

Filas de Prioridades Justas aplicadas a Serviços de Emergência

Itallo Medeiros Dias

PPGCC - UNIFESP

Universidade Federal do Estado de São Paulo

São Paulo, Brasil

itallomdias@gmail.com

Abstract—Este trabalho explora o design e a implementação de um sistema de fila de prioridades voltado para a simulação de uma fila de atendimento médico com múltiplos níveis de prioridade. O objetivo principal é minimizar o tempo médio de espera de cada nível de prioridade, enquanto se garante que os elementos de maior prioridade não sejam excessivamente impactados. Ao contrário das filas tradicionais, onde os elementos são processados com base exclusivamente na ordem de prioridade, essa abordagem visa equilibrar o desempenho geral do sistema, selecionando dinamicamente o elemento ótimo para processamento a cada momento, sempre baseado na média global de tempo de espera de cada grupo prioritário. O sistema é simulado com um conjunto de dados de 5.000 indivíduos, divididos em 5 níveis de prioridade. Foram avaliados 3 cenários distintos e os resultados fornecem insights valiosos sobre como tais sistemas podem ser otimizados, contribuindo para um atendimento e priorização mais eficientes, e para sistemas de filas similares baseados em prioridades.

Index Terms—fila de prioridades, sistema manchester de classificação de risco, filas.

I. INTRODUÇÃO

Filas de prioridade são estruturas de dados utilizadas em muitas aplicações práticas e sistemas computacionais. Diferentemente de filas convencionais, a ordem de recuperação de elementos não é definida apenas pela sua inserção na fila, mas também por um valor associado a cada elemento, conhecido como prioridade [1].

Como exemplos de filas convencionais, onde a recuperação dos elementos é relacionada com a ordem de inserção na fila, podemos citar a FIFO (First In, First Out), que sempre recupera o elemento mais antigo inserido [1]. Dentre aplicações práticas para filas FIFO, cita-se o uso em gerenciamento de estoque [3], onde a aplicação visa garantir que os produtos mais antigos sejam vendidos antes dos mais novos. Outro exemplo é a aplicação em filas de atendimento a reclamações de clientes [4].

Já no caso das filas de prioridade, durante a inserção ou recuperação de elementos, estes serão organizados de acordo com sua prioridade, garantindo que o elemento com a maior prioridade seja sempre processado primeiro. Esse tipo de estrutura é amplamente utilizado em soluções onde as tarefas ou processos possuem diferentes níveis de urgência ou importância. Um exemplo clássico são os sistemas de escalonamento de processos em sistemas operacionais, onde

tarefas de maior prioridade, como operações críticas, precisam ser atendidas antes de tarefas menos urgentes. Outro exemplo são os sistemas de atendimento em filas de serviços, como os de hospitais e call centers, onde as pessoas com condições mais graves ou urgentes devem ser atendidas antes daqueles com situações menos críticas.

Este trabalho tem como objetivo propor uma fila de prioridades com um fator de “justiça” que garanta que elementos com menor prioridade na fila tenham redução no tempo médio de espera, sem que os elementos com alta prioridade sejam drasticamente impactados. Como proposta de aplicação, sugere-se o uso em Serviços de Emergência (SE), baseando-se em uma escala de prioridade utilizada universalmente, chamada Sistema Manchester de Classificação de Risco (SMCR) [2].

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Filas de prioridades justas já foram discutidas anteriormente em diversas aplicações, como em Legout e Biersack, 2002 [8], onde os autores abordam uma aplicação de Fair Queuing (FQ) para concorrência de transferência de dados em TCP. No entanto, estas aplicações geralmente estão relacionadas a concorrência e paralelismo em sistemas de computadores (processos) e redes, como também apresentado em Calciu et al. [6].

No estudo apresentado por Harki [5], foi utilizada uma técnica de dividir a fila em outras filas com diferentes prioridades e cada fila passa a ter sua própria técnica de agendamento e processamento. A técnica é chamada de Multilevel Feedback Queue Scheduling Technique (MLFQST). Os autores contam que os resultados trouxeram aumento de satisfação dos pacientes, além de redução de riscos.

