

Planejamento de Rota para VANTs em Caso de Situação Crítica: Uma Abordagem Baseada em Segurança

Jesimar da Silva Arantes

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Universidade de São Paulo - São Carlos, SP

Orientador: Claudio Fabiano Motta Toledo



Abril – 2015

- 1 Introdução
- 2 Revisão Bibliográfica
- 3 Problema Abordado
- 4 Metodologia
- 5 Resultados Preliminares
- 6 Cronograma
- 7 Considerações Finais

Definição do Problema

Desenvolver um planejador de rotas para VANTs que leve a aeronave até um local considerado seguro em caso de situação crítica durante o voo.

Cenário Geral

O VANT sobrevoa uma determinada área, quando ocorre uma situação crítica. Em geral, em caso de falhas, nem todos os controles do VANT param de funcionar, assim o algoritmo desenvolvido será acionado para levar o VANT até uma região considerada segura.

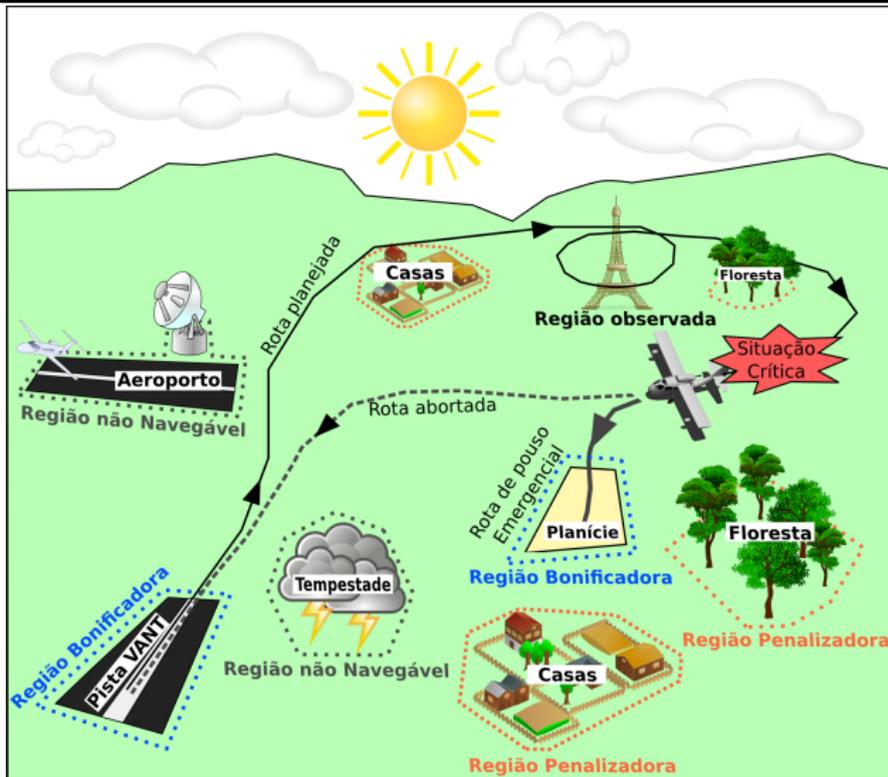


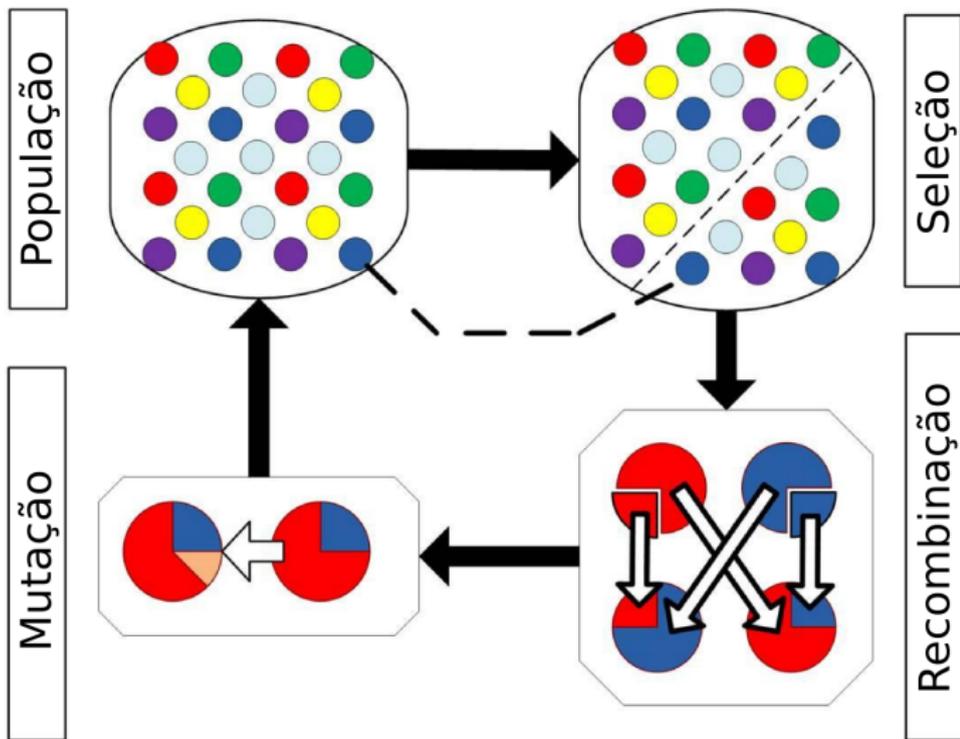
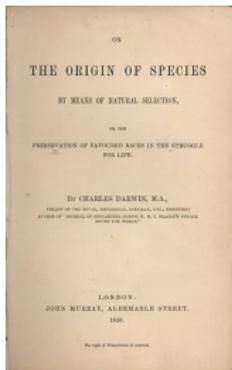
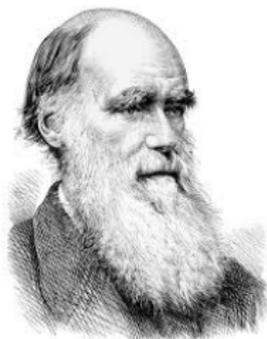
Figure 1 : Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

