

# Uma Simulação de Resgate em Desastres com Agentes Autônomos

Derick P. Garcez

Orientação: Profa. Dra Soraia Raupp Musse

Escola Politécnica – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)  
Porto Alegre – RS – Brasil

derick.garcez@edu.pucrs.br

**Abstract.** *Nowadays robots perform tasks that replace humans in situations of extreme danger, such as chemical accidents, fillers, burns, among others. Even with the advancement of standalone users, most use human command substitutes to perform successfully as tasks. We can simulate the use of these autonomous drones in emergency rescue human behavior in disaster situations using Artificial Intelligence algorithms, which perform a scan and search for the best rescue pathways. The results compare in relation to the rescue time of all virtual humans present in the simulation, varying the number of autonomous drones, the number of virtual humans and other options within the model.*

**Resumo.** *Atualmente robôs, realizam tarefas que substituem ou são humanas em situações de perigo extremo, como por exemplo acidentes químicos, enchimentos, queimaduras, entre outros. Mesmo com o avanço dos usuários autônomos, grande parte usa os substitutos dos comandos humanos para executar com êxito como tarefas. Podemos realizar a simulação do uso desses drones autônomos no resgate de humanos, com comportamento de emergência, em situações de*

*desastre usando algoritmos de Inteligência Artificial, que realizam uma varredura e buscam os melhores caminhos auxiliares no resgate. Os resultados obtidos comparam em relação ao tempo de resgate de todos os humanos virtuais presentes na simulação, variando a quantidade de drones autônomos, a quantidade de humanos virtuais e outras opções dentro do modelo.*

## 1. Introdução

Nos dias de hoje, cada vez mais desastres naturais estão ocorrendo, tais como enchentes, deslizamentos além de outros desastres como acidentes químicos e incêndios. Vários destes cenários podem requerer resgates que podem ser mais ou menos complicados dependendo de variáveis como visibilidade, espaço, segurança dos socorristas, número de pessoas, entre outros. Assim a utilização de robôs, seja através do ar, como drones, ou por terra, vem acontecendo de forma significativa para auxiliar ou até mesmo substituir os humanos em determinadas tarefas de extremo perigo [Cezne et al. 2015]. Esses robôs, em sua grande maioria, são, ainda, parcialmente controlados por humanos. A automação de drones sem o controle humano é desafiador e vem sendo aprimorado nos últimos tempos. Como por exemplo na coleta de informações de uma região afetada por um desastre, como em um incêndio, conforme discutido por Ferranti et al. [Ferranti et al. 2009] ou ainda com

a inclusão de robôs autônomos que cooperam entre si para facilitar o processo de resgate, como apresentado por Ryan et al. [Ryan et al. 2007]. Porém na maioria dos casos não é levado em consideração o comportamento humano em situação de desastre. Com objetivo de aproximar mais a realidade é necessário considerar o comportamento durante um resgate, definindo alguns comportamentos conforme o trabalho apresentado por Cimellaro et al. [Cimellaro et al. 2019].

Utilizando algoritmos de Inteligência Artificial, os drones podem realizar a descoberta de melhores rotas para se chegar ou sair de determinados locais [Chaves and Cugnasca 2011], tornando muitas vezes suas ações mais eficientes do que a de um humano. Como também o reconhecimento e identificação de possíveis alvos para resgate, como é discutido por da Silva et al. [da Silva et al. 2012]. Drones podem ser muito úteis em desastres ao ar livre, como por exemplo em campos abertos onde um drone pode realizar a busca de um alvo em uma determinada altura com uma visão muito mais ampla que a de um humano [Kleiner et al. 2013]. Assim, a principal pergunta de pesquisa deste trabalho é: de que forma agentes virtuais autônomos, em uma situação de resgate em um desastre, podem nos auxiliar e com que eficácia? Estamos também interessados em estudar e avaliar o quanto o comportamento humano influencia o resgate utilizando esses agentes.

Neste artigo será apresentado um modelo para criação de simulações parametrizáveis de desastre, que incluem drones simulados, usando Unity <sup>1</sup>. O projeto teve início na disciplina "Integradora III", conforme será discutido na Seção 3. Resulta-

dos indicam que quanto maior o número de drones menor o tempo de resgate dos humanos virtuais presentes na simulação.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira, na Seção 2 é apresentado os trabalhos da literatura que foram utilizados para o desenvolvimento. Na seção Modelo Proposto 3 apresenta-se o modelo desenvolvido, que está dividido em três partes, a seção 3.1 que apresenta o Ambiente de Simulação com toda a estrutura utilizada para o ambiente, Drones 3.2 apresentando os processos e capacidades dos drones, e por último os processos e capacidades dos Humanos Virtuais na seção 3.3. Os resultados obtidos são mostrados na seção 4 e na seção 5 temos as considerações finais do trabalho.

## 2. Trabalhos Relacionados

Apesar do grande aumento nas pesquisas de utilização de drones autônomos colaborativos para auxílio em resgates, alguns limitadores ainda existem como destacado por [Ryan et al. 2007]. O autor aponta detecção de alvo por câmeras e sensores, mecanismos que evitem colisão entre os drones e obstáculos, limitações de hardware dos drones e a limitação de conexão entre os drones como desafios em determinadas situações. Cezne [Cezne et al. 2015] cita alguns motivos para o aumento na utilização de drones e robôs para auxílio no resgate, porém também destaca a forma que robôs podem trabalhar de forma humanitária, levando alimentos a lugares distantes e informações em lugares de difícil acesso. O trabalho discute ainda o potencial mercado da indústria de robôs e os impactos em seres humanos.