O Sistema Manchester de Classificação de Risco também já foi amplamente estudado, com o objetivo de validar sua eficácia. Em Zachariasse et al., 2017 [7], os autores concluíram que “a validade do sistema é de moderada a boa, com desempenho inferior nas populações de pacientes mais vulneráveis: os jovens e os idosos”. No entanto, o intuito deste trabalho é apenas os níveis de prioridade do SMCR e como um exemplo de aplicação destas prioridades, e não ser uma proposta alternativa ao método.

A literatura apresenta várias derivações de implementações de filas de prioridade. Uma das mais conhecidas é a estrutura de dados Heap [1], derivado do mesmo conceito de aplicação do algoritmo heapsort, porém com uma estruturação que permite inserir e recuperar itens a partir de sua prioridade.

III. METODOLOGIA

A proposta deste trabalho é construir derivações de uma fila de prioridade simples de modo a permitir que elementos com menor prioridade também tenham relevância em situações onde a média de espera supera determinados limites. Pretende-se usar uma base de dados com 5.000 elementos, que representam pacientes de um Sistema de Emergência, com diferentes prioridades e tempo de permanência dentro do atendimento médico.

A. Dados utilizados

Para esta simulação, algumas premissas foram definidas para a construção da base de dados:

- 5000 amostras de pacientes.
- Tempo de permanência no consultório médico gerados através de distribuição aleatória log-normal, que gera uma curva assimétrica com cauda estendida à direita.

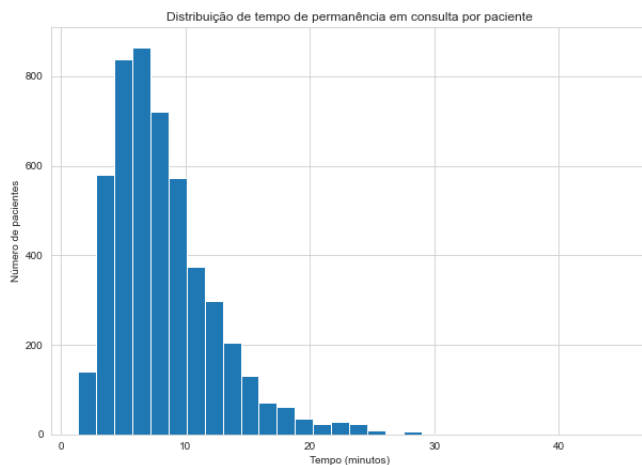


Fig. 1. Distribuição do tempo de permanência em consulta médica por paciente

- 5 prioridades diferentes, de acordo com o Sistema Manchester de Classificação de Risco, sendo elas:

TABLE I
TABELA DE PRIORIDADES E TEMPOS DE ATENDIMENTO

Prioridade	Descrição (cor)	Tempo de atendimento
0	Emergência (vermelha)	Imediato
1	Muita urgência (laranja)	Até 10 minutos
2	Urgência (amarela)	Até 60 minutos
3	Pouca urgência (verde)	Até 120 minutos
4	Não urgentes (azul)	Até 240 minutos

Baseado nos dados gerados, as consultas têm média de duração de 8,22 minutos e mediana de 7,30 minutos. As consultas mais rápidas e mais demoradas da base são, respectivamente 1,36 e 44,9 minutos. Vale destacar que 50% dos pacientes tem tempo de consulta entre 5 e 10 minutos. Este tempo é fundamental para calcularmos o tempo de espera que cada paciente espera em cada prioridade de atendimento.