Objetivo Geral

Promover e aplicar maior segurança aos voos de VANTs, projetando algoritmos planejadores de rotas que levem em conta as principais situações críticas que podem ocorrer com tais aeronaves.

Objetivo Específico

- Investigar e elencar as principais situações críticas em VANTs
- Desenvolver modelos matemáticos que representem a dinâmica da aeronave, considerando as falhas críticas
- Criar cenários através de um gerador automático de cenários
- Desenvolver algoritmos planejadores de rotas que trate panes
- Avaliar o desempenho dos métodos em experimentos *offline* e *online*



Funcionamento do AG. Adaptado de: [LUREG(2015)]

- IFA: *In-Fly Awareness* [Mattei(2014)]
- MOSA: *Mission Oriented Sensor Array* [Figueira et al.(2013)]
- AP: *AutoPilot*

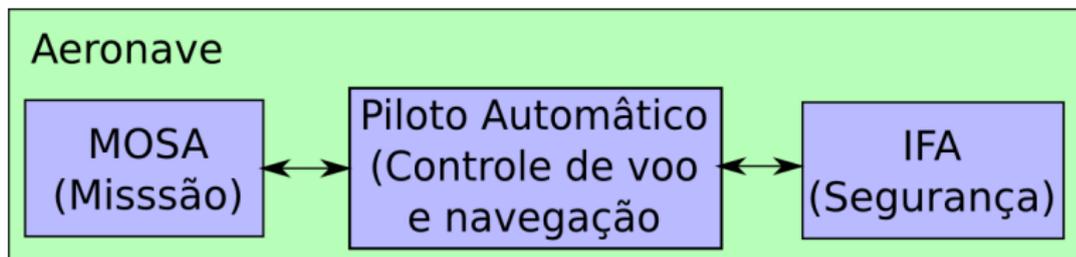


Figure 2 : Componentes do VANT: MOSA, piloto automático e IFA.

Revisão Bibliográfica

Simuladores de Voo



Simulador	Lançam.	Versão	SO	Licença	Distrib.	Linguagem
FGFS	1997	2014	Windows, Linux, Mac OS X, FreeBSD, Solaris e IRIX	GPL	Grátis	C/C++
X-Plane	1993	2014	Windows, Linux e Mac OS X	Prop.	Pago	C/C++
MSFS	1982	2012	Windows	Prop.	<i>Free-to-Play</i>	C/C++/C#



FGFS



X-Plane



MSFS

Table 1 : Acidentes com VANTs militares. Adaptado de [DroneWars(2014)].

Identificação da falha		Ano de ocorrência								
Id	Falha ocorrida	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
1	Falha mecânica		3	5	1		3	2	1	15
2	Falha do motor	3	1	1						5
3	Falha elétrica		2	2			1			5
4	Erro do piloto	1	1		3					5
5	Falha de comunicação	1					1			2
6	Falha no sistema de alimentação (bateria)	1								1
7	Falha eletrônica							1		1
8	Colisão com avião de carga					1				1
9	Perda de GPS						1			1
10	Problemas nas hélices							1		1
11	Condições meteorológicas		1							1
12	Colidiu terminal do aeroporto		1							1
13	Desgaste da fuselagem					1				1
14	VANT abatido			1						1
15	Falhas mecânicas e condições meteorológicas			1						1
16	Desconhecida	2	4	11	15	23	18	18	3	94
	Total de acidentes	8	13	21	19	25	24	22	4	136

[Li(2010)]: .

- Formulação em alto nível das ações do veículo
- Não considera alocação de risco na tomada de decisão
- Aplicado em veículos autônomos aéreos e submarinos

[Blackmore et al.(2011)]: .

- Planejamento de caminho [$A \rightarrow B$]
- Desvio de obstáculos
- Alocação de risco

[Ono et al.(2013)]: .

- Planejamento de missão [$A \rightarrow B \rightarrow C$]
- Desvio de obstáculos e alocação de risco
- Restrições temporais dinâmicas
- Aplicado em veículos autônomos aéreos e espaçonaves

[Meuleau et al. (2009)]: .

- Replanejamento de rota a partir de uma situação crítica
- Sistema ajuda os pilotos de aviões tripulados
- Determinar o local de pouso emergencial
- Algoritmo A* híbrido

[Meuleau et al.(2011)]: .