O trabalho de Kleiner [Kleiner et al. 2013] tem como foco a utilização de drones detectando alvos em movimento em campos abertos. O algoritmo proposto pelos autores auxilia em busca de pessoas em desastres. A

---

<sup>1</sup><https://unity3d.com/> (Acessado 18 de Novembro de 2019)

solução proposta foi testada em campo de testes e conseguiu com êxito a localização dos alvos em movimento.

Os autores Ferranti et al. [Ferranti et al. 2009] propõem o resgate em ambientes fechados utilizando robôs autônomos para identificação, comunicação e sensores de monitoramento de uma determinada região. A idéia proposta faz com que pequenos robôs ocupem uma região demarcada em um ambiente conhecido, e indiquem em tempo real as condições de determinada região. A comunicação entre os robôs é utilizada para encontrar rotas de fuga, ou até mesmo auxiliar no caminho para uma saída mais próxima.

O reconhecimento do ambiente é uma das tarefas a serem realizadas pelo drone, que precisa identificar áreas de risco e encontrar pessoas em uma situação de desastre, os autores da Silva et al. [da Silva et al. 2012] apresentam uma solução para o reconhecimento do ambiente utilizando drones de uma forma exploratória.

Chaves e Cugnasca [Chaves and Cugnasca 2011] apresentam um trabalho muito parecido com este, porém o foco principal é na comunicação entre agentes utilizando técnicas de modelagem multiagente e colaboração. A solução também utiliza o algoritmo  $A^*$ , explicado por Hart et al. [Hart et al. 1968], para descoberta do melhor caminho para um destino alvo.

Grande parte dos estudos sobre situação de resgate não levam em consideração o comportamento humano. Cimellaro et al. [Cimellaro et al. 2019] apresenta modelos de simulação durante situações de evacuação, e define algumas características do comportamento humano nessas situações.

O trabalho "Understanding Crowd Behaviours" [Office 2009], apresenta um conjunto de ações tomadas por humanos quando estão em multidão. Uma das abordagens apresenta o comportamento de líder, em grandes multidões.

### 3. Modelo Proposto

Esta seção visa apresentar o modelo utilizado no desenvolvimento deste trabalho, que teve início na Disciplina "Integradora III" na graduação em Ciência da Computação pela PUCRS. O Ambiente de simulação desenvolvido na UNITY é onde o resgate irá ocorrer e tem tamanho fixo e posições de obstáculos também estáticas. O raio de visão dos drones é dinâmico enquanto o dos humanos é fixo.

Os drones possuem um conjunto de regras a serem seguidas antes, durante e depois dos resgates. O comportamento humano durante uma situação de resgate também é um dos temas abordados no modelo, no caso definiu-se um conjunto de regras as quais os humanos da simulação devem seguir, durante uma situação de resgate.

As próximas seções descrevem detalhes do modelo. Em particular, as variáveis do sistema são sumarizadas na Tabela 1.

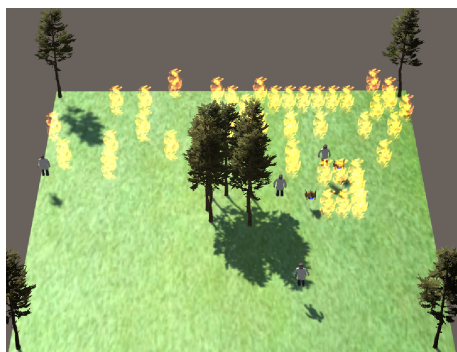
#### 3.1. Ambiente de Simulação

O Ambiente da simulação é um campo aberto onde se encontram árvores e focos de incêndios; estes são os únicos obstáculos no ambiente. O ambiente possui tamanho fixo, sendo um intervalo de  $[0;25]$  na horizontal e vertical, e obstáculos são estáticos. Os locais seguros são definidos no modelo e representam a localização de onde partem os drones e o refúgio para as pessoas resgatadas. A Figura 1 ilustra a interface gráfica do ambiente desenvolvido para a simulação.

Internamente ao modelo computacional, todas as entidades presentes na

**Tabela 1. Variáveis do Modelo**

Estáticas	Dinâmicas
Tamanho do Mundo	Número de Drones
Visão das Pessoas	Número de Pessoas
Expansão do Fogo	Número de Líderes
Autonomia da Bateria	Visão do Drone
Calor Suportado	



**Figura 1. Imagem da Simulação com todas as entidades presentes.**

simulação acessam e manipulam o ambiente como uma matriz de inteiros. Cada entidade presente é representada por um conjunto de números inteiros ou apenas um número inteiro, dessa forma a matriz inicialmente é inicializada com todas as suas células em zero, conforme ilustra a Figura 2.

Logo após a inicialização da matriz do ambiente, os objetos estáticos, no caso as árvores, são adicionados a matriz. O valor de representação das árvores na matriz é 100, o que representa uma posição que

x	4	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	1	100	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
		0	1	2	3	4
						z

**Figura 2. Representação da Matriz com Expansão do Fogo.**

não deve ser acessada pelos humanos virtuais. Na Figura 2 existe uma árvore na matriz posição (1,0), representando linha e coluna.

Cada entidade pode alterar o conteúdo da matriz mundo, de acordo com uma Ordem de Instanciamento. Cada entidade tem um conjunto de números inteiros que pode ser usado para se identificar no mundo, como no caso do fogo que adiciona sua potência, que pode variar no intervalo inteiro [0;100], sendo 100 o fogo máximo e 0 não existe fogo no local. Os humanos virtuais utilizam apenas 1 número inteiro e não um intervalo. A Tabela 2 informa como cada entidade se identifica na matriz e sua Ordem de Instanciamento para alteração. A Ordem de Instanciamento, indica quem deve atualizar por último a matriz do ambiente, dessa forma o local do humano virtual nunca é sobrescrito e não desaparece da matriz sua posição.

