

SAVE: Sistema de Auditoria para Votação Eletrônica sem a Utilização de Papel

Vanin Alves Ferreira

Pesquisador Independente
Patos de Minas – MG – Brasil

vaninalves@yahoo.com.br

Abstract. *The use of electronic voting machines has brought significant improvements to the Brazilian electoral process by eliminating fraud and issues associated with paper-based voting. However, the lack of mechanisms for independent auditing has raised concerns about the system's reliability and transparency, both within civil society and the academic community. This paper proposes the Secure Audit System for Electronic Voting (SAVE), which enables the verification of election results without relying on the voting machine's software or paper records. SAVE generates auditable and accessible evidence, facilitating the participation of non-technical voters in result validation.*

Resumo. *O uso de urnas eletrônicas trouxe avanços significativos para o processo eleitoral brasileiro, eliminando fraudes e problemas associados ao voto em papel. No entanto, a ausência de mecanismos para auditoria independente tem suscitado questionamentos quanto à confiabilidade e transparência do sistema, tanto na sociedade civil quanto na comunidade acadêmica. Este artigo propõe o Sistema de Auditoria para Votação Eletrônica (SAVE), que permite a verificação dos resultados eleitorais, sem depender do software da urna ou de registros em papel. O SAVE gera evidências auditáveis e acessíveis, favorecendo a participação de eleitores sem conhecimento técnico avançado no processo de validação dos resultados.*

1. Introdução

Na maioria dos países, a cédula de papel ainda é o principal meio de votação. No entanto, este modelo apresenta uma série de vulnerabilidades, como a ocorrência de erros humanos ou fraudes, que comprometem a integridade das eleições. A adoção das urnas eletrônicas no Brasil representou um avanço substancial nesse cenário, contribuindo para a mitigação de práticas fraudulentas, aumentando a celeridade da apuração e promovendo maior acessibilidade (TSE, 2018).

Apesar dos benefícios incontestáveis proporcionados pela informatização do sistema eleitoral, persistem críticas quanto à ausência de mecanismos que viabilizem auditorias externas e independentes dos resultados. Essa lacuna tem motivado setores da sociedade civil e da comunidade acadêmica a questionarem a confiabilidade do sistema vigente. Entre os críticos, prevalece a defesa da implementação do voto impresso como ferramenta de auditoria. Em contrapartida, outros especialistas alertam que essa medida pode gerar efeitos adversos, como o aumento da judicialização das eleições e o ressurgimento de práticas fraudulentas anteriormente superadas (BARROSO, 2021). Segundo Sousa, Especialista em Direito Eleitoral, a adoção do voto impresso pode frustrar tanto os

defensores quanto os opositores da proposta, ampliando, assim, a desconfiança em relação ao processo eleitoral (SOUSA, 2021).

Diante desse contexto, propõe-se o SAVE — um sistema de auditoria eletrônica independente, que gera uma trilha digital verificável pelo eleitor e passível de auditoria externa, sem a reintrodução dos riscos associados ao voto em papel.

Organização: A Seção 2 apresenta o SAVE. A Seção 3 trata do protótipo desenvolvido para a Prova de Conceitos (PoC) e testes. Na Seção 4, são discutidos os resultados dos testes preliminares. Por fim, a Seção 5 reúne as conclusões deste trabalho.

2. Sistema de Auditoria para Votação Eletrônica (SAVE)

O SAVE é um sistema composto por *hardware* e *software*, que opera de forma independente da urna eletrônica e faz o registro individual dos votos. Os registros são obtidos por meio da captura fotográfica do voto na tela da urna, incluindo elementos de segurança visuais que asseguram sua autenticidade. Cada fotografia é assinada digitalmente e armazenada de forma embaralhada, protegendo o sigilo do voto.

O SAVE permite ao eleitor verificar e aprovar, ou corrigir, o registro fotográfico do voto durante a votação. Produz-se, assim, uma trilha digital de auditoria verificada pelo eleitor, proposta neste artigo sob o nome *Verified Digital Photograph Audit Trail (VDPAT)*.