- Testes em simulador de voo para aeronave tripuladas
- Sistema considera apenas aeroportos cadastrados
- Resultados do método são as possíveis rotas de pouso

Problema Abordado

Contextualização do Problema

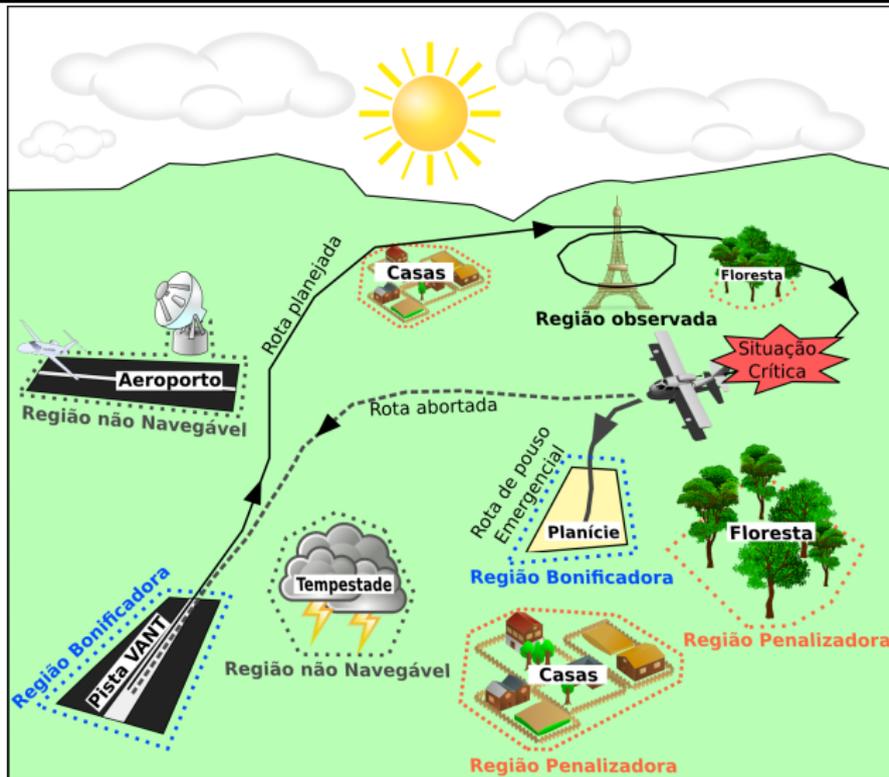
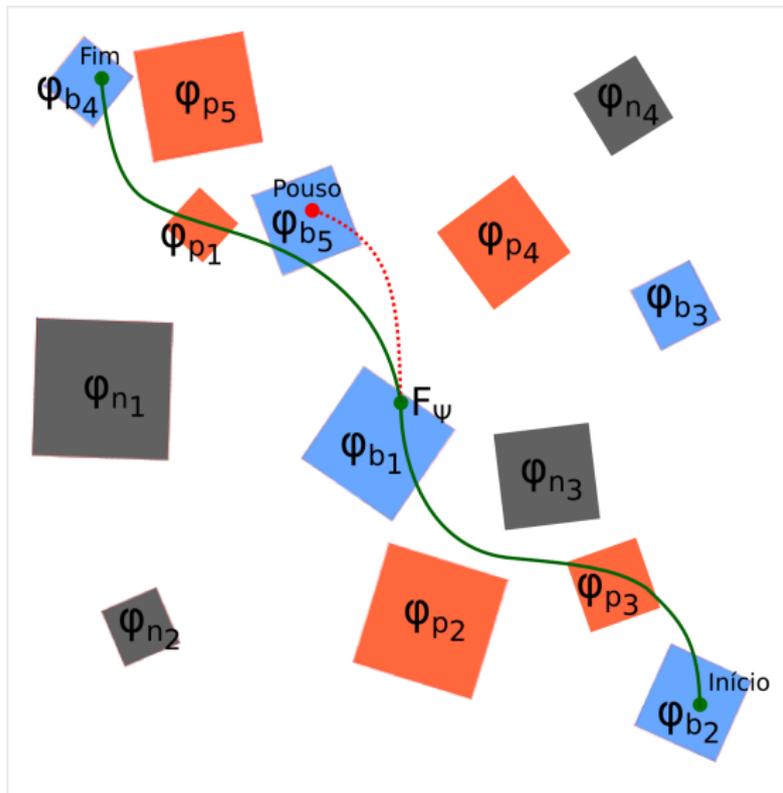


Figure 3 : Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

Problema Abordado

Tipos de Regiões Modeladas e Falha Crítica

- 1 Região Não Navegável (ϕ_n)
- 2 Região Penalizadora (ϕ_p)
- 3 Região Bonificadora (ϕ_b)
- 4 Região Restante (ϕ_r)



- 1 Problema no Motor (m)
- 2 Problema na Bateria (b)
- 3 Problema nas Superfícies Aerodinâmicas 1 (s^1)
- 4 Problema nas Superfícies Aerodinâmicas 2 (s^2)
- 5 Nenhum Problema (\emptyset)

Parâmetros:

- $\Phi_j = \{Z_{\Phi_j}^1, Z_{\Phi_j}^2, \dots, Z_{\Phi_j}^{|\Phi_j|}\}$: Conjunto de regiões com $j \in \{n, p, b, r\}$
- $Z_{\Phi_j}^i$: i -ésima região do conjunto Φ_j
- C_{Φ_j} : Custo de pousar no conjunto Φ_j
- T : Número de passos de tempo para pousar o VANT
- Δ : Probabilidade do VANT violar uma região no conjunto Φ_n
- F_{Ψ} : Função de transição de estados Ψ_k com $k \in \{m, b, s^1, s^2, \emptyset\}$
- ω_t : Perturbação independente do estado, no instante t