**Tabela 2. Ordem de Instanciamento**

Ordem	Entidade
1	Objetos Estáticos
2	Expansão do Fogo
3	Humanos Virtuais

### 3.1.1. Expansão do Fogo

O preenchimento da matriz do ambiente é realizado de acordo com a Ordem de Instanciamento definida no modelo e apresentada na Tabela 2. A expansão do fogo tem menor prioridade do que a ação do humano virtual, dessa forma ela é realizada primeiro, e caso um humano virtual esteja naquele local ele não é sobrescrito. Os humanos virtuais assim como os drones tem uma limitação de calor suportado, explicado na Seção 3.2.4, essa limitação os restringe de acessar qualquer local que a potência do fogo esteja acima deste calor suportado. Assim a expansão do fogo pode limitar o acesso a alguns locais, além do local do foco do fogo, pois a potência é máxima.

O fogo realiza uma expansão ao redor de seu foco inicial cujo valor é definido através de uma variável estática, que neste trabalho foi utilizada=75. Este valor representa o fator de dissipação do fogo, de forma que as células vizinhas vão se dissipando e a potência diminui. Empiricamente foi decidido usar 75 para esta expansão dado ao tamanho do ambiente.

No modelo, o fogo é caracterizado pela posição da sua origem em parâmetro que define a sua dissipação, ou seja por onde e como ele se espalha. No caso deste trabalho, definiu-se que o fogo começa com potência no intervalo de  $[0;100]$  e se dissipa para todos os lados (horizontal, vertical e diagonais) subtraindo 75 do valor a ser dissipado. O processo de dissipação do fogo termina quando o resultado é igual a 0 ou valor negativo.

A Figura 3 mostra como fica a matriz do mundo após a inclusão do fogo e sua dissipação. Também mostra como a expansão ocorre quando dois focos de fogo estão próximos uns dos outros, onde sempre a maior potência de fogo no local é man-

tida, como exemplo se temos um foco de fogo naquele local temos potência de 100, caso um foco vizinho se dissipe, esse local não é afetado pois já tem potência de 100. Neste caso o fator de expansão também tem o valor de 75.

x \ z	0	1	2	3	4
4	25	25	25	0	0
3	25	100	25	25	0
2	25	25	100	25	0
1	100	25	25	25	0
0	0	0	0	0	0

**Figura 3. Representação da Matriz com Expansão do Fogo**

### 3.1.2. Simulação de População

Os humanos virtuais também devem estar presentes na matriz da simulação até serem resgatados pelos drones. A posição de cada humano virtual, na matriz do ambiente, é indicada com o número inteiro -3. Estas entidades podem mover-se durante a simulação, e a cada movimento realizado, a matriz do ambiente é atualizada com sua nova posição. Além disso, uma memória curta sobre a posição passada de cada humano virtual também é atualizada. Na Figura 4 é possível ver a localização de duas pessoas, uma na posição (0,0) da matriz, e outra em (4,3), sendo (linha,coluna).

Importante salientar que no caso de dois humanos virtuais desejarem ir para a mesma posição, o primeiro que tentar, no processamento sequencial, será o atendido. Sempre, antes de movimentar-se, o agente verifica se a posição da matriz está zerada para que o movimento possa ocorrer. O humano virtual só pode se movimentar para o destino, caso o calor suportado por ele seja maior que a potência daquele novo local. Isso é verificado junto a variável do calor

x	4	0	0	0	-3	0
	3	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0
	0	-3	0	0	0	0
		0	1	2	3	4
						z

**Figura 4. Representação da Matriz com Expansão do Fogo**

suportado, assim caso seja o novo local tenha um valor maior do que o calor suportado, aquele local se torna inválido.

### 3.2. Drones

Os drones autônomos são parte importante deste trabalho pois visam procurar e resgatar os humanos virtuais, presentes na simulação. O funcionamento dos drones autônomos pode ser dividido em quatro partes. Primeiramente, para tornar a simulação mais realista, cada drone tem uma capacidade energética representada por uma bateria (Seção 3.2.1). Conforme dito anteriormente, um dos objetivos dos drones é procurar os humanos virtuais no ambiente a fim de resgatá-los. Este processo é descrito na Seção 3.2.3, enquanto o processo de procura no ambiente é descrito na Seção 3.2.2. Após encontrar o humano virtual a ser resgatado, o drone inicia o caminho de volta para a região segura, esse processo é descrito na seção 3.2.5.

#### 3.2.1. Bateria

As baterias dos drones são representadas por um valor numérico, que representa a porcentagem de bateria carregada do drone. Esta bateria é consumida conforme a movimentação do drone, e o nível da bateria é decrementado pelo consumo da bateria a cada movimento. Utilizamos o valor de 2% de perda para cada movimento do drone.

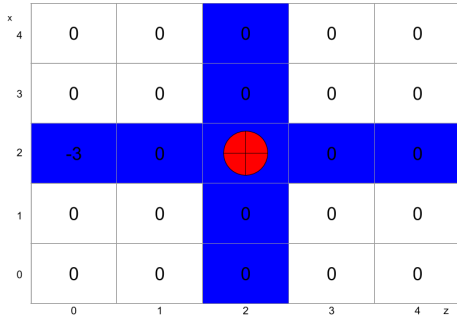
Quando a bateria do drone chega a um nível de 25%, é gerado um alerta de baixa bateria. Estes valores foram definidos empiricamente, através de testes feitos no ambiente. Quando o drone alerta para baixa bateria, este realiza o processo de caminharmento de retorno para a base. Este processo de caminharmento é o mesmo quando o drone está realizando um resgate, que será explicado na seção 3.2.5 e utiliza o método A\*. Ao chegar no ponto de segurança, o qual chamamos de base, o drone realiza a carga da bateria, e retorna a procura de humanos a serem resgatados. Caso o drone esteja realizando um resgate e sua bateria chegue ao nível baixo, o processo de resgate continua pois o caminho final do resgate é a base, e o drone vai até ela para recarregar.

