

# Sistema de Apoio ao Diagnóstico Baseado em Sintomas da COVID-19 e Biometeorologia

João Pedro de S. J. da Costa<sup>1</sup>, Mario A. R. Dantas<sup>1</sup>,  
José Maria N. David<sup>1</sup>, Regina M. M. Braga<sup>1</sup>,  
Marcelo F. Moreno<sup>1</sup>, Victor Stroele de Andrade Menezes<sup>1</sup>,  
Rian das Dores Alves<sup>1</sup>, Izaque Esteves da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências da Computação – Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)  
Caixa Postal 20.010 – 36036-900 – Juiz de Fora – MG – Brazil

joao.costa@estudante.ufjf.br, mario.dantas@ice.ufjf.br,  
jose.david@ufjf.edu.br, regina.braga@ufjf.edu.br,  
moreno@ice.ufjf.br, victor.stroele@ice.ufjf.br,  
rian.alves@ice.ufjf.br, izaque.esteves@estudante.ufjf.br

**Abstract.** *The COVID-19 pandemic has demanded many studies on strategies to fight it. However, with regard to the identification of infected people, there is the possibility to present the symptoms without having the disease. One of the factors that influence the manifestation of symptoms, related to COVID-19, are the weather conditions. In this work, we present a decision-support architecture, which aims to elucidate the influence of weather conditions on the symptoms of COVID-19 and, with the support of video conferences, to assist collaboration in decision-making in the fight against the pandemic. Developing a knowledge base, through intelligent techniques, proved to be necessary to reach our goal.*

**Resumo.** *A pandemia da COVID-19 tem demandado vários estudos sobre estratégias para combatê-la. Contudo, no que diz respeito à identificação de infectados, existe a possibilidade de pessoas apresentarem os sintomas sem estarem com a doença. Um dos fatores que influenciam na manifestação de sintomas, relacionados à COVID-19, são as condições climáticas. Neste trabalho, apresentamos uma arquitetura de suporte à decisão, que tem o objetivo de elucidar a influência das condições climáticas sobre os sintomas da COVID-19 e, com o apoio de videoconferências, auxiliar a colaboração para tomada de decisões no combate à pandemia. Desenvolver uma base de conhecimento, através de técnicas inteligentes, mostrou-se necessário para alcançar nosso objetivo.*

## 1. Introdução

Vivemos em uma situação especial, com nossas vidas afetadas pela pandemia causada pela doença *Coronavirus Disease 2019*, também conhecida como COVID-19. Apesar dos diversos cuidados que tomamos para não contrair a doença, novos casos são adicionados às estatísticas do Brasil diariamente. Os dados referentes à doença estão disponíveis no sítio oficial <sup>1</sup> do Governo Federal. Com a possibilidade de falsas suspeitas, mostra-se

---

<sup>1</sup><https://covid.saude.gov.br/>

necessário verificar se a doença foi contraída, mas, além da verificação, outros processos podem ser estudados. Confirmar o motivo do paciente não infectado apresentar sintomas similares ao da doença e monitorar se esse motivo poderia impactar na recuperação de pacientes infectados, são processos que sistemas de software e sensores poderiam auxiliar e extrair informações valiosas para a tomada de decisões.

Lee et al. (2018) e Yoshino e Miyashita (2007) apontam existir um relacionamento entre sintomas apresentados pelo corpo humano e as condições climáticas às quais as pessoas estão submetidas. Em contrapartida, Wachowicz et al. (2019), Vihma (2010), Ely et al. (2007) e El Helou et al. (2012) discutem o impacto das condições climáticas sobre o rendimento físico de atletas. Suas conclusões apontam que o desempenho físico é afetado pelas condições climáticas, e a intensidade do impacto é diferente para cada pessoa. Considerando as informações levantadas por esses estudos, podemos dizer que existe a possibilidade de falsas suspeitas serem provocadas pelas condições climáticas. Essas contribuições não se caracterizaram como sistema colaborativo, nem mesmo como soluções tecnológicas, pois são exclusivas à área da Saúde.

Aggarwal et al. (2021), Wu et al. (2020) e Babcock et al. (2021) propuseram abordagens de suporte à decisão que auxiliam profissionais da Saúde no combate à pandemia, no entanto, não levaram em consideração o relacionamento entre sintomas da COVID-19 e condições climáticas ou utilizaram abordagens colaborativas.