Variáveis de Decisão:

- x_t : Conjunto de estados do VANT
- u_t : Conjunto de controles do VANT

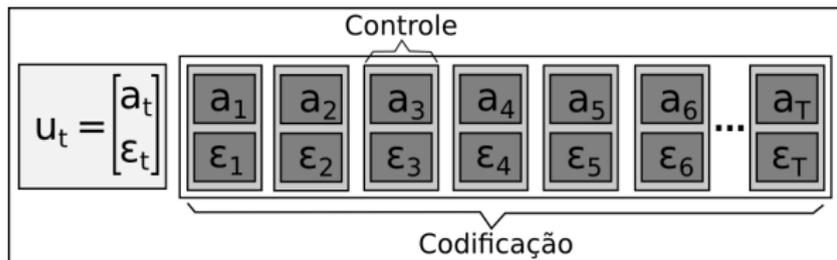
$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^{|\phi_p|} (C_{\phi_p} \cdot P(x_T \in Z_{\phi_p}^i)) - \sum_{i=1}^{|\phi_b|} (C_{\phi_b} \cdot P(x_T \in Z_{\phi_b}^i)) \quad (1)$$

sujeito a:

$$x_{t+1} = F_{\Psi}(x_t, u_t) + \omega_t \quad \forall t = 0, 1, \dots, T \quad (2)$$

$$P \left(\bigwedge_{t=0}^T \bigwedge_{i=1}^{|\phi_n|} x_t \notin Z_{\phi_n}^i \right) \geq 1 - \Delta \quad (3)$$

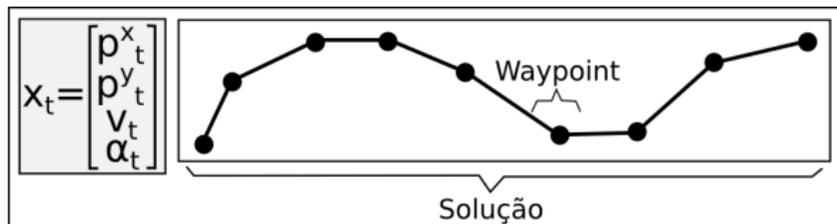
- Codificação u_t :



- Decodificação F_Ψ :

$$\bar{x}_{t+1} = F_\Psi(\bar{x}_t, \bar{u}_t) \Leftrightarrow \begin{bmatrix} p_{t+1}^x \\ p_{t+1}^y \\ v_{t+1} \\ \alpha_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_t^x + v_t \cdot \cos(\alpha_t) \cdot \Delta T + a_t \cdot \cos(\alpha_t) \cdot (\Delta T)^2/2 \\ p_t^y + v_t \cdot \sin(\alpha_t) \cdot \Delta T + a_t \cdot \sin(\alpha_t) \cdot (\Delta T)^2/2 \\ v_t + a_t \cdot \Delta T - F_t^d \\ \alpha_t + \varepsilon_t \cdot \Delta T \end{bmatrix}$$

- Solução x_t :



- Função Objetivo:

$$\begin{aligned} fitness = f_{Pouso_{\phi_b}} + f_{Pouso_{\phi_p}} + f_{PousoEVoo_{\phi_n}} + f_{Curvas} + \\ f_{DistVANT_{\phi_b}} + f_{Violou_T} + f_{\psi_b} \end{aligned} \quad (4)$$

- Inicialização:
 - ① Aleatória, Curva Curta, Aceleração Curta e Gulosa
- Crossover:
 - ① Média, Aritmético, Geométrico, OX e BLX- α
- Mutação:
 - ① Uniforme, Limite e Creep