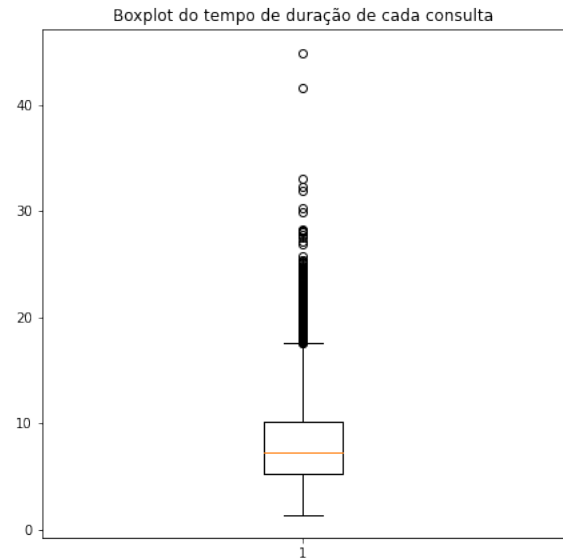


Fig. 2. Boxplot do tempo de duração de cada consulta

A distribuição das prioridades para os pacientes da base foi feita de forma aleatória. Foi determinado que 5% da base seria atribuída à prioridade 0 (máxima), 10% à prioridade 1, 15% à prioridade 2, 40% à prioridade 3 e 30% à prioridade 4.

TABLE II
TABELA DE PERCENTUAL E VOLUMETRIA DE PACIENTES POR PRIORIDADE

Prioridade	Percentual de pacientes	Número de pacientes
0	5%	250
1	10%	500
2	15%	750
3	40%	2000
4	30%	1500

B. Configurações da fila proposta

Para simular o tempo de espera médio em cada nível de prioridade, algumas premissas foram estabelecidas:

- 1) A fila sempre terá um número de 10 pacientes, simulando uma situação real de espera em um Sistema de Emergência
- 2) Sempre que um atendimento for realizado (ou seja, um elemento retirado da lista), outro elemento da base dados é inserido.

- 3) Apenas será processado um elemento por vez, simulando uma situação em que exista apenas um médico atendendo aos pacientes

C. Cenários propostos

Serão analisados 3 cenários diferentes e neles serão avaliados o tempo médio de espera que cada grupo de prioridade leva para ser atendido.

Cenário 1 - Atendimento sem prioridade: Neste cenário, a fila será processada em método FIFO (First in First Out) de modo que não haja adoção de prioridade nenhuma.

Cenário 2 – Atendimento com prioridade simples: Neste cenário, qualquer elemento na fila que tenha a menor prioridade será atendido primeiro. Ou seja, a prioridade 0 terá atendimento antes das demais, seguida da prioridade 1 e assim por diante.

Cenário 3 – Atendimento com prioridade com fator de justiça: Neste cenário, os atendimentos de maior prioridade também serão priorizados, a menos que as médias de tempo de espera em cada prioridade atinja determinadas níveis, de acordo com um fator de justiça (FJ). Este cenário será explicado com maiores detalhes a seguir.

D. Fator de justiça proposto no cenário 3

O cenário 3 contará com um método que tem como objetivo suavizar o tempo de espera nos atendimentos de menor prioridade. Para isso, a cada iteração (a cada paciente atendido), um cálculo de tempo médio em cada prioridade será atualizado. Quando a relação entre prioridades adjacentes superar um limite, atribuído pelo fator de justiça, ocorre uma exceção a prioridade e, nesta situação, um elemento com melhor posição na lista, mas de prioridade inferior, pode ser atendido primeiro.

Exemplo:

Posição na Fila	1º	2º	3º	4º
Prioridade	2	2	1	2

Fig. 3. Exemplo de atuação do fator de justiça

Neste exemplo, em uma lista de prioridade simples, o elemento de prioridade 1 seria atendido primeiro. No entanto, com o fator de justiça proposto, o seguinte cálculo será executado

Fator de justiça: x

$$Relacao = \frac{Média Espera P2}{Média Espera P1} - 1 \quad (1)$$

Neste exemplo, se o valor de Relação foi menor ou igual ao Fator de justiça, então a prioridade prevalece. Caso contrário, é identificado que a média de tempo da prioridade menor supera o fator proposto, então a prioridade maior é atendida.

Exemplo:

- Tempo médio Prioridade 1: 12 minutos
- Tempo médio Prioridade 2: 19 minutos

Fator de justiça: 0.5

$$Relacao = \frac{19}{12} - 1 = 0.58 \quad (2)$$

Como 0.58 é maior que 0.5, o atendimento P1 não será priorizado.

IV. ENSAIOS REALIZADOS

Os ensaios foram realizados com os 3 cenários propostos. A avaliação dos resultados de cada cenário será feita através das médias de tempo de espera em cada prioridade, tentando ao máximo atender aos requisitos de tempo de atendimento do SMCR (tabela 1).

