era possível perceber que o

resultado foi conforme o esperado, com as pessoas se direcionando aos locais que mais agradavam ao seus gostos e saindo do parque conforme o tempo passava.

Em relação ao quarto e último estudo de caso realizado, Grigoletti (2007) teve como objetivo simular e entender a relação entre a ocorrência ou não de chuvas em uma determinada região e o aparecimento de fenômenos naturais como secas e inundações, ou seja, a relação chuva-vazão. Obteve-se que conforme chovia em determinada região, os lagos daquela região aumentavam seu nível de água, podendo causar inundações caso houvesse chuvas demais, ou então os lagos posicionados em regiões em que não chovia com frequência acabavam diminuindo seu nível, podendo assim causar secas.

Segundo Grigoletti (2007), o uso de BDGs se torna-se interessante em conluio com os SMAs devido a 2 pontos: (i) a facilidade da modelagem espacial contínua e precisa do ambiente e das entidades das simulações de forma simples e realista; (ii) vantagens para a área de Geoprocessamento, pois a junção fornece abstrações para a representação de eventos espaço-temporais dinâmicos, utilizando simulações baseadas em SMAs.

Grigoletti (2007) ressalta que a qualidade da representação espacial nas simulações está diretamente relacionada com a qualidade da base de dados utilizada no fornecimento dos dados geográficos. Outro ponto que o autor destacou foi que a arquitetura desenvolvida possui grandes vantagens em relação as funcionalidades que ela possui em relação às arquiteturas dos softwares vistos e comparados no começo do desenvolvimento. Além disso, o autor também indica que, apesar da facilidade de execução e sucesso, existiu uma dificuldade na avaliação da arquitetura, devido à falta de métricas e benchmarks existentes nesse contexto.

Por fim, Grigoletti (2007) sugere como melhoria o desenvolvimento de um modelo de escalonamento mais complexo, que permitisse a definição da ordem de escalonamento, além de possibilitar que ações sejam escalonadas antes da simulação iniciar, após o fim da simulação, em momentos específicos e durante intervalos de tempo.

## 2.2 SIMCIDADE – UM SIMULADOR DE CRESCIMENTO URBANO UTILIZANDO SISTEMAS MULTIAGENTES REATIVOS

Bastos e Costa (2007) desenvolveram um sistema multiagentes para simular o desenvolvimento urbano da cidade de Bauru/SP. Segundo os autores, o crescimento foi simulado durante um certo período, sendo comparado com a realidade através de fotos de satélite.

Para realizar a simulação, Bastos e Costa (2007) utilizaram SMA reativos, seguindo a premissa de que é possível realizar tarefas complexas a partir de uma grande quantidade de entidades únicas e simples trabalhando em conjunto, semelhante ao funcionamento de sociedades do reino animal como a dos humanos ou a das formigas. Ainda segundo os autores, neste caso, o sistema de SMA agirá como um conjunto de agentes em interação, no qual cada um desses agentes tem seus próprios comportamentos individuais e atuam sobre camadas representando características da cidade em estudo, como ferrovias, rodovias e rios. Para isso, Bastos e Costa (2007) optaram pelo modelo PACO, que consiste em determinar a priori quais são as ações que cada agente do SMA irá tomar baseado em seu conhecimento dos demais elementos independentes que estão ao seu alcance. Além disso, as interações entre os agentes são modeladas sob a forma de forças, obrigando assim que eles se desloquem no ambiente. Os autores também apontam que o algoritmo foi desenvolvido na linguagem Java, realizando a simulação de crescimento de forma bottom-up.

Segundo Bastos e Costa (2007), para o desenvolvimento do modelo foram utilizados mapas reais de uso do solo da cidade paulista de Bauru compreendendo três períodos, entre 1967, 1979, 1988 e 2000. A partir desses mapas, realizou-se a calibração do modelo baseado no período completo dos dados, no entanto, para a realização das simulações optou-se pelo período entre 1979 e 1988, por se tratar do período que apresentou alterações mais relevantes na configuração da cidade, tornando a simulação mais interessante e proporcionando uma visualização mais clara das mudanças.