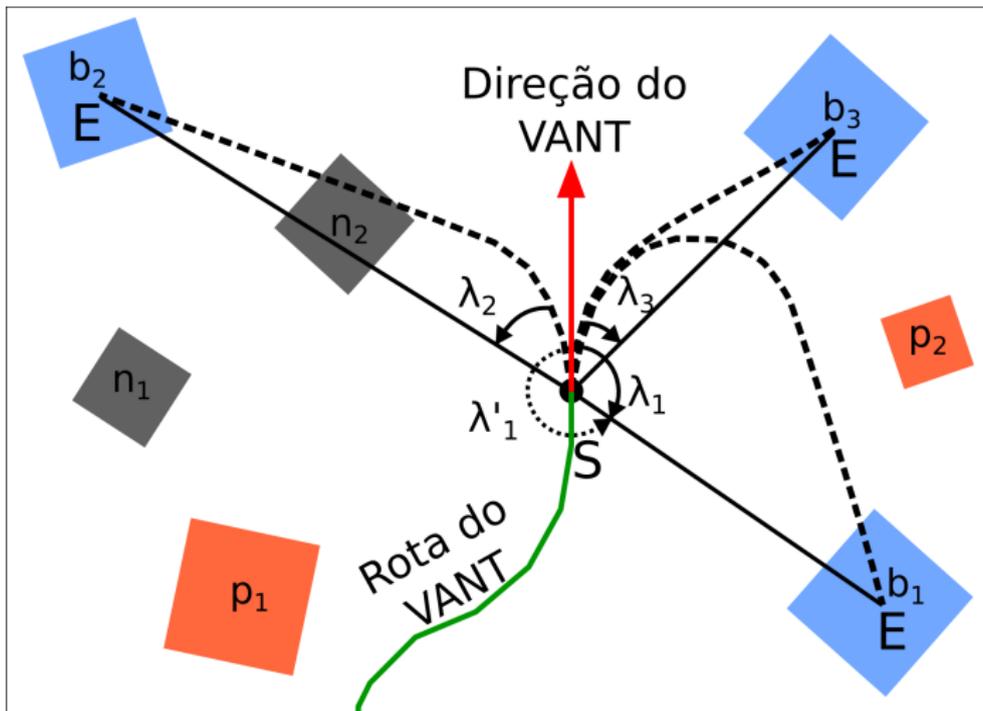


Figure 4 : Funcionamento da heurística gulosa.

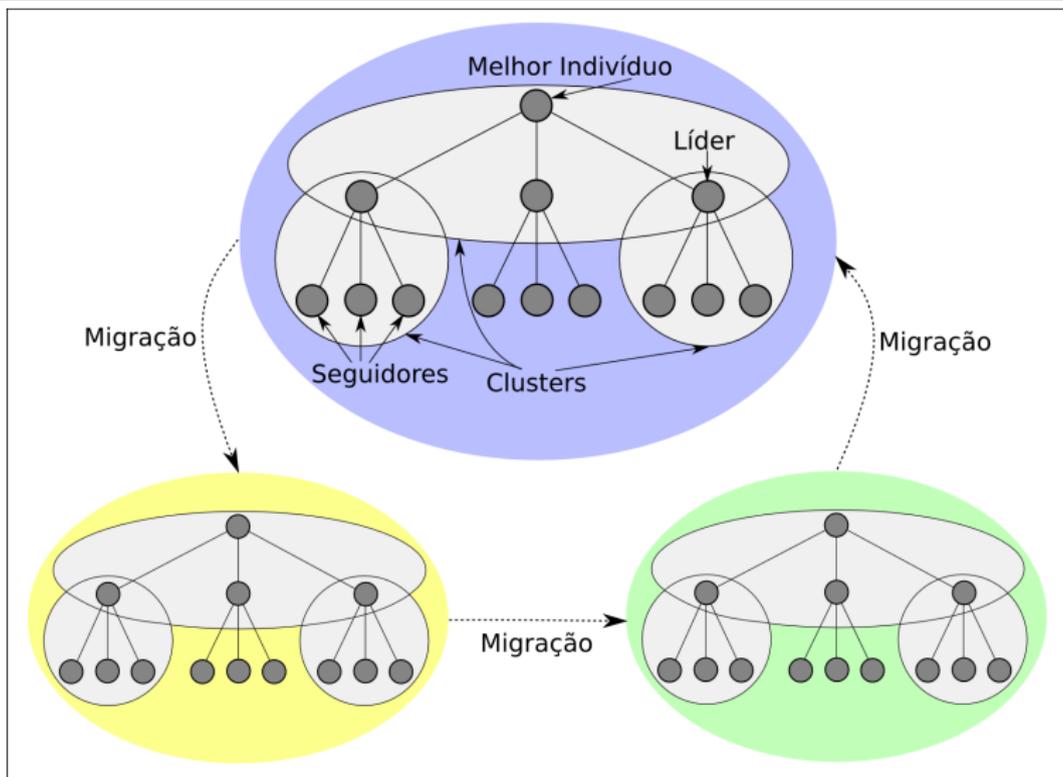


Figure 5 : Estrutura hierárquica em árvore dos indivíduos.

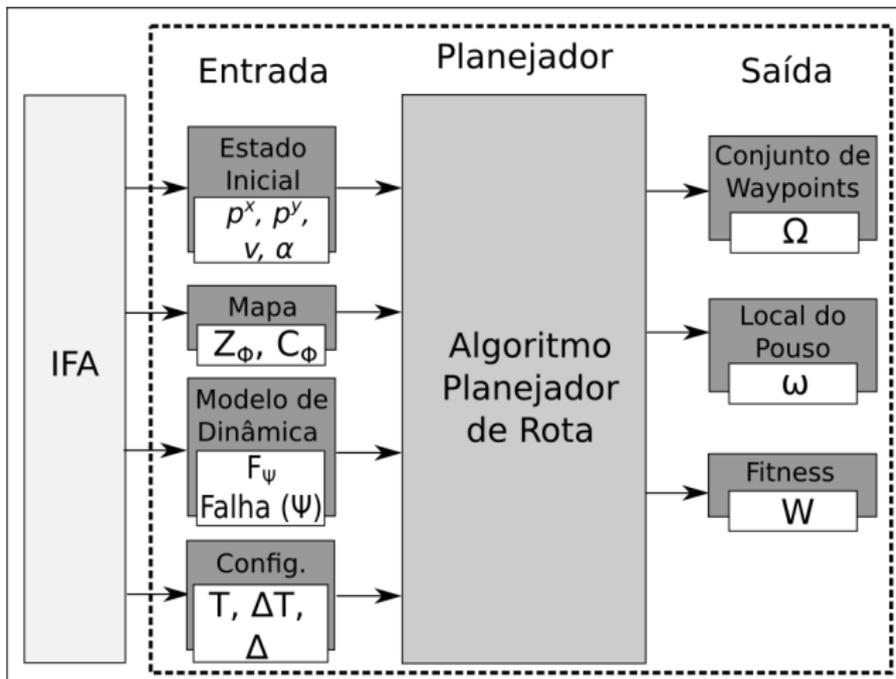


Figure 6 : Arquitetura do planejador proposto.

