

Universidade de Coimbra

Faculdade de Ciências e Tecnologia

**Relatório Tarefa n.º 4**



**Redes Resilientes**

Guilherme Filipe Albino Gaspar

1.º ano — n.º 2020218933

Maria Carolina Boavida Rodrigues Fernandes

1.º ano — n.º 2021218374

Pedro Nuno Pessoa Tavares Honório Monteiro

1.º ano — n.º 2021218544

**Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**

**Coimbra, 13 maio 2025**

### 1. Introdução

Este relatório serve a apresentação e análise dos resultados obtidos durante a realização da tarefa 4 para as seguintes redes: **abilene**, **atlanta**, **nobel-eu**, **nobel-germany**.

### 2. Métricas utilizadas

Para a análise de cada rede foram utilizadas as seguintes métricas:

1. **Taxa de Resolução:** encontra uma solução (mesmo que não seja ótima), face ao número total de soluções existentes. O número de pares, assumindo que temos pares não direcionados é dado por  $\frac{n \times n - 1}{2}$ :

$$\text{Taxa de Resolução (\%)} = \frac{\text{Nº de Soluções Encontradas}}{\text{Nº Total de Pares}} \times 100 \quad (1)$$

Esta métrica permite avaliar a capacidade do algoritmo em resolver o problema proposto para diferentes cenários.

2. **Taxa de Resolução Ótima:** avalia a proporção de soluções consideradas ótimas encontradas pelo TSA, tendo como referência o método de Suurballe. Assume-se que uma solução encontrada pelo TSA é ótima quando o custo total coincide com o custo total da solução obtida pelo algoritmo de Suurballe, independentemente dos caminhos serem iguais ou não.

$$\text{Taxa de Resolução Ótima (\%)} = \frac{\text{Nº de Soluções Ótimas pelo TSA}}{\text{Nº de Soluções pelo Suurballe}} \times 100 \quad (2)$$

Esta métrica permite aferir em que medida o TSA consegue igualar a qualidade das soluções do método de referência.

3. **Erro Médio Relativo do Custo:** quantifica o desvio médio entre o custo das soluções fornecidas pelo TSA e as soluções ótimas encontradas pelo algoritmo de Suurballe. O erro é expresso de forma relativa, como percentagem em relação ao custo da solução ótima, e calculado apenas sobre os pares para os quais o TSA encontrou uma solução.

$$\text{Erro Médio Relativo (\%)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( \frac{C_{TSA}^{(i)} - C_{Suurballe}^{(i)}}{C_{Suurballe}^{(i)}} \right) \times 100 \quad (3)$$

onde  $C_{TSA}^{(i)}$  e  $C_{Suurballe}^{(i)}$  representam o custo total da solução para o par  $i$ , respetivamente obtido pelo TSA e pelo algoritmo de Suurballe, e  $k$  é o número total de pares resolvidos pelo TSA.

Esta métrica permite avaliar, em média, quão afastadas do ótimo são as soluções produzidas pelo TSA.

### 3. Abilene

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos na topologia Abilene:

#### Dados:

| Dados   | Valor |
|---|-------|
| Total de pares analisados                     | 66    |
| Soluções encontradas (TSA)                    | 50    |
| Soluções encontradas (Suurballe)              | 55    |
| Soluções ótimas existentes                    | 55    |
| Soluções ótimas encontradas pelo TSA          | 50    |
| Pares com solução em ambos (TSA e Suurballe)  | 50    |
| Pares com custos iguais entre TSA e Suurballe | 50    |

Table 1: Dados - Topologia Abilene

#### Resultados:

| Métrica                                       | Valor   |
|---|---------|
| Taxa de resolução TSA                         | 75.76 % |
| Taxa de resolução Suurballe                   | 83.33 % |
| Taxa de resolução ótima                       | 90.91 % |
| Erro médio do TSA (comparado com custo ótimo) | 0.00 %  |

Table 2: Resultados - Topologia Abilene

#### Análise dos Resultados:

Observa-se que, para a topologia Abilene, foram considerados 66 pares de nós. O algoritmo TSA conseguiu encontrar soluções para 50 pares, o que corresponde a uma taxa de resolução de 75.76%. Já o algoritmo de Suurballe apresentou um desempenho superior, com 55 soluções, atingindo uma taxa de resolução de 83.33%.

Destaca-se que o número total de soluções ótimas identificadas foi também de 55, coincidindo com o desempenho do algoritmo de Suurballe. Isto indica que o Suurballe foi capaz de encontrar soluções ótimas em todos os casos em que obteve solução.

Importa ainda referir que, nos 50 pares em que ambos os algoritmos encontraram solução, os custos obtidos foram iguais, o que se reflete num erro médio de 0.00% para o TSA em relação ao custo ótimo.

Conclui-se, assim, que embora o TSA apresente uma taxa de resolução ligeiramente inferior à de Suurballe, a qualidade das soluções encontradas é comparável, pelo menos nos casos em que ambos encontram caminho.