Bastos e Costa (2007) destacam que através dos mapas originais em formato vetorial foram gerados mapas matriciais bidimensionais em formato de grade com 63 colunas por 50 linhas para uso no simulador. Além disso, as células que continham menos de 20% de uso urbano foram consideradas não urbanas. Também foi adicionado um gradiente de distâncias, no qual cada célula abriga um valor que indica o número de passos necessários para atingir uma célula atravessada por rodovia. Em cima desse mapa, aplicou-se um algoritmo semelhante ao método da Roleta de Algoritmos Genéticos para determinar onde o próximo agente irá surgir, sendo esse um agente completamente aleatório dentro das opções existentes. Após a criação do agente, ele seguirá as regras estipuladas, buscando uma posição de equilíbrio no ambiente simulado.

Segundo Bastos e Costa (2007), foram realizadas um total de 50 repetições das simulações com a mesma calibração inicial, obtendo-se uma média de acertos de 90,64% para residências, 91,09% para indústrias e 85,5% para comércio/serviços. No total, em média, 89,07% dos agentes foram posicionados corretamente. Ainda de

acordo com os autores, no melhor cenário a taxa de sucesso do posicionamento dos agentes foi de 91,09%, sendo 91,96% para residências, 92,15% para indústrias e 89,18% para comércio/serviços.

Bastos e Costa (2007) relatam que durante o desenvolvimento houve dificuldades para obter dados reais de outras cidades de porte médio, o que fez com que apenas uma cidade fosse utilizada durante o desenvolvimento. De qualquer maneira, ressalta-se que isso não inviabiliza a utilização do simulador para outras cidades com características semelhantes à Bauru. Além disso, os autores também apontam que o simulador pode auxiliar no processo de tomada de decisões, possibilitando a redução de custos e riscos aplicáveis em situações reais de planejamento urbano.

Por fim, Bastos e Costa (2007) concluíram que a utilização de SMA para a simulação de problemas sociais reais como o de crescimento urbano mostrou-se útil e confiável, permitindo que a resolução do problema e a construção do modelo possa ser feita de uma forma simples e sem as limitações encontradas em outros modelos ou algoritmos. Como sugestões de trabalhos futuros, os autores sugerem a inclusão de grandes polos de atração no ambiente, como um shopping center, verificando sua influência em relação a tomada de decisão dos agentes.

### 2.3 MODELING OF SMART CITY BUILDING BLOCKS USING MULTI-AGENT SYSTEMS

Lom e Příby (2017) afirmam que, no futuro, a existência de cidades inteligentes é óbvio e natural, pois traz inúmeras vantagens para as cidades. Com isso em mente, os autores resolveram buscar resolver o problema de como modelar e como tratar diferentes dados de diferentes sistemas por toda a cidade inteligente.

Para realizar o desenvolvimento do modelo desejado, Lom e Příby (2017) propõem a utilização de SMAs como base fundamental dessa modelagem, fazendo assim com que cada produto e ser humano seja modelado como um agente inteligente com suas próprias crenças, objetivos e intenções. A partir disso, Lom e Příby (2017) concluem que dessa maneira é possível compor os sistemas da cidade inteligente de maneira independente e com facilidade, assim seguindo à procura de conexões entre os sistemas individuais de maneiras dinâmicas. Outro ponto citado pelos autores para justificar a utilização de SMAs é o fato de que na natureza não existir nenhum cérebro central que controla tudo, ou seja, SMAs são a arquitetura que melhor agem de acordo com esse princípio, assim se tornando o sistema que mais faz sentido ser utilizado ao desenvolver uma cidade inteligente.