Resultados Preliminares

Geração Automática de Mapas

LCR

- Nível de Dificuldade

- ① \mathcal{M}_F

- ② \mathcal{M}_N

- ③ \mathcal{M}_D

- Área de Cobertura

- ① $\mathcal{M}^{25\%}$

- ② $\mathcal{M}^{50\%}$

- Legenda dos Mapas

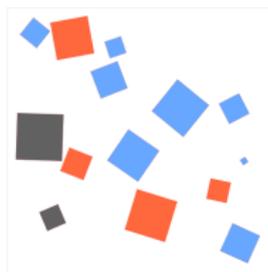
- ① $a, c, e = \mathcal{M}^{25\%}$

- ② $b, d, f = \mathcal{M}^{50\%}$

- ③ $a, b = \mathcal{M}_F$

- ④ $c, d = \mathcal{M}_N$

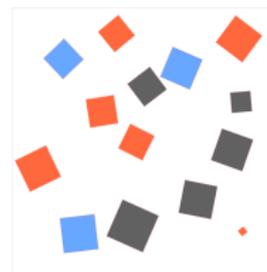
- ⑤ $e, f = \mathcal{M}_D$



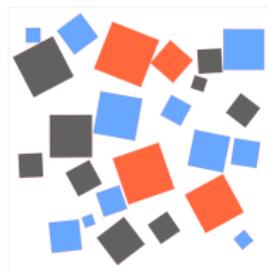
(a)



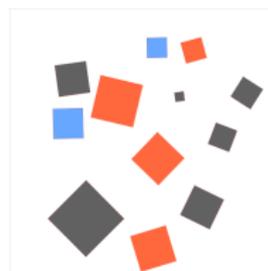
(b)



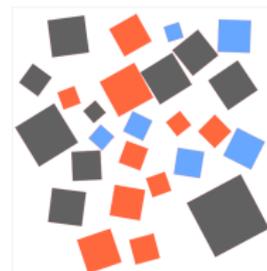
(c)



(d)



(e)



(f)



Resultados Preliminares

Experimentos: Configurações Usadas



Modelo	Parâmetro	Valor
Mapa	Dimensões X [m]	1000
	Dimensões Y [m]	1000
VANT	Posição inicial (p_0^x, p_0^y) [m]	(0; 0)
	Velocidade inicial (v_0) [m/s]	24
	Ângulo inicial (α_0) [°]	90
	Velocidade ($v_{min}; v_{max}$) [m/s]	[11, 1; 30, 5]
	Velocidade angular ($\varepsilon_{min}; \varepsilon_{max}$) [°/s]	[-3; 3]
	Aceleração ($a_{min}; a_{max}$) [m/s ²]	[0, 0; 2, 0]
	Tempo máximo para queda (T) [s]	60
	Discretização do tempo (ΔT) [s]	1
	Probabilidade de violar a região ϕ_n (Δ)	0,001
Pesos das Regiões	C_{ϕ_b}	2000
	C_{ϕ_p}	8000
	C_{ϕ_n}	100000
	C_{ϕ_r}	0

Resultados Preliminares

Experimentos: Análise de sensibilidade do AGMP



Método	Ord.	Parâmetro Analis.	Variações dos Parâmetros	P^L	P^*
AGMP	1	Nº de Ramificação	{2; 3; 4}	3	3 ^L
	2	Nº de Populações	{1; 2; 3; 4; 5}	3	3 ^L
	3	Nº de Indivíduos	{6; 13; 20; 27; 34}	13	13 ^L
	4	Taxa de Crossover	{0, 5; 1, 0; 1, 5; 2, 0; 2, 5}	1,5	0,5
	5	Taxa de Mutação	{0, 0; 0, 25; 0, 5; 0, 75; 1, 0}	0,75	0,75 ^L
	6	Operad. Crossover	{Aritm.; Media; Geom.; OX; BLX- α ; Todos}	-	Todos
	7	Operad. Mutação	{Uniforme; Limite; Creep; Todos}	-	Todos
	8	Operad. Inicial.	{Aleat; CurvaCurta; Aceler.Curta; Gulo.; Todos}	-	Todos