No SAVE, tanto a captura do registro fotográfico quanto a confirmação ou rejeição do registro por parte do eleitor ocorrem de forma independente da urna eletrônica. Essa separação garante maior robustez e auditabilidade, uma vez que o processo de registro não é controlado pelo *software* da urna. Diferentemente do modelo de voto impresso, em que a impressão e a confirmação do voto dependem diretamente da própria urna, o SAVE adota uma arquitetura descentralizada que reduz riscos de comprometimento sistêmico.

A comunicação entre o SAVE e a urna (**Figura 3**) é restrita à troca de mensagens que não comprometem a independência dos sistemas.

2.1. Comparação com o Dispositivo SELA

A ideia de duplo registro digital do voto já foi explorada. O SELA (Sistema de Auditoria Eletrônica), proposto por Guimarães et al. (2001), gera um segundo registro digital do voto e viabiliza auditoria externa. A **Tabela 1** compara o SELA e o SAVE, destacando melhorias do último para aumentar a robustez do processo e a confiança do eleitor.

Tabela 1. Comparação entre o SELA e o SAVE.

| Característica | SELA | SAVE |
|----------------------------------|---|---|
| Verificação de registros prévios | Dependente do <i>software</i> do SELA | Impossibilidade de registros prévios garantida por cartão de assinaturas |
| Registro do voto | Transcrição do voto enviada pela urna | Registro visual fiel do voto capturado pelo SAVE diretamente do visor da urna |
| Confirmação dos registros | Realizada na urna, que comunica ao SELA a decisão do eleitor | Realizada no SAVE, que comunica a urna a decisão do eleitor; funcionamento independente |
| Segurança dos registros | Depende da integridade do <i>hardware</i> e <i>software</i> do SELA | <i>QRCode</i> gerado pela urna com voto assinado digitalmente dificulta falsificações, mesmo em caso de comprometimento do SAVE |
| Acessibilidade | Registros de votos acessíveis | Registros acessíveis; favorece a participação de eleitores na validação dos resultados |

3. Protótipo

Para validação como prova de conceito (PoC) e realização de testes, foi desenvolvido o protótipo descrito a seguir.

3.1. Hardware

O *hardware*, apresentado na **Figura 1**, é composto por dois módulos: o principal, que possui uma tela para visualização dos registros fotográficos e botões para confirmação ou correção do registro durante a votação; e a cabine de isolamento, a qual se acopla à urna eletrônica e viabiliza a captura da fotografia do voto sem a inserção de objetos estranhos.

O SAVE não possui conexão com redes externas (sistema *air-gapped*) nem interface física de entrada que permita alterações no *software*. A CPU e a memória interna utilizam componentes de *hardware* com mecanismos de proteção capazes de detectar tentativas de violação física. Existem diversos métodos para proteção de circuitos eletrônicos contra invasões, como malhas condutivas e funções fisicamente não clonáveis (*Physically Unclonable Functions* – PUFs). Detalhes técnicos excedem o escopo deste trabalho, mas podem ser encontrados em publicações especializadas (VIDAKOVIĆ; VINKO, 2023).

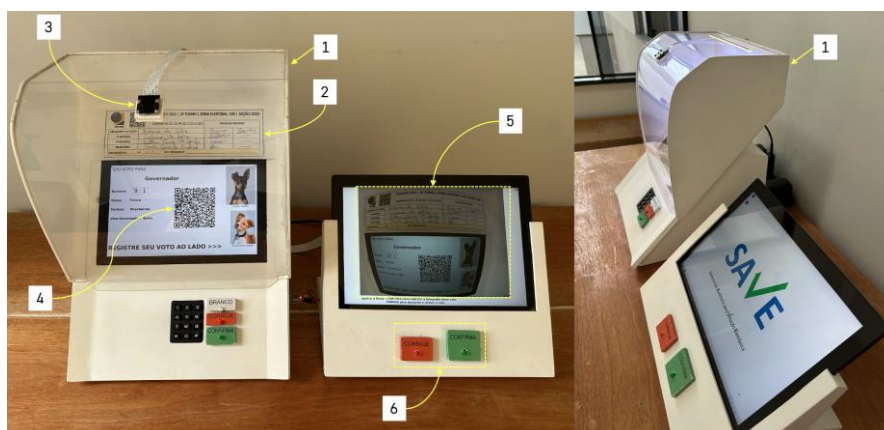


Figura 1. Protótipo do SAVE, vistas frontal e lateral.