Em relação à escolha da arquitetura, Lom e Příby (2017) falam sobre 4 tipos básicos de arquiteturas: arquitetura baseada em lógica, reativa, crença-desejo-intenção (*Belief, Desire and Intention* - BDI) e em camadas. Após falar sobre os pontos positivos e negativos de cada tipo de arquitetura, Lom e Příby (2017) decidem utilizar a arquitetura BDI para a modelagem, levando em consideração que: (i) é uma arquitetura intuitiva, já que utiliza-se diariamente esse padrão, decidindo o que fazer e depois, como fazer a partir de suas crenças, desejos e intenções; (ii) essa arquitetura apresenta uma decomposição funcional clara, que indica que tipos de subsistemas podem ser necessário para desenvolver um agente; (iii) entre as 4 apresentadas, essa arquitetura é a que mais vai de acordo com o objetivo de ter agentes que conseguem se adequar às mudanças do ambiente, podendo ter seus métodos de execução alterados de acordo com o que está disponível para a execução de suas crenças, desejos e intenções.

Lom e Příby (2017) explicam que, em uma arquitetura BDI, as crenças representam o estado de informações do agente, ou em outras palavras, aquilo no que o agente acredita ser necessário armazenar para seu funcionamento/execução. A parte dos desejos representam o estado de motivação do agente, deixando claro seus objetivos ou situações que o agente gostaria de concluir, ou em outras palavras, são os objetivos do agente, que podem ser algo como procurar o melhor preço, ir para uma festa ou se tornar rico. Já em relação às intenções, elas representam o estado deliberativo do agente, aquilo que o agente começou a executar como plano para chegar em seus objetivos. Para o desenvolvimento de uma modelagem BDI, Lom e Příby (2017) utilizaram como base uma lâmpada. A escolha da lâmpada se deu pelo fato de lâmpadas estarem presentes em quase todas as ruas dentro de uma cidade, não serem de acesso fácil e estarem próximas de todos os maiores blocos de construções de cidades.

Para realizar a modelagem BDI da lâmpada, Lom e Příby (2017) também precisaram modelar os demais agentes que irão interagir com a lâmpada de acordo com seu modelo, que seriam o sensor de tempo (no sentido de clima), sensor de pedestres, sensor de tráfego e a rede elétrica inteligente, determinando assim para cada um quais seriam suas crenças, desejos e intenções.

Em relação aos resultados, Lom e Příby (2017) modelaram o BDI para a lâmpada da seguinte forma: (i) para as crenças, foi decidido que a lâmpada deveria possuir dados de performance inicial (após ser colocada em operação), a performance máxima alcançada, o consumo inicial, o estado inicial e se é necessário ou não o serviço de manutenção no momento; (ii) em relação aos desejos, a lâmpada buscaria receber solicitações de outros agentes, medir o consumo, enviar informações sobre consumo e estado para outros agentes, prever seu consumo futuro, enviar sua previsão de consumo para a rede elétrica inteligente, verificar seu estado atual e determinar suas ações de acordo com o horário; (iii) quanto às intenções da lâmpada, foram decididas algumas possibilidades a que decisões seriam tomadas baseado nas informações que estavam armazenadas, como por exemplo “enviar uma requisição com o estado atual da lâmpada quando o estado atual for diferente do estado bom”.

Ao final, Lom e Přibý (2017) concluíram que a utilização de SMAs no processo de modelagem de uma cidade inteligente é o que faz mais sentido, já que o objetivo de ambos nesse caso está alinhado. Além disso, os autores ainda concluíram que a utilização da arquitetura BDI é mais uma parte que traz muitos pontos positivos ao objetivo final, pois permite que os agentes possam ser responsivos aos possíveis e prováveis imprevistos que acontecerão na cidade inteligente, podendo se adequar às mudanças do ambiente com grande facilidade e sem perder o foco de seus objetivos finais.

### 3 PROPOSTA DO PROTÓTIPO DE SISTEMA

Neste capítulo são definidas as justificativas de elaboração dessa ferramenta, assim como os requisitos funcionais, não funcionais e a metodologia aplicada.

#### 3.1 JUSTIFICATIVA

No Quadro 1 é apresentado um comparativo dos trabalhos correlatos. As linhas representam as características e as colunas os trabalhos.