Sendo assim, neste documento científico, apresentamos uma arquitetura de sistema de suporte à decisão, chamada BiometCovid, que aborda o relacionamento entre os elementos meteorológicos e sintomas apresentados por suspeitos da COVID-19. Sabe-se que certos desafios exigem a interação de um grupo de especialistas para ser solucionado. Pensando nessa questão, com o auxílio de videoconferências, a arquitetura proposta também cria um ambiente propício ao compartilhamento de informações e colaboração, de modo a contribuir para o planejamento de medidas relacionadas ao combate à COVID-19. A utilização do BiometCovid pode, dessa maneira, apoiar no desenvolvimento de estratégias e políticas públicas de combate ao vírus. Também desenvolvemos uma ontologia, chamada COVIDCLIMATE-Ontology e regras semânticas para organizar os dados e inferir informações a partir deles.

Este documento encontra-se organizado em cinco seções. Trabalhos relacionados ao tema são apresentados na Seção 2. Os materiais e métodos relativos à proposta da pesquisa são apresentados nas seções 3 a 5. As considerações finais e trabalhos futuros são apresentados na Seção 6.

## **2. Trabalhos Relacionados**

Diversos estudos científicos demonstram preocupação com a pandemia da COVID-19. Um deles, realizado por Aggarwal et al. (2021), visou desenvolver um sistema multicritério de suporte à decisão. Eles utilizaram uma abordagem de suposição de utilidade aditiva para critério de comparação. O objetivo do sistema proposto, baseado em algoritmos de aprendizado de máquina, foi prever a situação dos surtos da pandemia. Eles introduziram metodologias básicas para tomada de decisões adequadas a situações com diversas alternativas, além de algumas técnicas de resolução de problemas. Após desenvolverem o sistema, utilizaram dados governamentais para validar a eficiência de sua abordagem. Com base nos resultados, concluíram que pessoas mais velhas e crianças

são mais propensas a contrair a doença, enquanto pessoas com sistema imunológico fraco tendem a ser mais afetadas por ela.

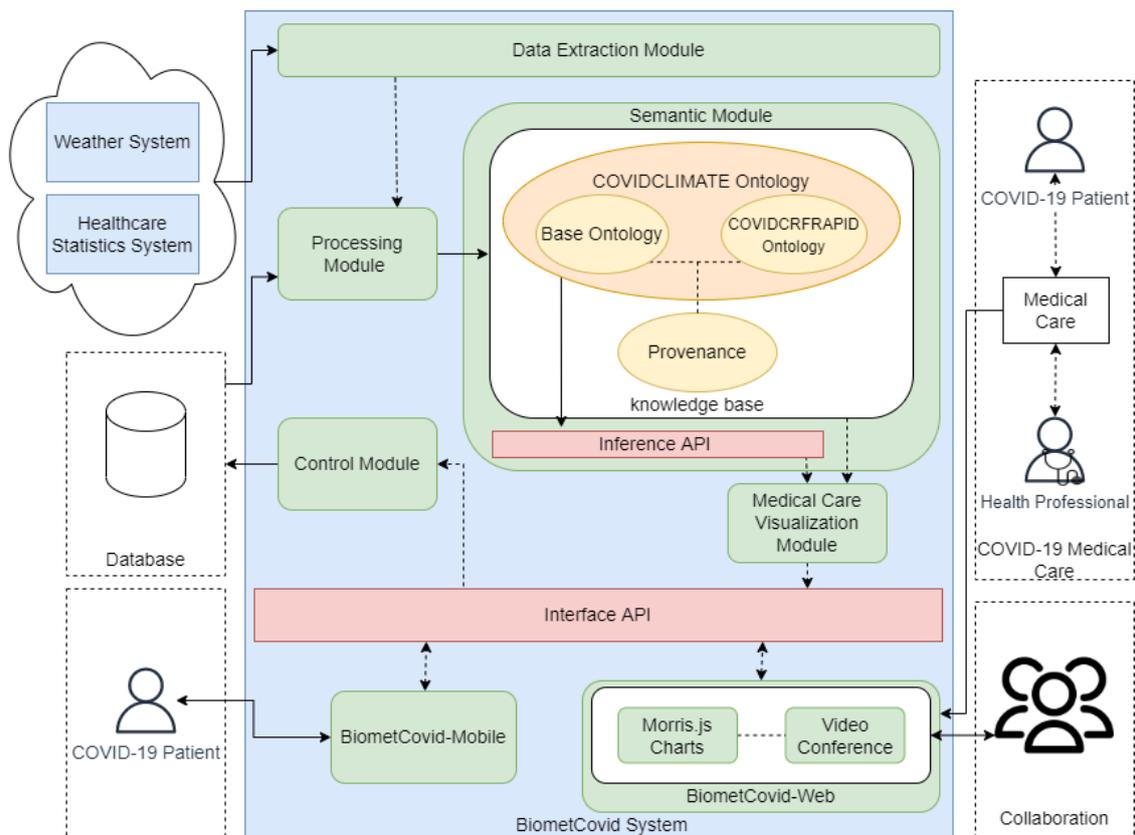
Análogo a Aggarwal et al. (2021), Wu et al. (2020) desenvolveram um sistema de suporte à decisão relacionado à COVID-19. A abordagem utilizou um modelo de aprendizado de máquina. Ele tinha como propósito avaliar a gravidade de risco dos pacientes suspeitos de COVID-19, durante o processo de triagem. Dados do atendimento de 725 pessoas foram utilizados para treinar e validar o modelo de máquina de aprendizado. A matriz de confusão e a área abaixo da curva de característica de operação do receptor foram as métricas utilizadas para quantificar a performance dos modelos. Como conclusão, Wu et al. (2020) sugerem que seu modelo, baseado em dados sobre lactato desidrogenase, proteína C reativa, cálcio, idade, linfócitos proporção, ureia e creatina quinase, talvez seja uma ferramenta de triagem e seleção mais eficiente do que o índice de gravidade de pneumonia, para avaliação do risco de pacientes da COVID-19 no início do atendimento.