Tabela 2. Componentes e elementos de segurança apontados na Figura 1.

| Item | Descrição |
|---------------------------|--|
| 1 – Cabine de isolamento | Estrutura acoplada à urna eletrônica que impede a inserção de objetos entre a câmera e a tela da urna. |
| 2 – Cartão de assinaturas | Cartão físico assinado publicamente pelo presidente da seção, mesários e fiscais no início da votação, prevenindo a existência de registros prévios inválidos. |
| 3 – Câmera | Dispositivo que captura a fotografia do voto na tela, incluindo o cartão de assinaturas. |
| 4 – QR Code | QR Code contendo o voto com assinatura digital gerada pela urna. Pode incluir uma referência ao Registro Digital do Voto (RDV), contribuindo para a prevenção de duplicação ou exclusão indevida de registros no SAVE. |
| 5 – Registro do Voto | Exibição do registro fotográfico para conferência pelo eleitor durante a votação. |
| 6 – Botões | Interface para o eleitor confirmar ou corrigir o registro exibido. |

3.2. Software

As atividades executadas pelo SAVE (**Figura 2**) e a comunicação com a urna (**Figura 3**) não dependem de informações específicas do pleito eleitoral, como candidatos ou partidos participantes. Essa característica permite que o *software* do SAVE seja embarcado em

hardware seguro e testado antes mesmo da definição dos concorrentes de uma eleição, dificultando a inserção de códigos fraudulentos. Por se tratar de um *hardware tamper-evident*, em caso de discrepância entre os resultados da Urna e do SAVE, ou suspeita de fraude, a integridade do SAVE pode ser verificada por perícia técnica independente.

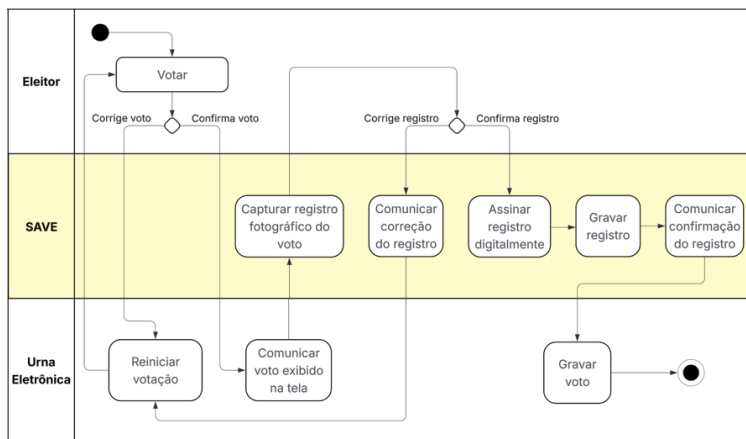


Figura 2. Diagrama de atividades do SAVE

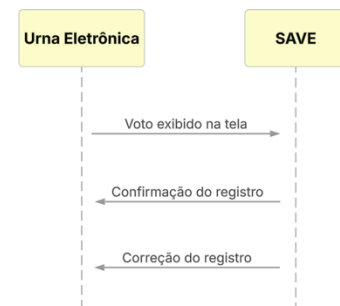


Figura 3. Comunicação

4. Testes Preliminares

Para a realização dos testes preliminares, além do protótipo do SAVE, foi desenvolvido um protótipo de urna eletrônica, no qual se simulou uma eleição com candidatos fictícios. Os eleitores votaram sequencialmente para os cargos de governador e presidente. A simulação incluiu dois candidatos por cargo e um total de cinco eleitores, contemplando votos válidos para todos os candidatos, além de votos nulos e em branco. O SAVE registrou, de forma fiel e independente, as fotografias dos votos conforme exibidos na tela da urna, permitindo a confirmação dos registros pelos próprios eleitores. Conforme demonstrado no material complementar (SAVE, 2025), os registros gerados seriam capazes de evidenciar erros ou tentativas de fraude no sistema da urna eletrônica.