#### 3.2.2. Visão

A visão dos drones é um dos processos importantes durante a busca de humanos virtuais para o resgate. São feitas buscas na matriz do ambiente por alvos para o resgate, no caso humanos virtuais. Quando um alvo é encontrado, começa o processo de resgate, que será detalhado na Seção 3.2.5. O raio de visão (distância em metros) é parametrizado no modelo, e foi alterado a fim de realizar diferentes simulações e apresentar resultados obtidos.

O drone percebe e processa apenas os objetos dentro do raio de visão. A movimentação do drone é realizada apenas para as direções frente, baixo, direita e esquerda, conforme mencionado na Seção 3.2.3, dessa forma a visão só visualiza os campos que a movimentação pode alcançar. A visão do drone é geométrica, ou seja processada usando a matriz de dados, e não sintética, que seria o processamento através da geração de imagens. A Figura 5 apresenta um exemplo de visão do drone, considerando raio de visão= 2, assim as células da matriz que podem ser per-

cebidas pelo drone são: (4,2), (3,2), (1,2), (0,2), (2,0), (2,1), (2,3) e (2,4) sendo (horizontal,vertical), sendo que um humano virtual é encontrado na célula (0,2).



**Figura 5. Representação da Matriz com a visão dos drones, em Vermelho a localização do drone, em azul a visão com raio 2.**

Com estas definições, e imaginando o caminhamento na matriz com coordenadas (linha,coluna) ou (x,z), o seguinte conjunto de equações para percorrer a matriz do ambiente é proposto:

$$cima \rightarrow (x + i, z)$$

$$baixo \rightarrow (x - i, z)$$

$$direita \rightarrow (x, z + i)$$

$$esquerda \rightarrow (x, z - i)$$

No caso das regras citadas acima, o termo  $i$  é um iterador no qual tem como limite o valor da visão.

### 3.2.3. Realizando Resgate

Esta seção tem como objetivo explicar o processo de resgate de humanos virtuais no ambiente simulado. Conforme explicado anteriormente, este processo inicia com o raio de visão especificado na simulação. Durante a simulação, o drone se movimenta e procura por humanos virtuais a serem resgatados.

O processo de movimentação do drone possui algumas restrições de acesso, conforme segue:

- A primeira restrição verifica se a célula que o drone pretende se locomover está livre de obstáculos (identificado=100 para árvore) ou o fogo (identificador = XX);
- A segunda restrição utiliza o limite de calor suportado pelo drone, verificando se a intensidade do fogo na célula pretendida é menor que o limite de calor suportado.
- Por último o drone não pode se movimentar para uma área fora do ambiente, dessa forma ele verifica se o local pretendido existe ou não como posição válida na matriz.

As restrições são utilizadas para a matriz do ambiente, porém o drone também possui uma matriz interna que armazena os caminhos já percorridos. Dessa forma, a cada movimento, o drone também verifica em sua matriz interna se o local já foi visitado. Essa matriz é uma matriz de números naturais, ela inicia em 0 e não tem um limite para o valor a ser preenchido. Cada vez que um local é visitado o drone incrementa o valor da matriz, esse incremento serve para informar quantas vezes o drone visitou aquele local. Com essa informação de quantas vezes visitou aquele local, o drone sempre procura o local que ele menos visitou, a fim de visitar o maior número de células possível. A Figura 6 ilustra a matriz interna de um drone, com os lugares já visitados, bem como o número de vezes.

Essa matriz interna também possibilita que o drone procure em lugares sem saída, e encontre um caminho de volta, como no exemplo da Figura 6, onde o drone visita o local (0,0), sendo (horizontal,vertical) e consegue encontrar novos caminhos. Vale salientar que os locais (0,1) e (0,2) são locais onde tem uma árvore, e dessa forma com as primeiras verificações



4	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0
0	1	2	3	1	0
	0	1	2	3	4

**Figura 6. Representação da Matriz interna do drone contendo os locais já visitados e o número de vezes de cada local foi visitado.**

nunca serão acessados.

O caminhar na matriz leva em consideração apenas 4 caminhos possíveis, cima, baixo, esquerda e direita, não sendo considerados caminhos na diagonal. Dessa forma, para chegar em uma diagonal, é necessário 2 passos. O drone só se movimenta em uma coordenada, (horizontal ou vertical) de cada vez, dessa forma são estabelecidas 4 regras para o caminhar, caso uma das regras falhe pelas limitações já apresentadas, a próxima regra é utilizada. Abaixo são apresentadas as 4 regras utilizadas:

$$cima \rightarrow (x + 1, z)$$

$$baixo \rightarrow (x - 1, z)$$

$$direita \rightarrow (x, z + 1)$$

$$esquerda \rightarrow (x, z - 1)$$

Existem três ordens para estas regras, essas ordens são atribuídas aos drones no início da simulação, cada drone pergunta aos demais qual é a sua ordem, e define a sua ordem através da ordem menos utilizada entre os drones. Com essa comunicação, os drones evitam de visitar os mesmos locais. A cada passo deste caminhar é realizado um processo de procura de humanos virtuais, através da visão, explicada na seção 3.2.2.