Resultados Preliminares

Experimentos: Resultados Obtidos para HG e AGMP1 e AGMP2



Ψ	Instâncias	HG			AGMP1			AGMP2		
		P ϕ_b	P ϕ_r	Infact.	P ϕ_b	P ϕ_r	Infact.	P ϕ_b	P ϕ_r	Infact.
ψ_m	I1	79	21	0	81	19	0	90	10	0
	I2	92	6	2	92	7	1	96	3	1
	I3	58	39	3	60	39	1	71	28	1
	I4	86	12	2	84	16	0	96	4	0
	I5	30	52	18	36	64	0	40	60	0
	I6	62	28	10	60	33	7	82	15	3
	Média	67.83	26.33	5.83	68.83	29.67	1.50	79.17	20.00	<i>0.83</i>
ψ_b	I1	99	0	1	100	0	0	100	0	0
	I2	97	0	3	99	0	1	99	0	1
	I3	93	3	4	94	5	1	99	0	1
	I4	98	0	2	99	0	1	100	0	0
	I5	67	5	28	73	27	0	94	6	0
	I6	83	0	17	68	17	15	95	2	3
	Média	89.50	1.33	9.17	88.83	8.17	3.00	97.83	1.33	<i>0.83</i>
ψ_{s1}	I1	81	8	11	90	8	2	91	7	2
	I2	88	0	12	89	0	11	93	0	7
	I3	68	16	16	76	18	6	86	8	6
	I4	82	1	17	84	3	13	89	0	11
	I5	41	23	36	49	46	5	67	28	5
	I6	56	0	44	46	23	31	78	4	18
	Média	69.33	8.00	22.67	72.33	16.33	11.33	84.00	7.83	<i>8.17</i>
ψ_{s2}	I1	90	4	6	94	4	2	99	0	1
	I2	90	0	10	95	1	4	95	1	4
	I3	70	20	10	79	16	5	92	5	3
	I4	87	1	12	83	8	9	94	0	6
	I5	40	17	43	62	35	3	74	24	2
	I6	61	3	36	57	13	30	76	4	20
	Média	73.00	7.50	19.50	78.33	12.83	8.83	88.33	5.67	<i>6.00</i>
	Média Final	74.92	10.79	14.29	77.08	16.75	6.17	87.33	8.71	<i>3.96</i>

Resultados Preliminares

Experimentos: Exemplos de Situações Críticas

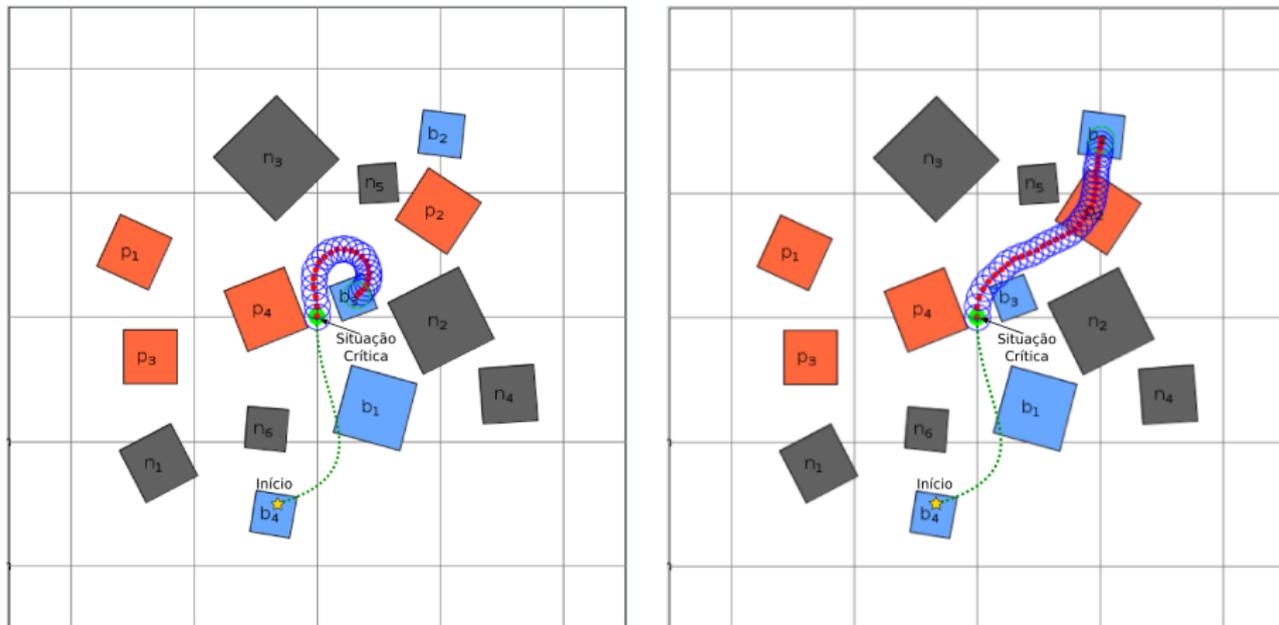


Figure 7 : Exemplo de rotas para as situações críticas: a) ψ_m . b) ψ_b .