Quadro 1 – Comparativo dos trabalhos correlatos

Características	Trabalhos correlatos	Grigoletti (2007)	Bastos e Costa (2007)	Lom e Přibý (2017)
Objetivo		Realizar simulações de ambientes e suas entidades.	Utilizar SMAs para simular o desenvolvimento urbano de cidades.	Modelar e tratar diferentes sistemas simultaneamente em uma cidade inteligente.
Arquitetura de modelagem dos SMAs		Arquitetura própria	PACO	BDI
Linguagem de programação		Python	Java	Não utilizou/não informou
Como foi realizada a geração dos mapas		Mapas próprios montados do zero, fictícios	Utilizado o mapa de 1979 da cidade de Bauru - SP	Não gerou/não informou
Quais bases foram utilizadas para comparação		“City of Slums” / Base própria	Mapa da cidade de Bauru - SP de 1988	Não utilizou/não informou
Cenários testados		Desenvolvimento urbano baseado em renda, alocação de policiais em regiões urbanas, movimentação de visitantes em parques e simular a relação chuva-vazão	Evolução urbana de Bauru – SP de 1979 a 1988	Não testou/não informou
Forma de interação dos agentes		Baseado no ZMAS	Forma de forças	Intenções
Período de calibragem		Não calibrou/não informou	50 repetições	Não calibrou/não informou
Quais dados externos foram utilizados para fazer a calibragem		Não calibrou/não informou	Mapa da cidade de Bauru - SP de 1979 e 1988	Não calibrou/não informou
Quantidade de repetições por simulação		126, 85, 115 e 39	Não informou	Não informou

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do Quadro 1, pode-se observar que Grigoletti (2007) teve como objetivo realizar simulações de ambientes completos, desde seu terreno até os agentes que estão agindo nele, o que é bem semelhante com o objetivo de Bastos e Costa (2007), que era simular o desenvolvimento urbano de uma cidade, situação na qual também se torna necessário simular o terreno da cidade e seus agentes. Já Lom e Přibý (2017) resolveram focar apenas na parte da modelagem de diferentes agentes de um SMA utilizado para controlar uma cidade inteligente, optando assim por não realizar testes a partir dos modelos desenvolvidos.

Quanto à arquitetura de modelagem dos SMAs, Grigoletti (2007) utilizou uma arquitetura própria, que foi extraída a partir da pesquisa de diferentes softwares que utilizavam SMAs. Bastos e Costa (2007) em contrapartida resolveram utilizar a arquitetura PACO, que consiste em determinar a priori quais são as ações que cada agente do SMA irá tomar baseado em seu conhecimento dos demais elementos independentes que estão ao seu alcance, o que permitiu aos autores terem um objetivo claro em mente de como seria a modelagem de seus agentes. Já Lom e Příby (2017) optaram pela BDI, uma modelagem mais atual e completa, que permite aos agentes terem acesso a múltiplos recursos ao mesmo tempo, bem como realizar diferentes tarefas baseado nos recursos ao seu alcance e os objetivos que o agente pretende cumprir, o que acaba encaixando como uma luva em SMAs que se utilizarão de agentes mais complexos e que podem exercer múltiplas funções.

Em relação as simulações realizadas pelos autores, é possível perceber uma grande diferença entre Grigoletti (2007) e Bastos e Costa (2007), pois enquanto Grigoletti (2007) resolveu criar mapas próprios, se basear em expectativas próprias para realizar a verificação de resultados na maioria de suas simulações, Bastos e Costa (2007) optaram por utilizar como base um mapa real do ano de 1979 da cidade de Bauru – SP e comparar os resultados de suas simulações com o mapa de 1988, permitindo que eles obtivessem um percentual de acurácia ao final de suas simulações, trazendo assim uma maior credibilidade para seus resultados.

Também é possível verificar que todos os autores optaram por formas diferentes de interação dos agentes, Grigoletti (2007) optou por uma interação baseada no ZMAS, sob a prerrogativa dessa ferramenta seguir o padrão FIPA de comunicações entre agentes. Já Bastos e Costa (2007) se utilizaram de interações por meio de forças, afirmando que esse método obrigaria os agentes a se deslocarem pelo ambiente no qual estão inseridos. Por fim, Lom e Příby (2017) apenas precisaram seguir a arquitetura de modelagem pela qual eles optaram, já que a arquitetura BDI assume que as interações entre agentes são realizadas através das intenções deles, ou seja, aquilo que eles pretendem e irão fazer sob determinadas circunstâncias.