### 3.2.4. Calor Suportado

Com objetivo de tornar a simulação o mais próximo da realidade, cada drone tem um limite de calor suportado, o que estabelece uma zona de segurança para os drones. Esse calor suportado é um número inteiro e indica o quanto de potência máxima de calor o drone suporta, ou seja o drone só pode ir a determinado local se o calor suportado por ele é maior que a potência do fogo naquele local. A Figura 7 mostra uma representação da matriz do ambiente com o drone para representar a sua localização. Neste trabalho o calor suportado é de 50.

4	0	0	25	25	25
3	0	0	25	50	50
2	0	0	25	50	100
1	0	0	25	50	50
0	0	0	25	25	25
	0	1	2	3	4

**Figura 7. Representação da Matriz do Ambiente com Expansão do Fogo, e Drone Acessando Local com Potência Menor que o Calor Suportado.**

No caso da Figura 7 o drone está no local (2,2), sendo (horizontal,vertical) e neste local a potência do calor é 25 enquanto o calor suportado pelo drone é 50, logo ele pode acessar esse local, sem problemas. Já caso ele fosse acessar o local (3,2), o movimento não seria válido.

### 3.2.5. Resgate

O processo de resgate é executado quando o drone encontra um humano virtual a ser resgatado. O algoritmo implementado foi o A\*, esta escolha se deve por que nos dois casos que o algoritmo é utilizado temos um objetivo final para o caminho, assim o al-




goritmo serve para a solução. Utilizando a matriz do ambiente, o algoritmo  $A^*$  é executado para encontrar o melhor caminho para chegar ao destino final.

O Algoritmo  $A^*$  utiliza uma série de custos para calcular o melhor caminho, além dos custos, o algoritmo sempre avança a novos locais para novamente calcular estes custos. São três custos que são calculados para encontrar o caminho: O  $G$  é o custo do local atual que estamos calculando até o local que iniciamos o algoritmo. O  $H$  é uma estimativa de custo do local atual até o local de destino. E o  $F$  é a distância total do início ao fim para aquele local.

O custo  $G$  é a soma dos custos  $F$  desde o início até este local. O custo  $H$ , obtemos realizando o seguinte cálculo:  $10 * (abs(AtualX-FinalX) + abs(AtualY-FinalY))$ . Utilizamos as coordenadas  $X$  e  $Z$  da coordenada que o drone se encontra, chamamos de coordenada Atual, e  $X$  e  $Z$  da coordenada destino, que chamamos de final, esse cálculo é a o cálculo da distância de Manhattan[Singh et al. 2013] para o objetivo final, nesta seção sempre vamos levar em consideração a coordenada  $(x,z)$  como (vertical, horizontal). O custo  $F$  é o custo total estimado daquele local, indo do início ao fim, logo é uma soma entre os custos  $G$  e  $H$ .

Com esses três números entendidos, podemos explicar de fato como funciona o algoritmo do  $A^*$ , precisamos de duas listas de coordenadas, a primeira é a lista aberta, essa lista são todas as coordenadas que precisamos ainda visitar, e a outra lista é a lista fechada que vão ser todas as coordenadas que já foram visitadas. Assim na coordenada inicial, colocamos ela na lista aberta e ordenamos a lista aberta do menor para o maior valor de  $F$ , como temos apenas um item ( que é a coordenada inicial ) pegamos essa coordenada e verificamos todos os seus vizinhos alcançáveis, ou seja como

nossos drones só andam para os lados, para frente e para trás esse são todos os vizinhos alcançáveis da coordenada atual. Podemos também pensar que são os seguintes coordenadas, sendo  $X$  e  $Z$  as coordenadas atuais, temos o conjunto  $\{ (X,Z-1); (X-1,Z); (X+1,Z); (X,Z+1) \}$  esses são os quatro possíveis vizinhos alcançáveis da coordenada atual, podemos visualizar na Figura 8 a matriz e seus vizinhos. Caso um desses vizinhos seja fora do limite do ambiente ele não é considerado.

x	4	0	0	0	0	0
	3	0	0	(X+1,Z)	0	0
	2	0	(X,Z-1)		(X,Z+1)	0
	1	0	0	(X-1,Z)	0	0
	0	0	0	0	0	0
		0	1	2	3	4
						Z

**Figura 8. Exemplo de Vizinhos na Matriz. Em amarelo a Coordenada atual, em vermelho o drone e em cinza seus vizinhos cada um com sua coordenada em relação a coordenada atual.**

Colocamos os quatro vizinhos em uma nova lista de vizinhos da coordenada atual, e verificamos se algum desses vizinhos pertence a lista fechada, caso não adicionamos ele a lista aberta, indicamos que o pai dessa coordenada é a coordenada atual, e atualizamos os valores de  $F, G$  e  $H$  desse vizinho. Após esse processo retiramos a coordenada atual da lista aberta e incluímos ela na lista fechada.

Esse processo de ordenação e verificação da lista aberta é repetido até que a mesma não tenha mais nenhuma coordenada, ou então que em algum momento é localizada a coordenada objetivo. Quando encontrada a coordenada objetivo o método é parado, e a partir dessa coordenada é verificada quem é o pai dela, e realizada uma varredura de trás para frente em todas as co-

ordenadas pai, com objetivo de identificar qual o caminho que o drone deverá percorrer.

Após a definição do caminho com o algoritmo, o drone se comunica com o humano virtual a ser resgatado notificando que está indo para o destino seguro. A cada novo movimento do drone, ele notifica o humano virtual da sua posição, fazendo com que o Humano virtual siga o Drone.