O relacionamento entre meteorologia e sintomas da COVID-19 é outro aspecto de nossa proposta. Apesar de não encontrarmos trabalhos científicos com abordagem voltada para a área de Tecnologia da Informação (TI), inúmeras pesquisas da área da Saúde discutem sobre o assunto. Uma delas é a realizada por Lee et al. (2018). Com o objetivo de ilustrar os efeitos do clima sobre os residentes de diversas regiões do Japão, eles coletaram diariamente relatórios de saúde de 4548 pessoas, e o processo durou cerca de um mês. Após a coleta, os dados dos relatórios foram combinados com as previsões climáticas da localização de cada pessoa. Os efeitos da temperatura e umidade foram avaliados com o uso do modelo logístico de efeitos mistos, com interceptação aleatória para cada indivíduo avaliado, e análises estratificadas foram utilizadas para a comparação dos efeitos meteorológicos por sexo e faixa etária. Em sua conclusão, eles demonstram que diversos sintomas físicos, como dor nas juntas e nos músculos, estão relacionados a variações na umidade e temperatura. Além disso, também concluem que mulheres são mais suscetíveis a esses sintomas, especialmente para aqueles associados a umidade alta e temperatura baixa.

Aggarwal et al. (2021) e Wu et al. (2020), como descritos anteriormente, propuseram sistemas de apoio ao diagnóstico da COVID-19, mas não trataram o relacionamento entre os sintomas da doença e condições climáticas, nem ao menos utilizaram abordagens colaborativas. Por outro lado, Lee et al. (2018) enfatiza o relacionamento entre condições meteorológicas e sintomas, mas sua contribuição é estritamente voltada à área da Saúde. A finalidade de nossa proposta é desenvolver uma arquitetura de sistema de suporte à decisão que aplique os conceitos do relacionamento entre sintomas da COVID-19 e condições climáticas. Essa arquitetura utiliza videoconferências e inferências ontológicas para fornecer um ambiente propício à colaboração e planejamento de estratégias de combate à pandemia.

### **3. A Arquitetura BiometCovid**

Para auxiliar a tomada de decisões colaborativas, relacionadas aos sintomas da COVID-19 e condições climáticas, especificamos uma arquitetura denominada BiometCovid, apoiada em uma base de conhecimento ontológica e um conjunto de regras lógicas. A Figura 1 apresenta uma visão de alto nível da arquitetura e seus módulos.