A. Resultados cenário 1

O cenário 1, cujo não há priorização alguma, demonstra que todos os níveis de prioridade possuem uma distribuição semelhante em termos de média e desvio padrão.

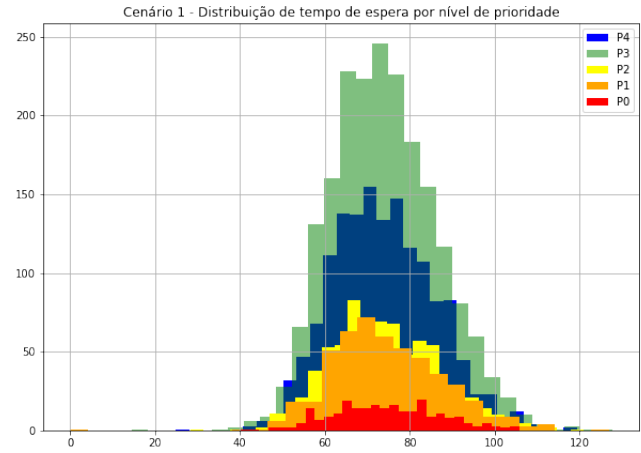


Fig. 4. Cenário 1 - distribuição de tempo de espera por nível de prioridade

TABLE III
CENÁRIO 1 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR PRIORIDADE

Prioridade	Média	Desvio Padrão
0 (vermelha)	74,5	12,9
1 (laranja)	74,6	13,5
2 (amarela)	74,0	12,8
3 (verde)	73,9	12,5
4 (azul)	73,8	12,2

B. Resultados cenário 2

O cenário 2, onde as priorizações ocorrem de forma simples, os níveis mais prioritários sempre garantirão atendimento antes dos demais níveis. Com isso, o gráfico de distribuição mostra que os níveis entre 0 e 3 ficam bastante concentrados na extremidade esquerda do gráfico (com tempo de espera em 22,9 no percentil 99), enquanto os atendimentos de nível 4 possuem tempo médio de atendimento de 227,9 minutos.

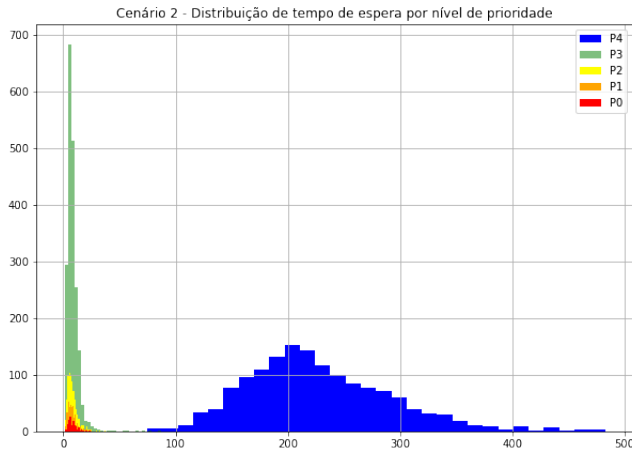


Fig. 5. Cenário 2 - distribuição de tempo de espera por nível de prioridade

TABLE IV
CENÁRIO 2 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR PRIORIDADE

Prioridade	Média	Desvio Padrão
0 (vermelha)	8,41	4,04
1 (laranja)	8,27	4,36
2 (amarela)	8,32	4,56
3 (verde)	8,44	5,93
4 (azul)	227,9	64,81

C. Resultados cenário 3

O cenário 3 inclui o fator de justiça, que pode ser um valor inteiro positivo ou negativo. Quanto menor o fator, mais justo tenderá a ser. Valores positivos de ponto flutuante representam o percentual mínimo que um nível de prioridade pode ter em relação ao seu nível superior. Por exemplo, um fator 0.3 permite que o tempo médio de uma prioridade seja, no máximo 30% menor que seu nível superior.

Vale mencionar, também, que o nível de prioridade 0 sempre terá atendimento prioritário e imediato, conforme determina o SMCR. Portanto, os tempos de espera que ocorrem na prioridade 0 se dão por concorrência exclusivamente com outros pacientes do mesmo nível.