Quando o drone encontra o humano virtual a ser resgatado, ele envia para o Humano virtual sua identificação para o humano virtual saber que está sendo resgatado por ele. Essa comunicação ocorre enquanto outros drones e outros humanos virtuais estão se movimentando pelo ambiente. Caso outro drone se aproxime para também resgatar o mesmo humano virtual, ele pergunta ao Humano Virtual se ele está sendo resgatado, o mesmo retorna para o Drone a resposta. Os drones nesse processo não tem comunicação, apenas comunicação drone e humano virtual. Porém se ambos os drones chegam ao mesmo tempo para o resgate, todo o processo do algoritmo  $A^*$  é realizado e no final do processo o drone que terminar primeiro o processo consegue realizar o resgate do drone, enquanto o drone que perdeu a disputa volta a realizar a busca por novos Humanos Virtuais, isso é considerada a disputa entre drones para o resgate.

### **3.3. Comportamento dos Humanos Virtuais**

Os humanos virtuais possuem comportamento de emergência durante a simulação, conforme apresentado por Cimellaro et al. São três tipos de comportamentos possíveis para um humano virtual. Inicialmente todos se comportam de forma aleatória, fugindo dos focos de fogo, conforme será detalhado na Seção 3.3.2. O líder de um grupo de humanos virtuais é definido no início da simulação. Eventualmente, dependendo do número de agentes, mais de um líder pode

ser definido quando são criados no ambiente. Os líderes se comportam de forma aleatória durante toda a simulação, até que seja resgatado. Porém os humanos virtuais que não são líderes realizam a varredura procurando um líder, e quando encontram realizam um novo processo para seguir o líder, explicado na seção 3.3.3. Por último o humano virtual quando é resgatado segue as ordens do drone, que se comunica a cada instante para garantir que o caminho seguro seja percorrido. Os humanos virtuais assim como os drones tem um limite de calor que é suportado, esse calor suportado é o mesmo que o dos drones, explicado na Seção 3.2.4.

#### **3.3.1. Visão**

A visão dos humanos virtuais tem o mesmo objetivo que a visão dos drones, explicada na Seção 3.2.2, ou seja encontrar outros humanos virtuais. Porém existe uma diferença no procedimento após encontrar outro humano virtual, neste caso o processo é verificar se o humano virtual encontrado é um líder ou não, caso ele seja um líder então o processo de seguir o líder da Seção 3.3.3 é iniciado. Caso o humano virtual encontrado não seja um líder, o comportamento aleatório do Humano virtual é seguido. No caso deste trabalho a visão dos humanos virtuais é  $= 1$ .

#### **3.3.2. Líder e Aleatório**

O comportamento do humano virtual enquanto não está seguindo um líder ou está sendo resgatado, é o mesmo que o de um drone quando está procurando resgate, até mesmo a parte de procurar outro humano virtual com objetivo de verificar e se for o caso seguir um líder. Assim na Seção 3.2.3 o mesmo comportamento realizado pelo drone é realizado pelo humano virtual, porém a velocidade das ações entre

drone e humano virtual são diferentes, o humano virtual realiza cada ação 5 vezes mais lento que o drone, assim esse processo e todos os outros são mais lentos. O objetivo de ser mais lento leva em consideração que os drones por ar, são mais rápidos que os Humanos Virtuais. O Humano Virtual espera um número de processos dos Drones, neste caso cinco, para que realize uma ação.

Esse comportamento de busca por outro humano virtual não é realizado por um líder, o mesmo só realiza o comportamento de caminhar igual sem a procura.

### 3.3.3. Seguindo um Líder

O comportamento de seguir líder começa após a abordagem da visão, explicada na seção 3.3.1 identificar que existe um líder próximo ao humano virtual, dessa forma o humano virtual que vai seguir o líder, informa o líder que vai começar a segui-lo, e se aproxima. Após a informação chegar ao líder, o mesmo armazena em uma estrutura interna um apontamento para aquele humano virtual que está seguindo o líder, dessa forma o líder mantém todos os seus seguidores armazenados internamente. Já o seguidor fica sob controle do líder e não interage mais na simulação. e todos os seus movimentos são os mesmos que o líder, assim formando um grupo de pessoas que precisa ser resgatado. Vale destacar que o líder também armazena em uma variável interna a quantidade de seguidores, e quando o drone realiza o resgate de um líder, ele informa ao drone que foram um grupo de pessoas indicando a quantidade.

## 4. Resultados

Os resultados obtidos neste trabalho utilizam a variação das variáveis dinâmicas apresentadas na tabela 1. Todos os resultados obtidos levam em consideração o tempo

de resgate de todos os humanos virtuais presente na simulação, logo a simulação só termina após o resgate de todos os humanos. A Tabela 3 apresenta todas as variáveis estáticas que foram fixadas nesta coleta de resultados. Cada simulação foi realizada cinco vezes, e os resultados apresentados é uma média aritmética dos tempos obtidos.

**Tabela 3. Variáveis estáticas e os valores atribuídos.**

Variáveis	Valor
Tamanho do Mundo	[0,25] Horizontal e Vertical
Visão das Pessoas	1
Expansão do Fogo	75
Autonomia da Bateria	2% para cada movimento
Calor Suportado	50

Esta seção foi separada em quatro partes para apresentar da melhor forma cada resultado obtido, iniciando com a Seção 4.1. que apresenta a configuração do computador utilizado para a coleta dos resultados. A implementação do modelo está disponível no GitHub <sup>2</sup>.

### 4.1. Configurações do Computador

O Computador utilizado para realizar a simulação e obtenção dos resultados possui um processador Intel® Core™ i5-7300HQ <sup>3</sup>, com 4 núcleos de processa-

<sup>2</sup>[https://github.com/derickpg/simulacao\\_desastres\\_agentes](https://github.com/derickpg/simulacao_desastres_agentes) (Acessado 20 de Novembro de 2019)

<sup>3</sup><https://intel.ly/2s6oqQc> (Acessado 20 de Novembro de 2019)

mento, e uma frequência de 2.5Ghz, duas memórias ram de 4 gigabytes cada, com uma frequência de 2400mhz. Para o armazenamento, o computador conta com um ssd de 120gb, com 500mb\s de gravação e 320mb\s de leitura. A versão da UNITY utilizada para os teste é a versão 2019.2.6f1.