É possível perceber que os trabalhos correlatos se utilizaram de técnicas variadas para o desenvolvimento de SMAs, baseado nos julgamentos de cada autor de que arquitetura, linguagem, forma de interação entre agentes e cenários de teste mais correspondessem aos seus objetivos. No trabalho proposto, têm-se como objetivo disponibilizar um artefato computacional que possa simular o desenvolvimento de cidades baseado em seus mapas, na qual o usuário poderá utilizar uma modelagem pré-definida padrão ou então optar por modelar seus próprios agentes conforme desejar, seguindo a arquitetura BDI.

Diante deste cenário, este trabalho torna-se relevante pois desenvolverá um artefato computacional para simular o crescimento da cidade Blumenau utilizando SMAs. Serão modelados agentes com características oriundas dos perfis socioeconômicos disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além disso, também serão disponibilizados agentes pré-definidos, seguindo a arquitetura crença-desejo-intenção. A partir dessa estrutura, será possível realizar calibrações, para ter uma noção de quão próximo o artefato está da realidade e, consecutivamente, realizar simulações de desenvolvimento futuros da cidade, facilitando assim o entendimento e desenvolvimento urbano, evitando atos desnecessários ou baseados em suposições sem fundos concretos. Ressalta-se que esse trabalho será o primeiro a utilizar a cidade de Blumenau como cenário de simulação via Sistemas Multiagentes. Além disso, ele também mostra-se complexo por conta da modelagem em si, assim como pela utilização de informações que visam representar de forma fidedigna a população da cidade.

### 3.2 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

O artefato computacional a ser desenvolvido deverá:

- a) permitir a utilização de mapas da cidade como cenário de simulação (Requisito Funcional – RF);
- b) permitir a definição de densidade demográfica por região no mapa (RF);
- c) fornecer uma série de agentes pré-existente (RF);
- d) permitir a adição de eventos aleatórios ou mesmo pré-determinados pelo usuário na simulação (RF);
- e) permitir a adição de novas características aos agentes a partir das atualizações socioeconômicas oriundos do IBGE (RF);
- f) realizar a simulação de desenvolvimento urbano da cidade a partir da arquitetura BDI (RF);
- g) informar a acurácia e disponibilizar gráficos e informações do comportamento da simulação (RF);
- h) permitir a comparação dos resultados a partir de um mapa (RF);
- i) utilizar o paradigma de programação orientada a agentes (Requisito Não Funcional – RNF);
- j) ser desenvolvido na linguagem de programação Python e na ferramenta NetLogo (RNF).

### 3.3 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- a) levantamento bibliográfico: escolher trabalhos correlatos e entender os assuntos relacionados à desenvolvimento urbano e SMAs;

- b) busca por base de dados: pesquisar por uma base de dados que permita a realização de comparações entre o estado inicial e o objetivo final (mapas e informações socioeconômicas);
- c) definição do cenário de simulação: identificar os aspectos relevantes (estado global, dinâmicas globais/ entidades locais) que representem o ambiente dos agentes;
- d) definição de parâmetros iniciais: determinar as informações do ambiente, as quais devem ser fornecidas aos agentes para que estes possam selecionar as ações a serem praticadas;
- e) modelagem dos agentes: determinar das ações básicas dos agentes, e suas reações às entidades do ambiente;
- f) definição e escolha da arquitetura de agentes: pesquisar as principais arquiteturas que possibilitem explorar a conexão entre o comportamento ao nível micro dos indivíduos e os padrões ao nível macro, escolhendo o mais adequado para o desenvolvimento do trabalho;
- g) implementação: desenvolver o artefato computacional de simulação multiagente a partir dos itens (b) até (f), considerando inicialmente a arquitetura BDI, utilizando a linguagem de programação Python e a ferramenta NetLogo;
- h) validação e calibragem: comparar os resultados do artefato computacional com os dados coletados, reajustando os agentes até que o cenário simulado tenha valores quantitativos correspondentes aos indicadores socioeconômicos atuais. A partir disso, serão realizadas simulações que indiquem o comportamento de crescimento e que elas possam ser levadas em consideração quanto ao planejamento futuro da cidade de Blumenau.