Vamos simular o cenário 3 com alguns fatores de justiça diferentes.

1) *Fator de justiça em 0.5*: Quando optamos por uma priorização com fator de justiça, é possível perceber que as curvas de distribuição passam a dar uma visão clara de priorização, porém as médias de atendimento são mais próximas de um nível pra outro.

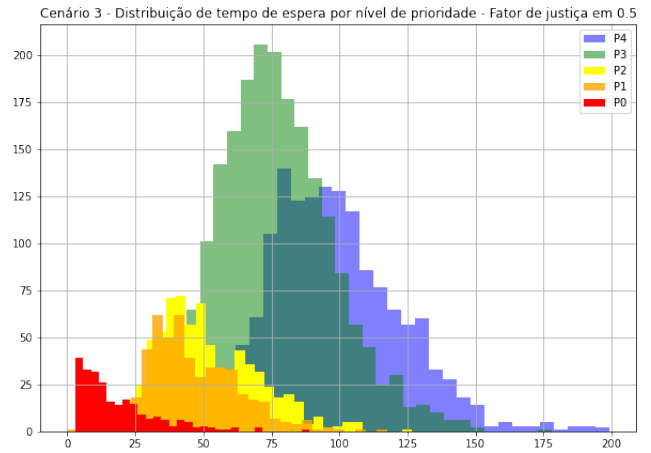


Fig. 6. Cenário 3 - distribuição de tempo de espera por nível de prioridade - Fator de justiça em 0.5

Podemos ver também que, apesar da melhora na discrepância das médias, elas ainda são longe dos valores recomendados pelo SMCR.

TABLE V
CENÁRIO 3 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR PRIORIDADE - FJ 0.5

Prioridade	Média	Desvio Padrão
0 (vermelha)	18,80	14,58
1 (laranja)	46,93	16,24
2 (amarela)	51,84	18,04
3 (verde)	77,64	20,49
4 (azul)	98,60	23,85

2) *Fator de justiça em 1*: Alterando o fator de justiça para 1, afetamos diretamente o nível mais inferior da escala (P4), pois o algoritmo tende a ser menos justo. Com isso, temos melhora na média dos níveis de prioridade de 0 a 3 e piora no nível 4, mas ainda mantemos uma curva visual que demonstra melhor distribuição das médias.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho, estudamos o tempo médio que cada grupo de prioridade de um Serviço de Emergência esperaria por atendimento em três cenários distintos. É razoável concluir que os cenários 1 e 2 apresentam médias de tempo muito discrepantes com relação ao recomendado pelo Sistema Manchester de Classificação de Risco, e que acaba desfavorecendo com excesso grupos de menor prioridade, mesmo que sejam grupos sem urgência. Considerando uma comparação entre os cenários, conforme a tabela VII, é possível ver que o cenário 3 é o que melhor equilibra tempo de atendimento e justiça entre os níveis de prioridade.

Prioridade	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3 (FJ=1)
0 (vermelha)	74,5 minutos	8,41 minutos	15,99 minutos
1 (laranja)	74,6 minutos	8,27 minutos	36,68 minutos
2 (amarela)	74,0 minutos	8,32 minutos	42,75 minutos
3 (verde)	73,9 minutos	8,44 minutos	72,84 minutos
4 (azul)	73,8 minutos	227,9 minutos	113,4 minutos

TABLE VII

TEMPOS DE ATENDIMENTO POR PRIORIDADE E CENÁRIO

TABLE VI

CENÁRIO 3 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR PRIORIDADE - FJ 1.0

Prioridade	Média	Desvio Padrão
0 (vermelha)	15,99	11,48
1 (laranja)	36,68	14,29
2 (amarela)	42,75	17,43
3 (verde)	72,84	21,37
4 (azul)	113,4	29,38

Podemos ver o efeito causado no tempo médio de cada prioridade variando o valor do Fator de Justiça, como demonstrado no gráfico da figura 8. Pode-se observar que com fatores abaixo de -0.5, os tempos se aproximam de um sistema sem prioridade nenhuma (exceto pelo P0, que foi configurado para sempre ter prioridade em relação aos demais).