#### 4.2. Variando o Número de Humanos Virtuais

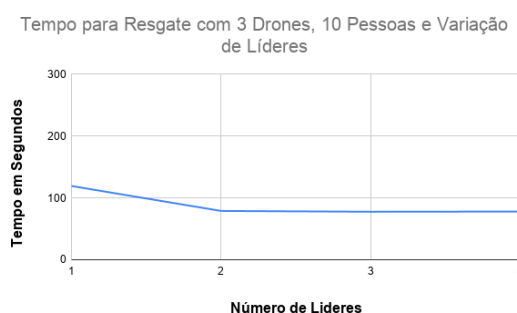
A variação na quantidade de humanos virtuais para resgate é um dos fatores a serem avaliados neste trabalho, porém o objetivo é entender se o comportamento de líderes dos humanos virtuais presentes na simulação, podem impactar ou não no tempo total de resgate durante a simulação. Dessa forma foram realizadas simulações sem líderes, e com variação na quantidade de líderes. Nesta seção vamos usar um número fixo de três drones, com visão = 4.



**Figura 9. Gráfico dos Resultados Obtidos Variando a Quantidade de Humanos Virtuais Presentes na Simulação, Quando Temos 3 Drones com Visão 4 e Nenhum Líder Presente na Simulação.**

A Figura 9 apresenta o Gráfico com os resultados obtidos quando se utiliza o conjunto de [2,4,8,10] humanos virtuais a serem resgatados no ambiente, os locais onde estas pessoas estão foram escolhidos de forma aleatória, e a cada repetição da simulação os locais são os mesmos. Podemos ver que quanto maior o número de Humanos Virtuais a serem resgatados maior

o tempo de resgate, o que já era um resultado esperado, pois mais trabalho será necessário para o drone. Porém um dos objetivos é avaliar se o comportamento de líder entre os humanos virtuais apresenta uma melhora no tempo total de resgate, a Figura 10 apresenta o Gráfico dos resultados obtidos com a variação na quantidade de líderes, fixando a quantidade de pessoas resgatadas em dez, pois foi o tempo mais elevado de resgate na primeira avaliação.



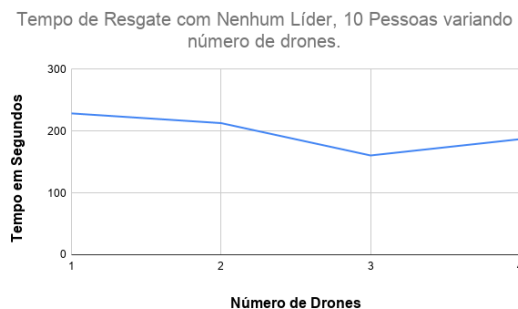
**Figura 10. Gráfico dos Resultados Obtidos Variando a Quantidade de Humanos Virtuais Presentes na Simulação, Quando Temos 3 Drones com Visão 4 e Nenhum Líder Presente na Simulação.**

Os resultados obtidos variando a quantidade de líderes apresenta uma melhora significativa no tempo total de resgate, porém após a presença de três líderes o tempo de resgate se mantém constante para dez pessoas a serem resgatadas.

#### 4.3. Variando o Número de Drones

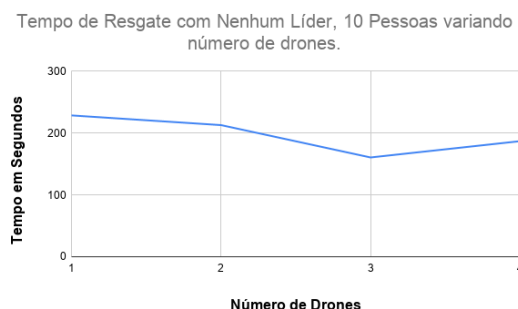
Outro fator que queremos observar é se a quantidade de drones presente no ambiente tem impacto no tempo de resgate. Como o maior tempo obtido, variando a quantidade de Humanos Virtuais presentes no ambiente foi quando simulou-se dez pessoas, sem nenhum líder, podemos observar na Figura 11 o Gráfico dos resultados obtidos variando a quantidade de drones com visão 4.

Os resultados obtidos mostram que existe uma melhora quando aumentamos a



**Figura 11. Gráfico dos Resultados Obtidos Variando a Quantidade de Drones Sem Líderes Presentes na Simulação.**

quantidade de drones, porém após a adição do quarto drone os resultados começam a mostrar um aumento no tempo de resgate. Esse aumento existe pois muitas vezes os drones começam a negociar para ver quem deve resgatar o humano virtual, aumentando o tempo para efetuar um único resgate. Porém como visto anteriormente os resultados obtidos, quando temos um aumento na quantidade de líderes é satisfatório, e isto também acontece quando há o aumento de drones. A Figura 12 apresenta o Gráfico dos resultados obtidos quando variamos a quantidade de drones tendo três líderes presentes na simulação.