**Figura 1. Visão geral da arquitetura**

O *Control Module* trata da persistência dos dados. O *Data Extraction Module* se comunica com fontes externas, como o SUS (Sistema Único de Saúde) e sistemas meteorológicos, para extrair dados de atendimentos médico antigos. O *Processing Module* acessa os dados do paciente e os dados meteorológicos armazenados na base de dados. O *Semantic Module* é responsável por processar a inferência sobre os dados instanciados na ontologia e, além disso, ele adiciona ou remove indivíduos e extrai as inferências feitas pela ontologia. O *Medical Care Visualization Module* acessa os dados processados e os repassa para a API responsável por interagir com as interfaces de usuário do sistema. A interface *BiometCovid-Mobile* foi planejada para a interação com o paciente e captação de dados meteorológicos, através dela o paciente pode agendar atendimentos e acompanhar as consultas. Por último, a interface *BiometCovid-Web* foi estruturada para tomadores de decisão e profissionais da saúde. Com ela, podem gerenciar atendimentos, visualizar informações extraídas da base de conhecimento e se comunicar com outros usuários. Seu objetivo é disponibilizar um ambiente propício à colaboração e apoio à tomada de decisões. Utilizamos gráficos *morris.js*<sup>2</sup> a fim de disponibilizar uma interface adequada para apresentação das informações e videoconferências para interação.

#### 4. Base de Conhecimento

Como base de conhecimento para o *BiometCovid*, uma ontologia foi desenvolvida. A ontologia organiza e relaciona dados de atendimento de pacientes da COVID-19 com dados de condições climáticas. Utilizando regras semânticas, a ontologia realiza inferências

<sup>2</sup><http://morrisjs.github.io/morris.js/>

sobre os dados organizados, descobrindo novos relacionamentos entre eles. Com a ferramenta Protégé<sup>3</sup>, as linguagens OWL e SWRL foram utilizadas, respectivamente, para desenvolver a ontologia e as regras semânticas.

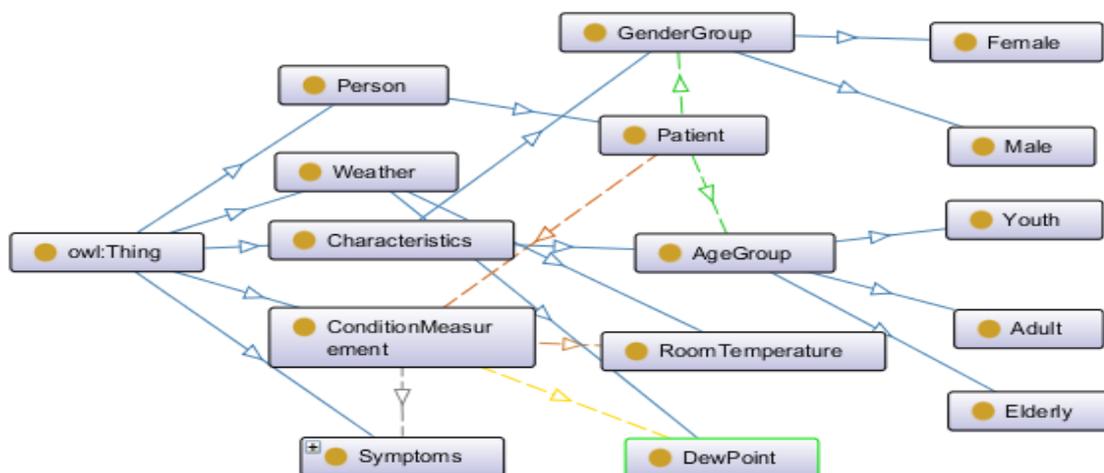


Figura 2. Taxonomia das classes da ontologia e seus relacionamentos.

A Figura 2 apresenta a estrutura da ontologia, com as linhas azuis e sólidas representando a taxonomia das classes e as linhas pontilhadas representando seus relacionamentos. Explicando a estrutura, *Patient* é especialização de *Person* e está relacionada às classes *GenderGroup*, *AgeGroup* e *ConditionMeasurement*. *GenderGroup* é especialização de *Characteristics* e possui as subclasses *Male* e *Female*. *AgeGroup* é parte de *Characteristics* e contém as classes *Youth*, *Adult* e *Elderly*. *ConditionMeasurement*, que representa o atendimento médico, está ligada a um ou vários sintomas, a um *RoomTemperature* e um *DewPoint*. Por fim, a *owl:Thing* é uma classe padrão da linguagem, todas as classes, obrigatoriamente, devem ser uma especialização dela ou especialização das especializações.