Resultados Preliminares

Experimentos: Exemplos de Situações Críticas

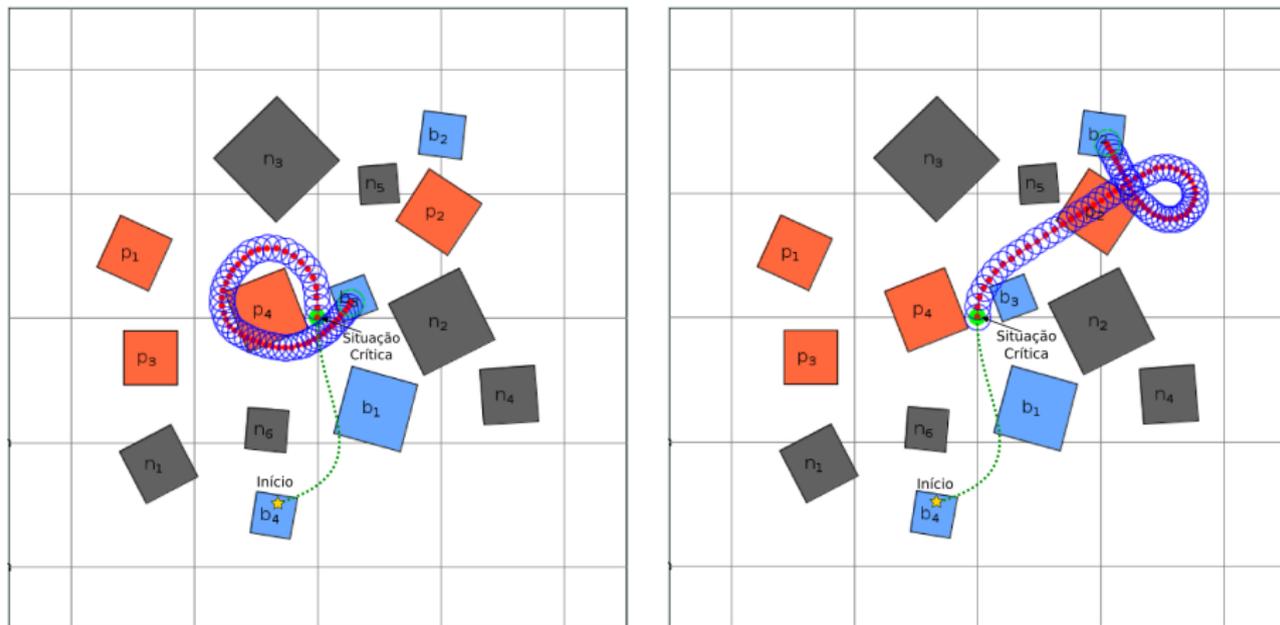


Figure 8 : Exemplo de rotas para as situações críticas: a) ψ_{s1} . b) ψ_{s2} .

Atividades	Meses							
	01-03	04-06	07-09	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24
Disciplinas	✓	✓	✓					
Revisão Bibliográfica	✓	✓	✓	✓	●	*	●	●
Pesq. Situações Críticas		✓	✓	✓				
Criação de Mapas			✓					
Algoritmos de Pouso 2D		✓	✓	✓				
Análise de Sensibilidade			✓	✓				
Qualificação e Profic.				✓				
Algoritmos de Pouso 3D					●	*	●	
Experimentos			✓	✓	●	*	●	
Validação Simul. Voo						*	●	
Escrita de Artigos				✓	●	*	●	●
Escrita da Dissertação			✓	✓	●	*	●	●

Legenda	Símbolo
Atividades já realizadas na USP	✓
Atividades a serem feitas no MIT	*
Atividades a serem feitas na USP	●

- Este trabalho apresentou o problema de pouso de VANTs em caso de situação crítica;
- Um algoritmo planejador de rotas foi desenvolvido;
- As estratégias usadas nesse planejador são HG, AG e AGMP;
- Um conjunto de 600 mapas foram gerados automaticamente;
- Modelagem da dinâmica do VANT com situações críticas feita;
- Sistema supervisor IFA é utilizado para fornecer informações sobre o VANT;
- Resultados promissores foram encontrados pela HG, AG e AGMP;
- Pôster foi aceito para publicação no GECCO 2015 sobre esse trabalho.



LUREG. Lan-

caster University Renewable Energy Group. LUREG. Disponível em:
<http://www.engineering.lancs.ac.uk/lureg/group_research/wave_energy>
Acesso em: 27 mar. 2015.



BLACKMORE, L.; ONO, M.; WILLIAMS, B. C. Chance-Constrained Optimal Path Planning With Obstacles, **IEEE Press**, v. 27, p. 1080-1094, 2011. ISBN 1552-3098.



DRONEWARS. **Drone Crash Database - Drone Wars UK.**

Dronewars. Disponível em:
<<http://dronewars.net/drone-crash-database/>>. Acesso em: 25 set. 2014.



FIGUEIRA, N.; TRINDADE JÚNIOR, O.; MATTEI, A. L. P.; NERIS, L. Mission Oriented Sensor Arrays – An Approach towards UAS Usability Improvement in Practical Applications, **5th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS)**, Munich, 2013.

-  LI, H. X. **Kongming: A Generative Planner for Hybrid Systems with Temporally Extended Goals**. 2010, PhD thesis - Massachusetts Institute of Technology, 2010. 237 p.
-  MATTEI, A. L. P. **Consciência Situacional em Voo de Sistemas Aéreos não Tripulados**. 2014. p. 123. Qualificação de Doutorado. Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 2014.
-  MEULEAU, N.; PLAUNT, C.; SMITH, D. E.; SMITH, T. An Emergency Landing Planner for Damaged Aircraft, **Proceedings of the Twenty-First Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference**, 2009.
-  MEULEAU, N.; NEUKOM, C.; PLAUNT, C.; SMITH, D. E.; SMITH, T. The Emergency Landing Planner Experiment, **21st International Conference on Automated Planning and Scheduling**, 2011.
-  ONO, M.; WILLIAMS, B. C.; BLACKMORE, L. Probabilistic Planning for Continuous Dynamic Systems under Bounded Risk, **Journal of Artificial Intelligence Research**, v. 46, p. 511-577, 2013.

Obrigado a Todos!!! Perguntas!!!

[Contato: jesimar.arantes@gmail.com]