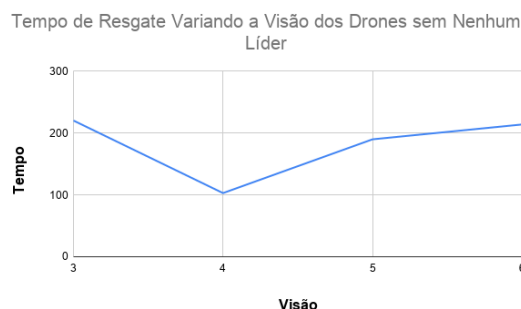
**Figura 12. Gráfico dos Resultados Obtidos Variando a Quantidade de Drones com 3 Líderes Presentes na Simulação.**

Os resultados obtidos variando a quantidade de drones com 3 líderes, apresenta um resultado pior quando temos dois

drones em relação a quando temos um drone. Não foi encontrada uma justificativa para esse resultado, apenas o comportamento dos drones fez com que o resgate fosse pior, pois de alguma forma a comunicação entre os mesmos prejudicou na hora de procurar no ambiente novos resgates. Porém quando temos três ou mais drones o tempo de resgate reduz, chegando próximo aos 60 segundos quando temos quatro drones.

#### 4.4. Variando a Visão dos Drones

A visão dos drones influencia na busca por humanos virtuais. A expectativa é que quanto maior for o raio de visão, antes os drones vão encontrar e resgatar os humanos virtuais. Dessa forma a Figura 13 apresenta o gráfico dos resultados obtidos quando o raio de visão dos drones varia e é necessário resgatar dez humanos virtuais sem nenhum líder. A quantidade de humanos virtuais novamente é escolhida pois é o pior tempo de resgate quando o raio de visão = 4.

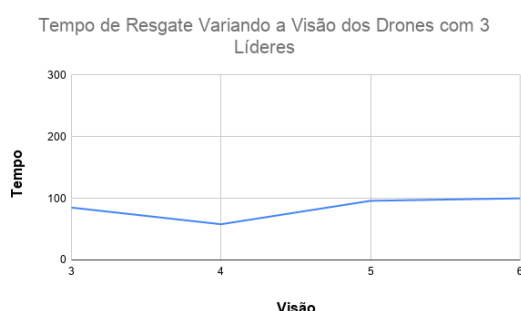


**Figura 13. Gráfico dos Resultados Obtidos Variando a visão dos drones sem nenhum líder e 10 pessoas a serem resgatadas.**

Os resultados obtidos não correspondem a expectativa, pois o aumento do raio de visão não resulta em diminuição no tempo de resgate. O cenário quando o raio de visão = 4 e há três drones envolvidos no resgate, não resulta no melhor resgate. Os resultados esperados seriam que com o aumento da visão, melhor seria o tempo

de resgate, porém na verdade os drones começam a competir pelo mesmo humano virtual resgatado, isso gera um acréscimo no tempo de resgate, fazendo com que o tempo total da simulação aumente.

A Figura 14 apresenta o resultado quando temos 3 líderes na simulação, e como já apresentado anteriormente quando variamos os líderes, tivemos uma melhora no tempo de resgate.



**Figura 14. Gráfico dos Resultados Obtidos Variando a visão dos drones com 3 líderes e 10 pessoas a serem resgatadas.**

É interessante observar que mesmo quando temos uma simulação com 3 líderes, os melhores resultados foram alcançados quando o raio de visão dos drones é = 4, assim indeicando que este é o melhor parâmetro para este modelo, dados os conjuntos de testes realizados.

## 5. Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma Simulação de um Resgate em um incêndio utilizando drones autônomos, com humnaos virtuais tendo comportamento em uma situação de emergência. Neste trabalho a simulação realizada, junto com os resultados obtidos, indicam o impacto do número de drones, raios de visão e número de líderes nos resultados alcançados. Mais simulações, com mais humanos virtuais, em ambientes maiores, podem se realizados em trabalhos futuros.

Outro ponto que pode impactar diretamente no tempo de resgate dos personagens são os algoritmos de caminhada, tanto dos drones quanto dos humanos virtuais. Este também é outro ponto a ser estudado em trabalhos futuros. Os resultados obtidos mostram o tempo total para o resgate de uma população com tempos relativamente baixos, porém a dificuldade em ter-se dados reais para comparação é uma realidade na área de simulação de emergência.

## Referências

- Cezne, E., Jumbert, M. G., and Sandvik, K. B. (2015). Drones como veículos para a ação humanitária: perspectivas, oportunidades e desafios. *Conjuntura Austral*, 7(33-34):45–60.
- Chaves, Á. N. and Cugnasca, P. S. (2011). Veículos aéreos não tripulados autônomos e colaborativos aplicados a operações de busca e salvamento. *Anais do X Simpósio de Pesquisa em Transporte Aéreo (X SITRAER)*. Ouro Preto, MG, Brasil:[sn], pages 13–25.
- Cimellaro, G. P., Mahin, S., and Domaneschi, M. (2019). Integrating a human behavior model within an agent-based approach for blasting evacuation. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 34(1):3–20.
- da Silva, A. B., Nardin, L. G., and Sichman, J. S. (2012). Um método baseado em particionamento para exploração de ambientes de desastre. *Encontro Nacional de Inteligência Artificial*.
- Ferranti, E., Trigoni, N., and Levene, M. (2009). Rapid exploration of unknown areas through dynamic deployment of mobile and stationary sensor nodes. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 19(2):210–243.
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., and Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristics

tic determination of minimum cost paths. *IEEE transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4(2):100–107.

Kleiner, A., Kolling, A., Lewis, M., and Sycara, K. (2013). Hierarchical visibility for guaranteed search in large-scale outdoor terrain. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 26(1):1–36.

Office, C. (2009). Understanding crowd behaviours: Supporting evidence.

Ryan, A., Tisdale, J., Godwin, M., Coatta, D., Nguyen, D., Spry, S., Sengupta, R., and Hedrick, J. K. (2007). Decentralized control of unmanned aerial vehicle collaborative sensing missions. In *2007 American Control Conference*, pages 4672–4677. IEEE.

Singh, A., Yadav, A., and Rana, A. (2013). K-means with three different distance metrics. *International Journal of Computer Applications*, 67(10).