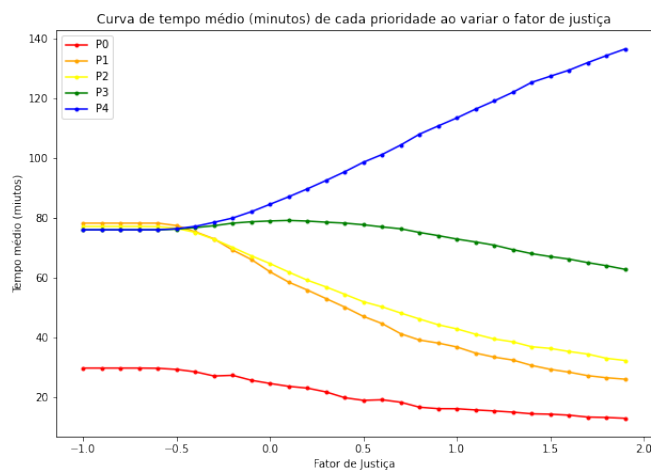


Fig. 8. Curva de tempo médio de cada prioridade ao variar o fator de justiça

A. Trabalhos futuros

Embora tenhamos utilizado como referência a escala proposta pelo Sistema Manchester de Classificação de Risco, nenhum dos três cenários foi capaz de atingir os valores médios propostos. Portanto, surge a oportunidade de criar um sistema que tenha parâmetros de tempo médio aceitáveis para cada nível de prioridade, de modo que o algoritmo busque, iteração a iteração, ajustar a fila de prioridades buscando manter a proximidades com esses parâmetros de referência.

Outra oportunidade é testar a iteração e priorização de pacientes considerando mais de um médico em atendimento.

REFERENCES

- [1] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein, Introduction to Algorithms, 3rd ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2009.
- [2] Sistema Manchester: tempo empregado na classificação de risco e prioridade para atendimento em uma emergência. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rgenf/a/ZPt8CVtgXpftkT7MsZL8KtP/?lang=pt>
- [3] A. C. Sembiring, J. Tampubolon, D. Sitanggang, M. Turnip, and S. Subash, "Improvement of Inventory System Using First In First Out (FIFO) Method," J. Phys.: Conf. Ser., vol. 1361, 1st International Conference of SNIKOM 2018, Medan, Indonesia, 23–24 Nov. 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1361/1/012070/meta>
- [4] F. N. Hidayat and I. H. Al Amin, "Implementasi metode First In First Out (FIFO) untuk analisa sistem antrian pengaduan pelanggan Internet Service Provider (ISP)," Jurnal DINAMIK, vol. 23, no. 2, pp. 73–79, Jul. 2018. E-ISSN: 2623-1786, P-ISSN: 0854-9524. Disponível em: <https://www.unisbank.ac.id/ojs/index.php/fti1/article/view/7180/2181>
- [5] N. A. Harki, "Multilevel Feedback Queue Scheduling Technique: Model Proposal to Reduce Risk and Enhance Performance of Health-care Systems," Department of Computer Network and Information Security, College of Informatic-Akre, Akre University for Applied Sciences, Duhok, Iraq. Disponível em: <https://journals.cihanuniversity.edu.iq/index.php/cuesj/article/view/1140/437>
- [6] I. Calciu, H. Mendes, and M. Herlihy, "The Adaptive Priority Queue with Elimination and Combining," Department of Computer Science, Brown University, 115 Waterman St., 4th floor, Providence RI, USA.

- [7] J. M. Zachariasse, N. Seiger, P. P. M. Rood, C. F. Alves, P. Freitas, F. J. Smit, G. R. Roukema, and H. A. Moll, "Validity of the Manchester Triage System in emergency care: A prospective observational study," Feb. 2, 2017. Disponível em <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0170811>
- [8] A. Legout and E. W. Biersack, "Revisiting the fair queuing paradigm for end-to-end congestion control," IEEE Network, vol. 16, no. 5, pp. 38-46, Sept.-Oct. 2002, doi: 10.1109/MNET.2002.1037429. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1035116>