4.1. Limitações e Pontos de Melhoria

Apesar dos avanços do SAVE em verificabilidade e auditoria externa independente, alguns aspectos ainda podem ser aprimorados:

1. **Dependência de hardware confiável.** A segurança do sistema exige proteção física visível que assegure ao eleitor que qualquer violação deixará evidências claras e auditáveis. No SAVE, isso pode ser mitigado com lacres, verniz revelador de manipulações, gravações a laser, entre outros.
2. **Risco ao sigilo.** A cabine de isolamento protege o campo de visão da câmera contra objetos físicos, mas eleitores mal-intencionados ainda podem tentar marcar votos com fontes de luz externas. O risco pode ser mitigado com restrições legais ao uso de dispositivos luminosos durante a votação (como lasers e lanternas) e com software capaz de identificar e remover interferências visuais.
3. **Registro do voto em dois sistemas.** O modelo exige ajustes legais e operacionais para lidar com eventuais divergências entre os registros da urna e os do SAVE.

O sistema ainda está em desenvolvimento, e novos testes em ambientes reais deverão ser realizados para melhor avaliar essas limitações e pontos de melhoria.

5. Conclusões

Os testes preliminares demonstraram a viabilidade de um sistema de auditoria externo e independente, capaz de detectar alterações maliciosas ou erros no *software* da urna, sem a necessidade de recorrer ao uso de registros em papel (como o voto impresso).

O SAVE registra os votos em fotografias assinadas digitalmente, o que torna a auditoria dos resultados acessível mesmo a eleitores sem conhecimentos técnicos avançados. A publicação dos registros fotográficos em um servidor web possibilita que qualquer interessado verifique, de forma independente, a integridade da contagem dos votos, permitindo uma contagem universalmente verificável (*universally verifiable tally*).

Sistemas com verificabilidade de ponta a ponta (E2E), como o ElectionGuard, permitem que eleitores verifiquem seus votos por meio de técnicas criptográficas. Apesar da robustez, esses sistemas são de difícil compreensão para leigos e enfrentam limitações de escalabilidade. Em pleitos com muitos candidatos e voto na legenda, como ocorre no Brasil, a codificação do voto torna-se mais onerosa, exigindo adaptações que aumentam a complexidade do processo. O SAVE apresenta-se como solução simples e acessível, capaz de ampliar a transparência do sistema atual ou complementar soluções E2E.

O SAVE introduz o conceito de trilha auditável VDPAT, permitindo auditoria externa e confiável dos resultados, sem a necessidade do voto impresso.

Agradecimentos

O autor agradece ao Nélcio Alves e Flávio de Souza Oliveira pelas contribuições na revisão do manuscrito.

Referências

- TSE (2018). “Urna eletrônica extinguiu ocorrências de fraudes em eleições”. Tribunal Superior Eleitoral. <https://www.tse.jus.br/imprensa/noticias-tse/2018/Maio/urna-eletronica-extinguiu-ocorrencias-de-fraudes-em-eleicoes>. Acesso em: 21/04/2025.
- Barroso, L. R. (2021) “Adoção do voto impresso representa retorno das fraudes no processo eleitoral, afirma Barroso em coletiva”, Tribunal Superior Eleitoral, <https://www.tse.jus.br/comunicacao/noticias/2021/Junho/voto-impresso-significa-voto-fraudavel-afirma-ministro-barroso-em-coletiva>, junho. Acesso em: 21/04/2025
- Souza, B. C. A. (2021) “As implicações do voto impresso”, *Justiça Eleitoral em Debate*, v. 11, n. 1, <https://revista.tre-rj.jus.br/rjed/article/view/135>. Acesso em: 21/04/2025.
- VIDAKOVIĆ, M.; VINKO, D (2023). Hardware-based methods for electronic device protection against invasive and non-invasive attacks. *Electronics*, v. 12, n. 21, p. 4507, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12214507>.
- SAVE (2025). “Vídeo dos Testes Preliminares do Sistema SAVE”. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1LPGkdxjnLU8lhYiPOpvKk5avtVDDzEq/view?usp=sharing>, acesso em junho de 2025.
- GUIMARÃES, M. F.; TURCATO, R. P.; CUSTÓDIO, R. F.; SELL, C. A.; ASSUITI, C. H.; SANTOS, R. A. P. Proposta de um sistema de auditoria eletrônica aplicado à urna eletrônica brasileira. Florianópolis: Fundação CERTI, 2001. Disponível em: <https://www2.ic.uff.br/~michael/sela.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2025.