### 4. Atlanta

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos na topologia Atlanta:

#### Dados:

| Dados   | Valor |
|---|-------|
| Total de pares analisados                     | 105   |
| Soluções encontradas (TSA)                    | 96    |
| Soluções encontradas (Suurballe)              | 105   |
| Soluções ótimas existentes                    | 105   |
| Soluções ótimas encontradas pelo TSA          | 92    |
| Pares com solução em ambos (TSA e Suurballe)  | 96    |
| Pares com custos iguais entre TSA e Suurballe | 92    |

Table 3: Dados - Topologia Atlanta

#### Resultados:

| Métrica                                       | Valor   |
|---|---------|
| Taxa de resolução TSA                         | 91.43 % |
| Taxa de resolução Suurballe                   | 100 %   |
| Taxa de resolução ótima                       | 87.62 % |
| Erro médio do TSA (comparado com custo ótimo) | 0.64%   |

Table 4: Resultados - Topologia Atlanta

#### Análise de Resultados:

O algoritmo de Suurballe conseguiu encontrar soluções para todos os pares (100%), enquanto o TSA teve uma taxa de resolução de 91.43%. Apesar disso, o TSA apresentou um pequeno erro médio de apenas 0.64% em relação ao custo ótimo, indicando soluções próximas do ideal na maioria dos casos.

### 5. Nobel-EU

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos na topologia Nobel-EU:

#### Dados:

| Dados   | Valor |
|---|-------|
| Total de pares analisados                     | 378   |
| Soluções encontradas (TSA)                    | 327   |
| Soluções encontradas (Suurballe)              | 378   |
| Soluções ótimas existentes                    | 378   |
| Soluções ótimas encontradas pelo TSA          | 282   |
| Pares com solução em ambos (TSA e Suurballe)  | 327   |
| Pares com custos iguais entre TSA e Suurballe | 282   |

Table 5: Dados - Topologia Nobel-EU

#### Resultados:

| Métrica                                       | Valor   |
|---|---------|
| Taxa de resolução TSA                         | 86.51%  |
| Taxa de resolução Suurballe                   | 100.00% |
| Taxa de resolução ótima                       | 74.60%  |
| Erro médio do TSA (comparado com custo ótimo) | 0.87%   |

Table 6: Resultados - Topologia Nobel-EU

#### Análise de Resultados:

O Suurballe obteve novamente 100% de resolução, enquanto o TSA conseguiu resolver 86.51% dos pares. O erro médio foi de 0.87%, o mais elevado entre as topologias analisadas, sugerindo maior dificuldade do TSA nesta rede, tanto em cobertura como em qualidade de solução.

### 6. Nobel-Germany

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos na topologia Nobel-Germany:

#### Dados:

| Dados   | Valor |
|---|-------|
| Total de pares analisados                     | 136   |
| Soluções encontradas (TSA)                    | 107   |
| Soluções encontradas (Suurballe)              | 136   |
| Soluções ótimas existentes                    | 136   |
| Soluções ótimas encontradas pelo TSA          | 98    |
| Pares com solução em ambos (TSA e Suurballe)  | 107   |
| Pares com custos iguais entre TSA e Suurballe | 98    |

Table 7: Dados - Topologia Nobel-Germany

#### Resultados:

| Métrica                                       | Valor    |
|---|----------|
| Taxa de resolução TSA                         | 78.68%   |
| Taxa de resolução Suurballe                   | 100.00 % |
| Taxa de resolução ótima                       | 72.06%   |
| Erro médio do TSA (comparado com custo ótimo) | 0.26%    |

Table 8: Resultados - Topologia Nobel-Germany

#### Análise de Resultados:

Nesta topologia, o TSA apresentou o desempenho mais baixo, com uma taxa de resolução de 78.68%. O Suurballe manteve os 100% de cobertura. No entanto, o erro médio foi o mais reduzido entre os casos com erro ( $>0$ ), situando-se nos 0.26%, o que mostra que, mesmo em cenários mais desafiantes, o TSA encontra soluções bastante próximas do ótimo quando tem sucesso.

### 7. Conclusão

A comparação entre o algoritmo TSA e o de Suurballe em diferentes topologias revela um padrão consistente: o algoritmo de Suurballe apresenta muitas vezes uma taxa de resolução de 100%, mostrando-se mais robusto na cobertura de pares fonte-destino. Por outro lado, o TSA, apesar de uma cobertura inferior, demonstra grande eficiência na qualidade das soluções encontradas — com erros médios muito baixos ou nulos.

Isto indica que o TSA, embora mais limitado na sua aplicabilidade, é competitivo em termos de custo quando consegue encontrar soluções. Tal equilíbrio entre qualidade e cobertura sugere que o TSA pode ser uma abordagem viável, especialmente em cenários onde o tempo de execução ou simplicidade de implementação sejam críticos, desde que se aceitem eventuais falhas de resolução.