As etapas serão realizadas nos períodos relacionados no Quadro 2.

Quadro 2 – Cronograma de atividades a serem realizadas

etapas / quinzenas	2022									
	fev.		mar.		abr.		maio		jun.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
levantamento bibliográfico										
busca por base de dados										
definição do cenário de simulação										
definição de parâmetros iniciais										
modelagem do agente										
definição e escolha da arquitetura de agentes										
implementação										
validação e calibragem										

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão abordados brevemente os principais assuntos que fundamentarão o estudo a ser realizado: Desenvolvimento Urbano e Sistemas Multiagentes.

A noção de desenvolvimento urbano está ligada ao processo de produção das cidades, informando, por sua vez, por relações que tomam lugar no espaço. Aspectos políticos, institucionais, econômicos, sociais, culturais, ambientais, fundiários (uso, posse, propriedade da terra) e estruturas históricas das cidades compõem de maneira múltipla e complexa essas relações, que foram (e continuam) se modificando ao longo do tempo. As políticas de desenvolvimento urbano devem dialogar com e buscar interferir processualmente nas dinâmicas de produção do espaço urbano, para alcançar padrões de desenvolvimento urbano desejados no momento histórico em que elas são formuladas (BRUNO, 2020).

O objetivo do planejamento de desenvolvimento urbano é evoluir o quadro de desigualdade socioespacial intermunicipal, podendo se focar em alguns indicadores de caráter sistêmicos, existentes ou adaptados, que respondem a essa necessidade. Existem no Brasil indicadores que medem condições de vida nas cidades, como por exemplo o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e aqueles usados para compor a Tipologia Intraurbana no Brasil (TIB) (BRUNO, 2021).

A ideia por trás de sistemas multiagentes é definir agentes que consigam resolver serviços complexos. Agentes podem definir seus próprios objetivos e planos, assim como podem realizar interações complexas com os demais agentes. Os agentes são independentes de uma organização de solução de problema única, tanto que eles podem definir ou até mesmo mudar essa organização conforme a resolução do problema for acontecendo. De qualquer forma, para que isso ocorra, os agentes precisam ser capazes de perceber as mudanças e agir no ambiente no qual eles estão inseridos. Eles também têm a capacidade de levar em conta os objetivos e as habilidades de outros agentes, para assim resolver o problema de forma cooperativa (SICHTMAN, 1995).

A estrutura e a arquitetura de modelagem de agentes podem variar de acordo com os objetivos desse agente. A primeira coisa a se fazer para definir qual arquitetura utilizar está baseada em entender qual o tipo de agente do qual se está tratando. Os agentes podem ser cognitivos, que podem ser considerados racionais e tem a capacidade de escolher as ações a executar, dentre as existentes em seu repertório, para chegar em seu objetivo, bem como podem ser reativos, que não necessariamente são agentes racionais, pois eles podem ter seu comportamento definido através de um padrão estímulo-resposta (JUCHEM, 2001). A partir dos dois tipos de agentes descritos, é possível desenvolver uma arquitetura cognitiva (ou deliberativa), que adota o princípio de que agentes são racionais, definindo assim que os agentes cognitivos têm suas deliberações feitas por meio de um processo baseado em raciocínio lógico, escolhendo sua ação por meio da representação simbólica do mundo, um plano e uma função utilizada para a ação. Também pode-se desenvolver uma arquitetura funcional, na qual o agente é composto por módulos que representam cada uma das funcionalidades necessárias para sua operação. Outra arquitetura tradicional muito comum é a arquitetura BDI, que considera três estados mentais do agente: Crença, Desejo e Interação (*Belief, Desire and Intention*). A arquitetura BDI permite que o agente possa decidir, momento a momento, qual ação desempenhar na direção de seus objetivos (JUCHEM, 2001).