Semantic Web Rule Language (SWRL) é um outro componente importante da base de conhecimento, que foi utilizado na ontologia. Horrocks et al. (2004) definem a SWRL como uma combinação da *OWL Description Logics* (OWL-DL) e OWL Lite. Os autores também descrevem o modelo dessas regras como uma forma de implicação entre condições antecedentes e consequentes. A Regra (1) apresenta um exemplo de SWRL utilizada em nossa solução.

$$\begin{aligned}
 &DewPoint(?Clim) \wedge swrlb:greaterThan(?x, 23) \wedge Youth(?Pers) \wedge hasDewPoint(?C, ?Clim) \\
 &\quad \wedge hasSymptom(?C, ?Simpt) \wedge hasDegreeCelsius(?Clim, ?x) \wedge Patient(?Pers) \wedge \\
 &\quad Arthralgia(?Simpt) \wedge ConditionMeasurement(?C) \wedge hasMeasurement(?Pers, ?C) \\
 &\quad \rightarrow hasHumidityAggravationByAge(?Simpt, 1.52) \wedge aggravates(?Clim, ?Simpt) \quad (1)
 \end{aligned}$$

Em nosso exemplo, a regra antecedente verifica se existe um indivíduo *Patient*, que faz parte dos grupos *Youth* e *Male*. A *ConditionMeasurement* desse paciente deve estar ligada a uma instância de *Arthralgia* e a um *DewPoint* com valor maior que 23 graus Celsius. Se a regra antecedente for verdadeira, a instância de *Arthralgia* será conectada à instância de *DewPoint* e ao valor 1.52. Esse valor, ao qual *Arthralgia* foi conectada, indica

<sup>3</sup><https://protege.stanford.edu/>

a chance parcial, para cada grau Celsius acima de 23, de *DewPoint* impactar *Arthralgia*. Por exemplo, para calcular a chance total de *Dewpoint* impactar *Arthralgia*, se *DewPoint* tivesse o valor 30 graus Celsius, a chance total seria igual a 30 menos 23, vezes 1.52. Isso significa que, um homem com idade menor que 19, sob o condição climática de 30 graus Celsius para ponto de orvalho<sup>4</sup>, tem 10,64% de chance total de apresentar dor nas juntas.

Nos baseando nas informações disponibilizadas por Lee et al. (2018), desenvolvemos cento e vinte regras para os seguintes sintomas: dores nas juntas, tosse, fadiga, febre, dor de cabeça, dor nos músculos e garganta inflamada. Esses sintomas foram escolhidos pois são os únicos que coincidem com os sintomas da COVID-19.

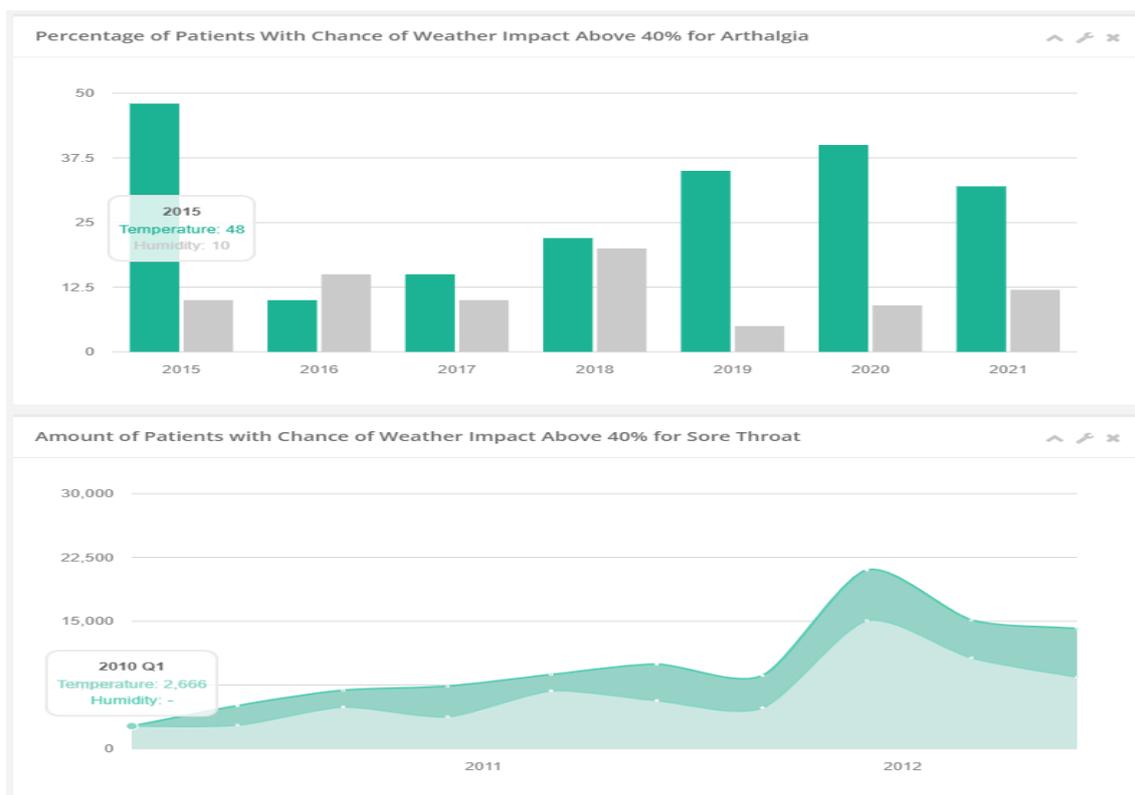
## 5. Cenários de Uso

O primeiro cenário aborda como o sistema, através das inferências ontológicas, fornece suporte aos profissionais da saúde durante o atendimento direto de um paciente. Neste caso, chamaremos o paciente de "André" e os profissionais da saúde de "José" e "João". "André" é um homem de 17 anos, que está sentindo dor nas juntas e garganta inflamada. O procedimento é iniciado quando "André" agenda, através da BiometCovid-Mobile, um atendimento médico. Para agendar, "André" deve informar os sintomas que ele está sentindo e consentir com a aplicação enviar os dados das condições meteorológicas que foram captados em seus deslocamentos na última semana. Após "André" completar o agendamento, a BiometCovid-Mobile envia os dados ao sistema BiotmetCovid. Com o recebimento dos dados, o sistema faz inferências do relacionamento entre esses sintomas e o clima, para que os profissionais responsáveis, "José" e "João", possam realizar uma análise prévia. Na data no qual o atendimento foi agendado, com exceção para agendamentos no mesmo dia, a BiometCovid-Mobile envia novamente os dados das condições climáticas. Esse processo é realizado para que o sistema possa atualizar os dados do atendimento, desde o momento do agendamento. Enquanto "José" está realizando o atendimento, "João", um profissional em treinamento, está acompanhando através de videoconferência. Ao fim do atendimento, após "José" realizar os procedimentos médicos e confirmar os sintomas de "André", "José" atualiza no BiotmetCovid, pela interface BiometCovid-Web, os dados relacionados aos sintomas de "André". Nesse momento, "José" e "João" podem discutir os conhecimentos que adquiriram.

O segundo cenário explica a aplicabilidade da BiometCovid em prover um ambiente propício à colaboração para desenvolvimento de estratégias de combate a pandemia da COVID-19. O cenário se inicia com os profissionais da saúde, responsáveis pela tomada de decisões, em uma reunião virtual. Eles utilizaram uma aplicação de videochamada para se conectarem. O hospital, pelo qual são responsáveis, recebeu um fluxo alto de pacientes com um único sintoma da COVID-19, dor nas juntas. Os tomadores de decisão necessitam decidir se devem associar esse fluxo a um surto local da doença, e acionar um alerta. A decisão necessita ser tomada com urgência, mas eles não podem depender do resultado dos testes de COVID-19, pois ainda não estão prontos. O sistema aponta que todos os pacientes tiveram uma chance alta de dor nas juntas ser resultado do clima. Associando essa informação a outros dados gerados pelos atendimentos, eles decidem não acionar o alerta. Na Figura 3, ilustramos exemplos de gráficos da aplicação.

---

<sup>4</sup>Temperatura necessária para a umidade atmosférica condensar e tornar-se orvalho.