## REFERÊNCIAS

- BASTOS, André D.; COSTA, Antônio C. R. SimCidade – Um simulador de crescimento urbano utilizando Sistemas Multiagentes Reativos. In: Encontro Nacional de Inteligência Artificial, 6, 2007, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio De Janeiro: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 1232-1241.
- BLUME, Bruno A. **O que é um Plano Diretor?** Disponível em: <<https://www.politize.com.br/plano-diretor-o-que-e/>>. Acesso em: 02 out. 2021.
- BRUNO, Ana P. **Agenda nacional de desenvolvimento urbano sustentável**. 2021. Disponível em: <[https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-urbano/politica-nacional-de-desenvolvimento-urbano/PNDU\\_TextoBase.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-urbano/politica-nacional-de-desenvolvimento-urbano/PNDU_TextoBase.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2021.
- BRUNO, Ana P. **Desenvolvimento urbano: o contexto de formulação da política nacional de desenvolvimento urbano**. 2020. Disponível em: <[https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-urbano/SEINFRA\\_TCU\\_Desenvolvimento\\_Urbano\\_APB\\_final\\_para\\_publicacao\\_site\\_MDR.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-urbano/SEINFRA_TCU_Desenvolvimento_Urbano_APB_final_para_publicacao_site_MDR.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2021.
- GRIGOLETTI, Pablo S. **Uma arquitetura baseada em sistemas multiagentes para simulações em geoprocessamento**. 2007. Dissertação (Mestrado em computação) – Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- INCONTROL. **Showcase Arena Porto Alegrense**, [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://support.incontrolsim.com/en/pd-showcases/95-showcase-arena-porto-alegrense/download.html>>. Acesso em: 02 out. 2021.
- JUCHEM, Murilo. **Arquitetura de Agentes**. 2001. Relatório Técnico, n. 013 arquivado na Pró-Reitoria de Pesquisa, Faculdade de Informática PUCRS, Porto Alegre.
- LOM, Michal; PŘIBYL, Ondřej. Modeling of smart city building blocks using multi-agent systems. In: Neural Network World, 4, 2017, Prague, **Proceedings...** Prague: Czech Technical University, 2017. P. 317–331.
- SICHMAN, Jaime S. **Exploiting Social Reasoning to Enhance Adaption in Open-Multi-Agent Systems**, São Paulo, SP, 1995. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/220974703\\_Exploiting\\_Social\\_Reasoning\\_to\\_Enhance\\_Adaption\\_in\\_Open-Multi-Agent\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/220974703_Exploiting_Social_Reasoning_to_Enhance_Adaption_in_Open-Multi-Agent_Systems)>. Acesso em: 29 set. 2021.
- SUMO. **Simulation of Urban MObility**, [S.l.], 2021. Disponível em: <<http://sumo.dlr.de/wiki/>>. Acesso em: 02 out. 2021.
- PACHECO, Priscila. **Como o planejamento urbano influencia nosso dia a dia**. 2017. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2017/10/como-o-planejamento-urbano-influencia-nosso-dia-dia#:~:text=O%20planejamento%20urbano%20afeta%20a%20forma%20como%20nos%20deslocamos.&text=A%20C3%A9m%20de%20gerar%20congestionamentos%2C%20essa,incentivo%20ao%20uso%20do%20carro.>>>. Acesso em: 02 out. 2021.
- PRIETO, Immaculada; MENEZES, Murilo; CALEGARI, Diego. **Plano diretor participativo: necessidade ou ilusão?** Disponível em: <<https://www.politize.com.br/plano-diretor-participativo-necessidade-ou-ilusao/#:~:text=N%C3%A3o%20raro%2C%20o%20trabalho%20de,politicamente%20invi%C3%A1vel%2C%20porque%20ignora%20as>>. Acesso em: 02 out. 2021.