**Figura 3. Protótipo da interface Web.**

No primeiro exemplo é demonstrada a porcentagem de pacientes por ano que apresentaram o sintoma de dor nas juntas. Eles tiveram chance maior ou igual a 40% de as condições climáticas impactarem esse sintoma, em um período avaliado entre os anos de 2015 e 2021. No segundo, é demonstrada a quantidade de pacientes que apresentaram o sintoma de dor na garganta e tiveram chance maior ou igual a 40% de as condições climáticas impactarem esse sintoma, para os trimestres dos anos 2011 e 2012. Para adequar ao segundo cenário, poderia ser destacado no gráfico apenas o período no qual houve o alto fluxo de pacientes e aumentar o limite mínimo da chance de impacto do clima.

## 6. Conclusões

Neste artigo, foi proposta uma arquitetura de suporte à decisão, denominada BiometCovid, que tem como objetivo apoiar tomadores de decisão da área da saúde, no atendimento de pacientes suspeitos de COVID-19 e, com o suporte de videoconferências, auxiliar colaborações na escolha de estratégias para combate à pandemia. Outrossim, apresentou-se a estrutura da ontologia, utilizada pela BiometCovid, e um resumo de suas funcionalidades.

Para demonstrar a viabilidade da aplicação, apresentamos cenários de uso, explicando suas funcionalidades e o contexto de uso pretendido. O primeiro relata como o sistema apoia o diagnóstico de um paciente suspeito de COVID-19. O segundo contextualiza uma colaboração, entre profissionais da saúde, para tomar uma decisão referente a estratégias de combate à pandemia.

Com os resultados obtidos, percebemos que, dependendo do escopo dos dados

fornecidos, o sistema poderia auxiliar mais do que apenas no planejamento de estratégias de apenas um hospital, fornecendo resposta a algumas perguntas, tais como: em qual região um certo sintoma está menos propício a ser afetado pelo clima? quais os grupos de pacientes, por faixa etária e por sexo, são os mais afetados na região? seria viável transferir pacientes, que possuem as mesmas características, para locais com clima mais ameno para eles? Sendo assim, o próximo passo para o projeto será popular a aplicação com dados reais, relacionados ao atendimento de pacientes da COVID-19 e condições climáticas. Ademais, planejamos captar dados referentes à poluição atmosférica, para aferir se é possível relacioná-los aos sintomas manifestados pelas pessoas.

### **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e CNPq.

### **Referências**

- Aggarwal, L., Goswami, P., and Sachdeva, S. (2021). Multi-criterion intelligent decision support system for covid-19. *Applied Soft Computing*, 101:107056.
- Babcock, S., Beverley, J., Cowell, L. G., and Smith, B. (2021). The infectious disease ontology in the age of covid-19. *Journal of biomedical semantics*, 12(1):1–20.
- El Helou, N., Tafflet, M., Berthelot, G., Tolaini, J., Marc, A., Guillaume, M., Hausswirth, C., and Toussaint, J.-F. (2012). Impact of environmental parameters on marathon running performance. *PloS one*, 7(5):e37407.
- Ely, M. R., Cheuvront, S. N., Roberts, W. O., and Montain, S. J. (2007). Impact of weather on marathon-running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3):487.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B., Dean, M., et al. (2004). Swrl: A semantic web rule language combining owl and ruleml. *W3C Member submission*, 21(79):1–31.
- Lee, M., Ohde, S., Urayama, K. Y., Takahashi, O., and Fukui, T. (2018). Weather and health symptoms. *International journal of environmental research and public health*, 15(8):1670.
- Vihma, T. (2010). Effects of weather on the performance of marathon runners. *International journal of biometeorology*, 54(3):297–306.
- Wachowicz, A., Małysiak-Mrozek, B., and Mrozek, D. (2019). Combining data from fitness trackers with meteorological sensor measurements for enhanced monitoring of sports performance. In *International Conference on Computational Science*, pages 692–705. Springer.
- Wu, G., Yang, P., Xie, Y., Woodruff, H. C., Rao, X., Guiot, J., Frix, A.-N., Louis, R., Moutschen, M., Li, J., et al. (2020). Development of a clinical decision support system for severity risk prediction and triage of covid-19 patients at hospital admission: an international multicentre study. *European Respiratory Journal*, 56(2).
- Yoshino, M. and Miyashita, R. (2007). Studies on bioclimate and weather-health forecasting in japan. *GLOBAL ENVIRONMENTAL RESEARCH-ENGLISH EDITION*, 11(1):23.